

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

Projet de fin d'étude

Présenté par :

MERRI Ouissam

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat

En HYDRAULIQUE

Thème

Contribution à l'élaboration d'un
modèle de gestion d'un barrage
réservoir, appliqué au barrage de la
CHEFFIA

Devant le jury :

Président : Mr A. BILEK
Encadreur : Dr A. BERMAD
Examineur : Mr D. BENGORA
Examineur : Dr L. HOUICHI

Promotion juin 2012

Dédicace

A ma très chère et tendre grand-mère partie trop tôt,

Pour leur présence et leur foi en moi, à :

Ma douce et éternelle tendre mère, toujours près de mon cœur,

Mon cher père, toujours perspicace,

Mon adorable sœur, toujours élégante,

Mes adorables frères, toujours diables,

Mes incorrigibles tantes et cousins, toujours attachants,

Mes merveilleux amis, toujours là pour moi,

Remerciements

Arrivée au terme de la rédaction de ce mémoire, il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma sincère gratitude à toutes les personnes qui, par leurs enseignements, conseils, soutien et recommandations, ont contribué de quelque manière que ce soit, au bon déroulement de ce projet de fin d'études ainsi que mon cursus universitaire.

Je voudrais, tout d'abord, remercier et exprimer toute ma gratitude à mon encadreur, le docteur A. Bermad, pour m'avoir encadrée, non sans patience, et dont l'enthousiasme et l'intérêt m'ont encouragée à toujours voir plus loin.

J'aimerais également adresser mes remerciements à Mr Bengora pour avoir partagé ses documents avec moi, et également, ses conseils avisés.

Je désire remercier mon cher père, sur lequel je peux toujours compter pour m'orienter vers la bonne direction.

J'aimerais, le plus sincèrement, remercier ma très chère mère pour sa présence rassurante, son dévouement sans égal et son amour incontestable dans ma vie.

ملخص

الماء كونه مورد طبيعي حيوي و كونه يخضع للكثير من الاستخدامات، يؤدي الى تخطيط إدارته من جوانب مختلفة وخلفيات عدة. وهذه الإدارة سوف تزداد تعقيدا وتعقدا في المستقبل. هذا يرجع إلى النمو الديمغرافي وتحسين مستويات المعيشة. وفقا لذلك، فالزراعة، القطاع الأكثر استهلاكاً للمياه، يرى طلبه زيادة أكثر وأكثر. وسيكون التحدي هو العثور على أفضل توازن بين الطلب والتوافر من خلال النمذجة، التي هي الأكثر تمثيلاً للظواهر المتصلة بالمياه.

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. En conséquence, le secteur de l'agriculture, grand consommateur d'eau, voit sa demande augmenter de plus en plus. Le défi sera donc de trouver le meilleur équilibre entre demande et disponibilité en passant par une modélisation, la plus représentative qui soit, des phénomènes liés à l'eau.

Abstract

Water, being a vital natural resource and subject to many uses, implies planning its management from different aspects and different backgrounds. This management will become increasingly complex and complicated in the future. This is due to population growth and improving living standards. Accordingly, agriculture, largest water consumer, sees its request to increase more and more. The challenge will be to find the best balance between demand and availability through a modeling, which is most representative of the phenomena related to water.

Sommaire

Introduction générale.....	1
I. Chapitre I : Etat de l'art.....	3
1. Introduction	3
2. Gestion des barrages réservoirs	3
3. Définition d'un barrage	4
4. Principes de gestion	5
4.1. Dimensions de gestion	5
4.2. Définition de la période de gestion	5
4.3. Gestion du risque	6
4.4. Consignes de gestion.....	7
5. Méthodes de gestion	9
5.1. Règles de gestion	9
5.2. Gestion par modélisation	12
5.3. Caractéristiques de la gestion.....	14
5.4. Optimisation.....	19
II. Chapitre II : Présentation du site de l'étude.....	21
1. Introduction	21
2. Caractéristiques du bassin versant.....	21
2.1. Aperçu sur le bassin	21
2.2. Relief du bassin versant	22
2.3. Géologie du Bassin versant.....	23
2.4. Couverture végétale	23
2.5. Neige	23
3. Potentiel hydrographique de la région	23
4. Hydrologie du bassin versant	24
4.1. Pluviométrie.....	24
4.2. Débit de l'oued BOUNAMOUSA.....	27
4.3. Evaporation	28
4.4. Transport solide	30
5. Demandes en eau.....	31
5.1. Demande en eau potable	31

5.2.	Demande en eau industrielle	32
5.3.	Demande en eau d'irrigation (ou agricole)	32
6.	Barrage de la CHEFFIA	33
6.1.	Les barrages en remblai	33
6.2.	Caractéristiques du barrage de la CHEFFIA	34
6.3.	Caractéristiques hydrologiques	34
7.	Les ouvrages.....	35
7.1.	Digue.....	35
7.2.	Evacuateur principal	35
7.3.	Vidange de fond	35
7.4.	Ouvrages de prise.....	36
III.	Chapitre III : Présentation du modèle	37
1.	Introduction	37
2.	But du modèle	37
3.	Contraintes et consignes	38
3.1.	Contraintes	38
3.2.	Consignes de sécurité et liées aux objectifs	38
4.	Structure du programme.....	39
4.1.	Niveau interannuel	39
4.2.	Niveau annuel	39
4.3.	Niveau mensuel.....	39
5.	Ordre de priorité	43
6.	Données prises en compte	43
6.1.	Demande en eau potable	43
6.2.	Demande en eau d'irrigation.....	44
6.3.	Demande en eau industrielle	45
6.4.	Evaporation du plan d'eau.....	46
6.5.	Fuites d'eau.....	47
7.	Comparaison entre les demandes de consommation.....	47
8.	Fonctionnement du programme	48
8.1.	Saisie des données.....	48
8.2.	Affichage des résultats	49

8.3. Calculs intermédiaires.....	53
IV. Chapitre IV : Résultats.....	56
1. Introduction	56
2. Gestion de l'historique	56
2.1. Taux de satisfaction minimum.....	56
2.2. Taux de satisfaction minimum fixé à 50%	56
2.3. Taux de satisfaction minimum fixé à 55%	59
2.4. Taux de satisfaction minimum fixé à 60%	61
2.5. Taux de satisfaction minimum fixé à 65%	63
2.6. Taux de satisfaction minimum fixé à 70%	65
2.7. Taux de satisfaction minimum fixé à 75%	67
3. Résumé des résultats obtenus.....	69
3.1.Satisfaction globale.....	69
3.2. Résultats des satisfactions sectorielles.....	70
4. Gestion du scénario futur	71
4.1. provenance du scénario.....	71
4.2. Taux de satisfaction minimum fixé à 50%	71
4.3. Taux de satisfaction minimum fixé à 55%	73
4.4. Taux de satisfaction minimum fixé à 60%	75
4.5. Taux de satisfaction minimum fixé à 65%	77
4.6. Taux de satisfaction minimum fixé à 70%	79
4.7. Taux de satisfaction minimum fixé à 75%	81
5. Résumé des résultats obtenus.....	83
5.1. Taux de satisfaction global.....	83
5.2. Taux de satisfaction par secteur.....	84
6. Taux de satisfaction de l'AEP.....	84
7. Taux de satisfaction de l'AEI.....	85
8. Taux de satisfaction de l'AEA.....	85
9. Conclusion.....	86
Conclusion générale et recommandations.....	88

Introduction générale

L'un des grands enjeux du développement, tant pour les pays développés que pour les pays en développement, est la bonne gestion de ses ressources naturelles. Ces dernières déterminent la puissance du pays et le niveau de vie qu'il peut procurer à ses habitants.

Parmi les ressources les plus importantes qui soient au monde est : l'eau. Source de vie, nécessaire à l'implantation d'industries diverses et variées car entrant dans nombre de leurs processus, un des acteurs principaux dans la réalisation de la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale. On l'aura compris, sous bien des aspects, la ressource en eau est un élément clé de la vie.

De ce fait, l'eau est considérée comme un droit. Tout être vivant sur Terre devrait avoir accès à des services fiables d'approvisionnement en eau et d'assainissement. Autrement dit, les ressources hydriques doivent être gérées avec soin.

Pour ce faire, plusieurs sous-domaines de la gestion doivent être combinés pour mettre au point cette gestion soignée. On citera : l'information et la qualité de l'information, la gestion de la qualité, gestion des risques, la responsabilité vis-à-vis de l'environnement... etc.

Pour l'information par exemple, Il est crucial pour la prise de décisions d'avoir un accès rapide aux informations sur les conditions prévalant dans telle ou telle situation. Les agences de l'eau peuvent utiliser de manière innovante des technologies nouvelles pour recueillir toute sorte d'informations sur la consommation d'eau, surveiller et prévoir le niveau des rivières et repérer de nouvelles sources d'eau douce et ainsi former une base de données qui contribuerait grandement à la bonne gestion de la ressource.

La qualité de l'eau aussi est un critère de bonne gestion. Il ne sert à rien de mobiliser une ressource de mauvaise qualité, car d'un point de vue économique, le coût des opérations de mise à niveau de la qualité recherchée reviendrait plus cher que le gain engendré par son utilisation. Par contre, comme on l'a dit, vu le caractère vital de l'eau (et d'autres ressources naturelles telles que les sources d'énergie), même si son coût de mobilisation, d'exploitation et de traitement revient cher, parfois on ne peut faire autrement que de l'exploiter.

Donc, la gestion de l'eau intègre plusieurs aspects contradictoires et ce, à différentes phases et niveaux de la gestion.

Dans le présent travail, nous n'allons pas voir tous les aspects de la gestion mais un modèle de gestion quantitative rationnelle et donc une réalité simplifiée du problème de la gestion de l'eau dans un barrage-réservoir.

Nous déterminerons d'abord, les demandes que doit satisfaire le barrage.

Ensuite, nous dégagerons les différentes contraintes auxquelles est soumis le barrage de la CHEFFIA.

Et nous finirons par présenter les principes de base du modèle conçu dans le cadre de ce travail.

Chapitre I :

*Etat de l'art de la gestion des
barrages réservoirs*

Chapitre I : ETAT DE L'ART DE LA GESTION DES BARRAGES RESERVOIRS

1- Introduction

L'Algérie est un pays qui se compose d'une diversité géographique et climatique, avec du Nord vers le Sud, des régions côtières et sublittorales, semi-arides (Hauts Plateaux) et arides à hyperarides (Sahara). Les ressources en eau superficielles sont irrégulières, et localisées dans la bande côtière. On estime la quantité de cette ressource en Algérie à 10 milliards de m³ dans le Nord. Cette eau n'est pas toujours mobilisable car les régions où elle se trouve ne sont pas toutes accessibles et l'eau n'y est donc pas mobilisée. D'où la nécessité de l'implantation de barrages dans tous les sites favorables techniquement, chose à laquelle s'attèle le pays. Afin de pallier à la répartition inégale de la ressource en eau, la réalisation de transferts régionaux doit assurer une équité territoriale dans l'accès à l'eau, résorber le déficit en AEP des agglomérations urbaines du Nord et des « Hauts Plateaux », mettre en valeur des milliers d'hectares de terres agricoles par le biais de l'irrigation et permettre un bon développement industriel.

Après captage et mobilisation de la ressource, il faut planifier son utilisation et mettre en œuvre des modèles de gestion.

2- Gestion de barrages-réservoirs

Tout projet de gestion implique en principe 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 œuvre 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 (un 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 décrire 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.

3- Définition d'un barrage

Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers d'un cours d'eau pour en stocker l'apport ou augmenter son énergie potentielle, il est destiné à satisfaire plusieurs objectifs. Ces objectifs dépendent de la nature des demandes ou des pressions exercées sur le barrage. L'accumulation de l'eau retenue forme un lac artificiel remplissant ainsi ce que l'on appelle : la cuvette du barrage.

3.1 Objectifs d'un barrage

- Alimentation en Eau Potable : elle est destinée aux usages domestiques tels que : boire, cuisiner, se doucher...etc.
- Alimentation en Eau Industrielle : l'eau est un composant essentiel dans bon nombre de processus industriels et en quantités appréciables.
- Irrigation : eau nécessaire à la culture de différents types de plantes d'une manière systématique et scientifique dans les terres arables et ce même en cas de déficit hydrique.
- Régulation des débits ou buts écologiques : maîtrise des crues ou au contraire soutien d'étiage selon les saisons. Ceci est nécessaire lorsque la pluviométrie de la région est irrégulière comme celle de l'Algérie.
- Production d'énergie hydroélectrique : transformation de l'énergie potentielle de l'eau en énergie électrique. Ceci est faisable quand la hauteur de chute de l'eau est suffisante et pour des cuvettes allongées.

- Navigation : pour ce faire, on élargit les voies et on augmente leur profondeur à fin de permettre le passage de différents types de vaisseaux.
- Plaisance :

Selon les objectifs que doit remplir le barrage, un mode de gestion de la retenue se dessinera.

L'existence de plusieurs objectifs à atteindre créera une certaine concurrence entre eux, ce qui rendra notre gestion de plus en plus complexe, compliquée ou les deux à la fois.

La meilleure gestion est celle qui mobilisera le stock le moins important dans la retenue. On appelle cela, la valorisation de l'eau. Cet aspect n'est pas facile à prendre en compte vu la rareté de la ressource et la nature irrégulière du climat dans les régions semi-arides à arides.

4- Principes de gestion

4.1 Dimensions de gestion

Les barrages, par la création de lacs artificiels, permettent la gestion de l'eau dans l'espace et dans le temps.

- Dans l'espace : car 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 : car 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.

4.2 Définition de la période de gestion

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, comme suit :

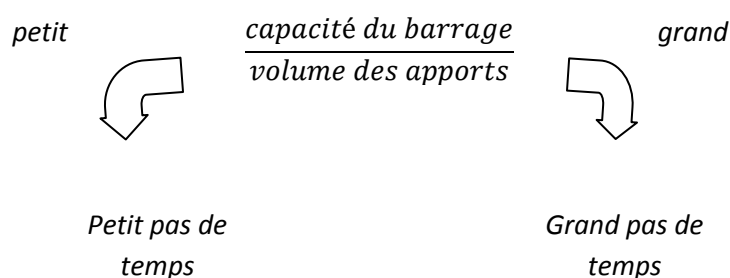


Figure n° I.1 : Définition de la période de gestion

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 la levée des nouveaux semis.

Pour ce qui est des barrages collinaires. L'hydrologie et surtout la forte évaporation en fin de printemps et pendant l'été peuvent priver d'une gestion interannuelle. Dans ce cas, l'horizon de gestion est l'année.

4.3 Gestion du risque

Les apports d'eau au barrage résultent d'un phénomène tout à fait aléatoire. Par conséquent, quand on essaie de prévoir ces apports dans le futur, nous soumettons notre gestion à des incertitudes de différentes natures qui sont :

- **Incertitudes stratégiques**

Elles sont dues 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 dues à la nature des paramètres manipulés par le gestionnaire. Des paramètres hydrologiques imprégnés par l'aléa climatique. Heureusement, le traitement de ces paramètres hydrologiques par des outils statistiques aide à mieux cerner les incertitudes physiques.

- **Incertitudes technologiques**

Ces incertitudes sont dues à l'information incomplète, parfois insuffisante pour l'élaboration d'un modèle de gestion, entachée d'erreurs ou complètement indisponible.

Dans notre pays, nous souffrons particulièrement de ce problème.

4.4 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 des crues

- **Gestion en début 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 cotes observées et de la capacité d'évacuation du barrage.

A partir de ce que l'on vient de dire, deux situations doivent être évitées :

- Une augmentation trop tardive de l'ouverture des vannes peut entraîner le risque de devoir évacuer du barrage des débits déjà très forts alors que le niveau amont est encore très élevé. Il y a alors un risque important de dépassement de la dissipation d'énergie autorisée.
- Une augmentation trop précoce de l'ouverture des vannes représente certes une sécurité vis-à-vis de la dissipation d'énergie, mais pénalise de façon superflue les quantités d'eau pouvant être stockées.

- **Gestion en période de crue**

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.

- **Gestion en fin de crue**

L'objectif consiste à faire remonter le plan d'eau amont le plus tôt possible jusqu'au niveau objectif d'étiage, sans risquer de dépasser la limite induite par la capacité d'évacuation par le biais des vannes du barrage.

La première condition est la diminution des débits à évacuer comme expliqué plus haut.

La seconde condition concerne la certitude de décroissance des apports de l'amont. Le rehaussement ne peut être engagé qu'après le passage du maximum de crue, qui peut facilement être repéré par suivi des niveaux d'eau observés tout le long de la durée de la crue.

Là encore deux situations sont à éviter :

- Une diminution trop précoce de l'ouverture des vannes peut entraîner le risque de devoir évacuer du barrage des débits encore très forts alors que le niveau amont aura déjà été rehaussé de façon importante. Il y a alors un risque élevé de dépassement de la dissipation d'énergie autorisée.

- Une diminution trop tardive de l'ouverture des vannes représente certes une sécurité vis-à-vis de la dissipation d'énergie, mais pénalise de façon superflue les volumes d'eau pouvant être recueillis.

5- Méthodes de gestion

Depuis l'apparition des barrages, les modes de gestions se sont développés et diversifiés au cours du temps. En voici quelques exemples :

5.1 Règles de gestion

Des méthodes simples et classiques empruntées à PARENT (1990) consistant en la prise de décision sur les lâchers d'après les états du système. Elles se subdivisent en ces 3 catégories :

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

5.1.1 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 des zones de fonctionnement du réservoir. Ceci à été traduit par les consignes de gestion de barrages plus haut.

- i-** **La zone de fonctionnement** normale où se situe l'état idéal du réservoir et qui permet une marge due aux aléas hydrologiques.
- ii-** **La zone d'écèlement** qui permet de faire face à des crues. Au-delà de cette zone, il y a débordement.
- iii-** **La zone d'étiage** où il faut réduire le plus sévèrement possible les lâchers.

- iv- **La zone inactive**, sous le niveau de la prise d'eau. Cette partie délimite le volume mort destiné à accueillir les dépôts liquides tout au long de la durée de vie ou de fonctionnement du barrage.

5.1.2 Règles linéaires de gestion

Une stratégie de gestion consiste à choisir un lâcher fonction linéaire du stock dans le réservoir (V) et des apports (Ap):

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

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) :

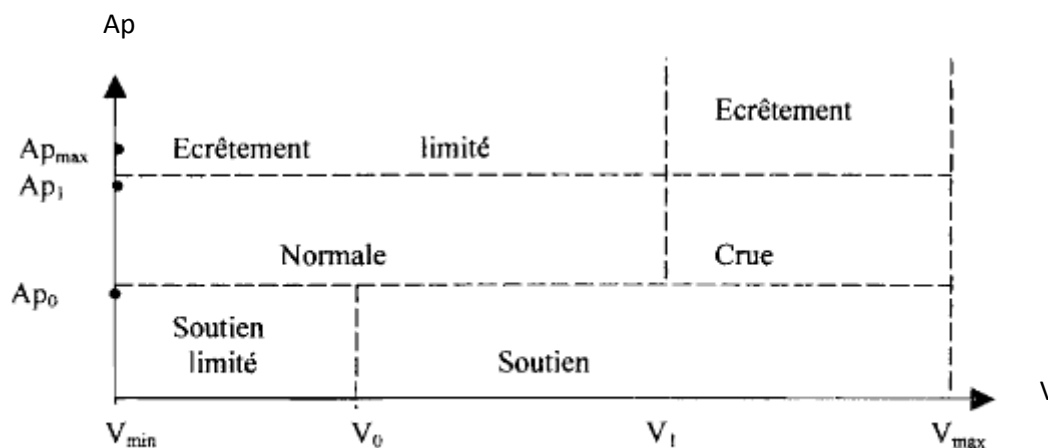


Figure n°I.2 : Stratégie à adopter en fonction de V et Ap

- **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 $L(t)=Ap_1 =$ 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: $L(t) = a.A_{pl} + (1-a).A_{p_{max}}$,
où $A_{p_{max}}$ correspondant aux potentialités de lâcher 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 $L(t)=A_{po}$
- **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.

5.1.3 Règles empiriques paramétrées de gestion (LEBDI et al., 1997)

La règle 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

$\frac{\text{l\^a cher}}{\text{demande potentielle}}$

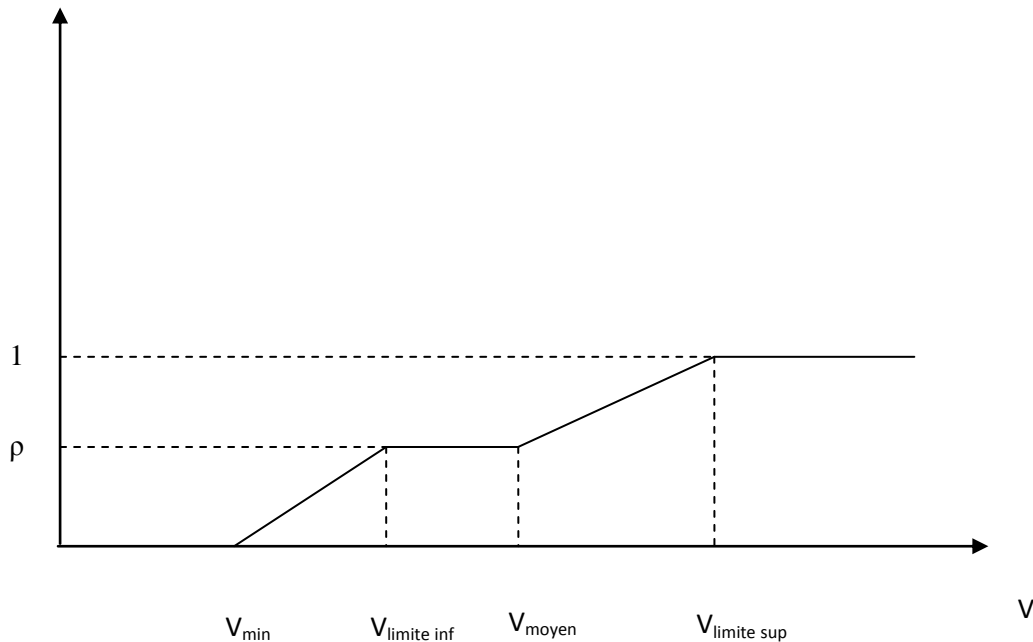


Figure n°I.3 : Règle de gestion empirique

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

5.2 Gestion par modélisation

5.2.1 Concept de modélisation

Nous parlons ici de modélisation mathématique. Modéliser un phénomène, c'est le traduire en un langage mathématique. Autrement dit, décrire le phénomène étudié par une ou des équations reliant les variables ou paramètres du système. Après quoi, nous obtenons un modèle qui décrit le phénomène étudié et reproduit son comportement. Les modèles sont une représentation simplifiée de la réalité. Des hypothèses simplificatrices doivent être posées pour aider à représenter une réalité toujours complexe.

5.2.2 Modèles de bilan macroscopique

Les modèles de type macroscopique essaient de décrire les systèmes en termes de bilan des phénomènes dans des réservoirs. Les principaux modèles que nous devons utiliser peuvent être représentés par des modèles macroscopiques. L'évolution du niveau d'eau dans un réservoir, dans un barrage ou dans un lac est le cas le plus typique où un modèle macroscopique peut être utilisé pour simuler la réalité. La production d'une forêt, la production d'un réacteur chimique, et les besoins en eau d'irrigation sont d'autres exemples. Les modèles de bilan macroscopique sont basés sur l'équation de la continuité:

$$I - O = S \dots\dots\dots(I.2)$$

I : inputs ou entrées.

O : outputs ou sorties.

S : le stockage enregistré.

Le stockage est assimilé au niveau d'eau dans le réservoir, niveau que les débits entrants et sortants dus aux différents phénomènes font varier. Les équations décrivant les débits peuvent être de nature physique, déterministe, statistique, stochastique ou un mélange et le choix dépendra des objectifs du modèle et des hypothèses posées.

L'approche de bilan macroscopique permet de réduire un problème complexe en un modèle simple à comprendre.

La construction d'un modèle doit être précédée par une analyse du problème dont les étapes sont:

- i. l'identification des variables de sorties désirées,
- ii. l'identification des phénomènes qui doivent être modélisés,
- iii. l'identification des hypothèses qui doivent être posées,
- iv. l'identification des variables nécessaires à l'alimentation du modèle et vérification de la disponibilité des données pouvant décrire ces variables, et
- v. l'identification du pas de temps de la simulation.

5.2.3 Modèle dynamique stochastique

On décrit notre système comme suit :

- Etats : concernent tout ce qui est mesurable, tel que :

Apports, pertes, niveau de la retenue ...etc.

- Commandes : représentent tout ce sur quoi nous exerçons un contrôle.
- Fonction d'évolution : relie les paramètres d'états et de commandes cités plus haut entre eux et leur évolution dans le temps.



L'unité sur laquelle nous travaillons est le réservoir d'eau. Il constitue le système qu'on veut décrire pour ensuite pouvoir le gérer convenablement. Pour ce faire nous devons définir ses caractéristiques en plus des grands objectifs qu'il doit remplir. Ensuite seulement nous pourrions définir une stratégie de gestion adéquate.

5.3 Caractéristiques de la gestion

Nous nous trouvons en Algérie, un pays à climatologie aride à semi-aride. Donc, comme nous l'avons expliqué pour la définition de la période de gestion d'un grand barrage, la stratégie sera certes interannuelle car la ressource est irrégulière et rare. Quand les besoins se font le plus ressentir l'apport en eau, lui, est faible et vice versa.

5.3.1 Les objectifs du barrage de la CHEFFIA

- AEP.
- AEI.
- Irrigation.
- Soutien d'étiage et laminage de crue.

De là, nous pouvons dire que notre système est à la fois compliqué car plusieurs objectifs sont à satisfaire et complexe car plusieurs contraintes, physiques et institutionnelles, existent.

5.3.2 Description du système

Un système est décrit par :

- L'état : apports, stocks et pertes.
- Les commandes: lâchers.
- La fonction d'évolution: l'équation reliant les paramètres d'état et de commandes.
- Les contraintes: physiques ou institutionnelles.

- **L'état** : il est décrit par :

Apports :

- Pluie :
 - Mesure : la pluie est mesurée par des pluviomètres ou pluviographes.
 - Prévion : les données recueillies par l'appareil de mesure subissent un dépouillement en vue d'un traitement statistique afin de déterminer la loi statistique à laquelle obéit le phénomène de pluie.
- Débit :
 - Mesure : les débits de l'Oued sont déterminés grâce à des hydromètres ou stations hydrométrique. Ce sont des déversoirs dont on connaît la loi du débit en fonction de la hauteur d'eau amont au déversoir.
 - Prévion : l'écoulement de surface est étroitement lié aux phénomènes de précipitation. De ce fait, simuler et prévenir des débits dépend de la quantité d'eau précipitée, d'autres éléments du cycle hydrologique et du comportement du bassin versant. Dans notre cas, les scénarii futurs de débit ont été obtenus par modélisation de la dualité : pluie-débit.
 - Eventuels volumes ou débits transférés à notre système, le barrage en l'occurrence. Ils sont connus par mesure du débit entrant ou en les programmant.

Stocks :

Le stock qu'il y a dans le barrage est connu en mesurant la cote du plan d'eau. Chaque barrage est caractérisé par une courbe hauteur-surface-volume qui lui est propre. En connaissant le niveau d'eau dans la retenue, on connaîtra le volume correspondant grâce à cette courbe.

La connaissance du stock d'eau dans le barrage permet de :

- améliorer la gestion de la retenue par une connaissance continue des volumes d'eau disponibles ;
- participer à l'auscultation du barrage en permettant d'examiner l'influence de la cote de la retenue sur les mesures de certains instruments (en particulier débits et piézométrie) ;
- enrichir les données hydrologiques par mesure des débits de crue.

Pertes :

▪ Fuites :

Mesure des débits de fuites :

Le contrôle des fuites, des suintements et des zones humides est d'abord visuel. La mesure des débits suppose leur collecte : fossé de pied, aménagement d'exutoires. Deux procédés de mesure des débits sont envisageables :

- par capacité (mesure du volume recueilli dans une capacité jaugée pendant un temps donné) ;
- par mesure de la lame déversante en amont d'un seuil calibré.

Ces dispositifs sont installés sur les ouvrages neufs à la sortie des organes de drainage, et sur les barrages en service dans des zones où l'on observe des fuites. Tout doit être fait pour que le point de mesure rassemble le mieux possible tous les débits de fuite, sans contournement, et qu'il soit, si possible, non influencé par la pluie.

▪ La demande climatique :

L'évaporation du plan d'eau ou ETP représente une perte sèche en eau. C'est ce que l'on appelle demande climatique. Le barrage doit être en mesure de satisfaire les demandes en eau des consommateurs qui sont : alimentation en eau potable, alimentation en eau industrielle et alimentation en eau agricole, à cela s'ajoute la demande climatique qui est l'évaporation.

▪ Les débits évacués :

En cas de forte crue avec un niveau élevé à l'amont du barrage

- **Les commandes :**

Lâchers :

Ils représentent les eaux desservies à l'aval du barrage. On a : les eaux destinées aux ménages, l'industrie, l'irrigation et les eaux évacuées par vidange pour auscultation et entretien du barrage et aussi pour diminuer du volume des sédiments en début de crue.

- AEP : la demande en eau potable est déterminée comme suit :

$$\text{Volume} = \text{population} * \text{dotation.}$$

Avec,

Population : elle est déterminée à partir des données recueillies lors du dernier recensement en date.

Datation : elle est fixée suivant le mode et train de vie de la population à desservir.

Par exemple : Pour la population urbaine : 150 litres/habitant/jour.

 Pour la population rurale : 120 litres/habitant/jour.

La détermination de la population future se fait par plusieurs méthodes selon que la population de la ville ou de la région progresse de manière :

- Arithmétique,
- Géométrique,
- Logistique,
- Et plusieurs méthodes de comparaison entre différentes régions.

La dotation augmente elle aussi avec le temps : par exemple,

 En 2000 : la dotation était de 120 litres/habitant/jour.

 En 2010 : elle devient de 150 litres/habitant/jour.

 En 2020 : elle sera de 200 litres/habitant/jour.

 En 2030 : elle deviendra 250 litres/habitant/jour.

La dotation varie aussi selon l'état de développement et d'avancement du pays où l'on veut la déterminer, ajouté à cela, la disponibilité de l'eau.

- AEI : la demande en eau industrielle est plus rigide et moins variable que celle en eau potable destinée aux ménages.

Ceci est du au fait que cette demande est limitée par la capacité de l'industrie demandeuse d'eau. Et quand une nouvelle industrie est à implanter, elle induit une variation rigide dans la demande en eau comme suit :

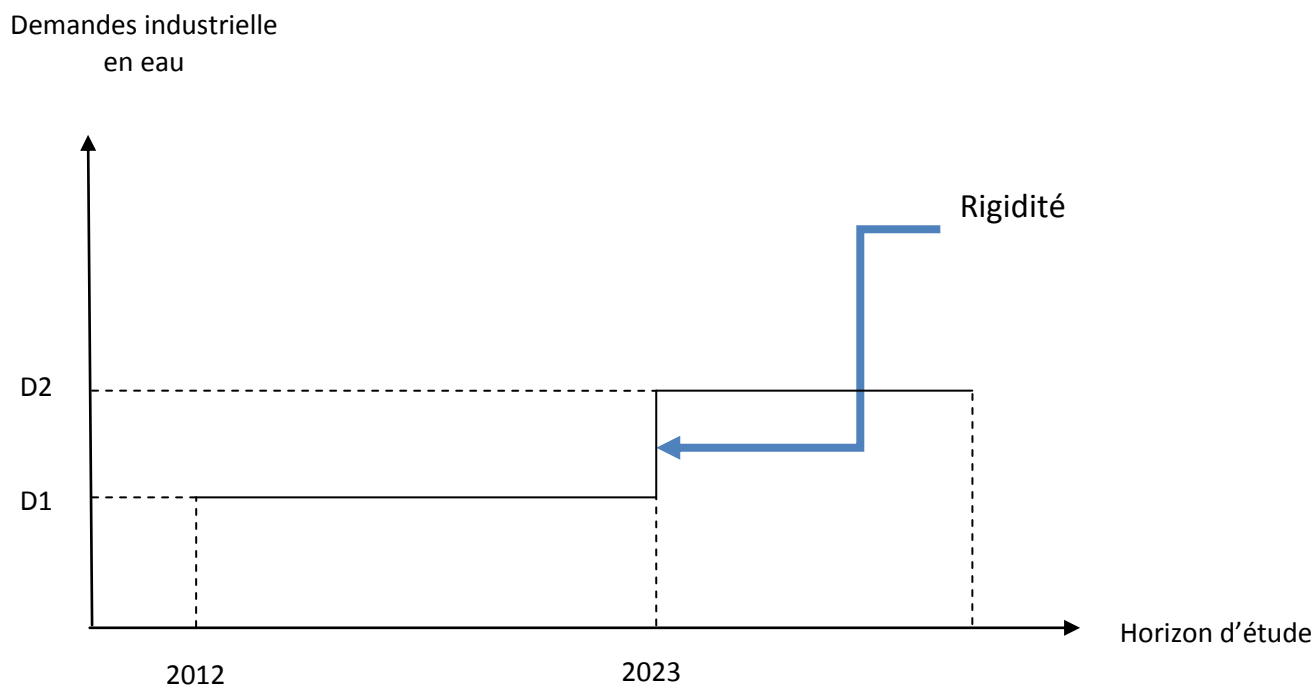


Figure n° I.4 : Evolution de la demande en eau industrielle

Avec,

2012 : implantation de la première industrie consommatrice d'eau.

2013 : implantation de la deuxième industrie consommatrice d'eau.

D1 : représente la demande en eau de la première industrie.

D2 : représente la somme des deux demandes industrielles, c'est celle la même qu'il faut satisfaire à partir de 2023 suivant cet exemple.

L'implantation de nouvelles industries est mentionnée sur les plans d'aménagement du territoire, donc lors de la conception de barrages ou d'ouvrages similaires, la consultation des plans d'aménagement du territoire et d'occupation du sol est primordiale.

- AEA : la demande en eau agricole dépends de beaucoup de paramètres interconnectés tels que : le plan cultural, le climat, la surface irrigable...etc.

Le volume à allouer à ce secteur est déterminé comme suit :

$$\text{Volume} = \sum (\text{surface}(i) * \text{dotation}(i)) \dots\dots\dots(I.3)$$

Surface : représente le périmètre à irriguer avec les eaux provenant de notre système.

Dotation : dépend du plan cultural.

Un plan cultural consiste à attribuer une culture à un périmètre donné, et il peut être variable d'année en année, ceci est même fortement conseillé pour permettre une meilleure utilisation des sols. La dotation attribuée à chaque culture est caractéristique de cette culture. Il y a des cultures consommatrices d'eau et d'autres qui le sont moins.

Dans le cadre de notre travail, nous avons consulté le Plan National de l'Eau (PNE) pour connaître la dotation en eau par hectare. Elle s'est révélée être de 5000 m³/hectare/an, en moyenne, mais par la suite, on s'est fixé comme objectif en matière d'irrigation, la quantité d'eau maximale desservie par le passé.

- **La fonction d'évolution :**

Elle représente l'équation reliant les paramètres cités précédemment.

$$\text{Apports} + \text{stock} = \text{lâchers} + \text{fuites} + \text{vidanges} + \text{ETP} \dots\dots\dots(I.4)$$

6- Optimisation

Les enjeux économiques ou sociaux actuels exigent de considérer des objets de plus en plus complexes. Les modèles deviennent donc de plus en plus complexes et globaux, ce qui est rendu possible d'une part par les avancées théoriques et algorithmiques, et d'autre part par la montée en puissance exponentielle des ordinateurs. Par exemple, les prévisions météorologiques sont désormais données de façon fiable sur plusieurs jours.

Le développement d'algorithmes d'optimisation complexes permet d'aller encore plus loin dans l'utilisation de la modélisation. Ils permettent de répondre à ce que l'on appelle le problème inverse : voulant obtenir telle ou telle propriété, quelles valeurs donner aux paramètres de mon problème?

Parmi les problèmes rencontrés par le chercheur et l'ingénieur, les problèmes d'optimisation occupent à notre époque une place de choix. Nous n'aborderons qu'un aspect très simple de l'optimisation.

La méthode de base pour optimiser un dispositif est la méthode d'essai et erreur : il s'agit de tester un certain nombre de solutions potentielles jusqu'à l'obtention d'une solution adéquate. C'est ce que nous faisons quand nous donnons à un paramètre plusieurs valeurs successives et que nous observons le résultat. C'est également le cas quand nous faisons varier ce paramètre de façon quasi-continue à l'aide d'un ordinateur et que nous traçons la courbe correspondante.

Dans notre travail, nous n'avons fait qu'une petite application de la méthode d'essai et erreur car elle présente une grande simplicité.

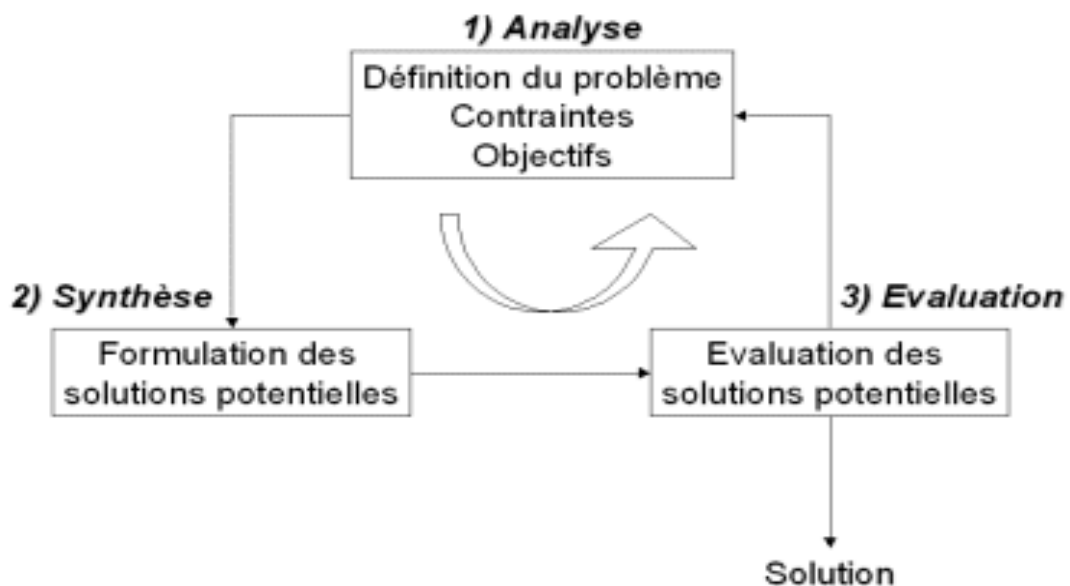


Figure n° I.5 : Processus d'optimisation selon Asimow [Balachandran, 1993]

Pour ce qui est des variables du problème, c'est à l'utilisateur de les définir. Il peut avoir intérêt à faire varier un grand nombre de paramètres pour augmenter les degrés de liberté de l'algorithme afin de découvrir des solutions nouvelles. Ou bien, s'il a une vue suffisamment précise de ce qu'il veut obtenir, il peut limiter le nombre de variables à l'essentiel.

Chapitre II :

Présentation du site de l'étude

Chapitre II : Présentation du site de l'étude

1. Introduction

Au XXe siècle, les barrages étaient considérés comme des synonymes de développement et de progrès économique. Ils furent construits en grand nombre et il en existe aujourd'hui environ 50 000 de plus de 15 mètres de haut et environ 800 000 barrages de hauteur moindre.

Le barrage auquel on s'est intéressé dans cette étude est le barrage de la CHEFFIA qui se trouve dans le bassin versant de la Mefragh.

2. Caractéristiques du bassin versant

2.1. Aperçu sur le Bassin de Mefragh

Le bassin de la Mefragh forme le versant Nord du dernier tronçon de la chaîne septentrionale de l'Atlas Tellien constituée par les monts de Medjerdah en Algérie, et les monts Krounirio en Tunisie.

Il couvre une superficie de 2600 Km² environ, longeant la côte de 70 Km. La Mefragh est constituée par la réunion de deux grands Oueds : L'Oued Bounamoussa à l'Ouest, et l'Oued Kebir à l'Est. Elle se jette dans la méditerranée par un étroit couloir à travers le massif dunaire du littoral : ainsi, en période de crues, la majeure partie des apports inonde la plaine, formant un vaste marécage au pied de la chaîne numédique de Bone à la Calle.

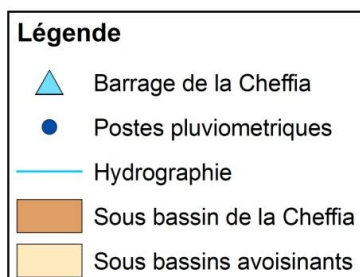
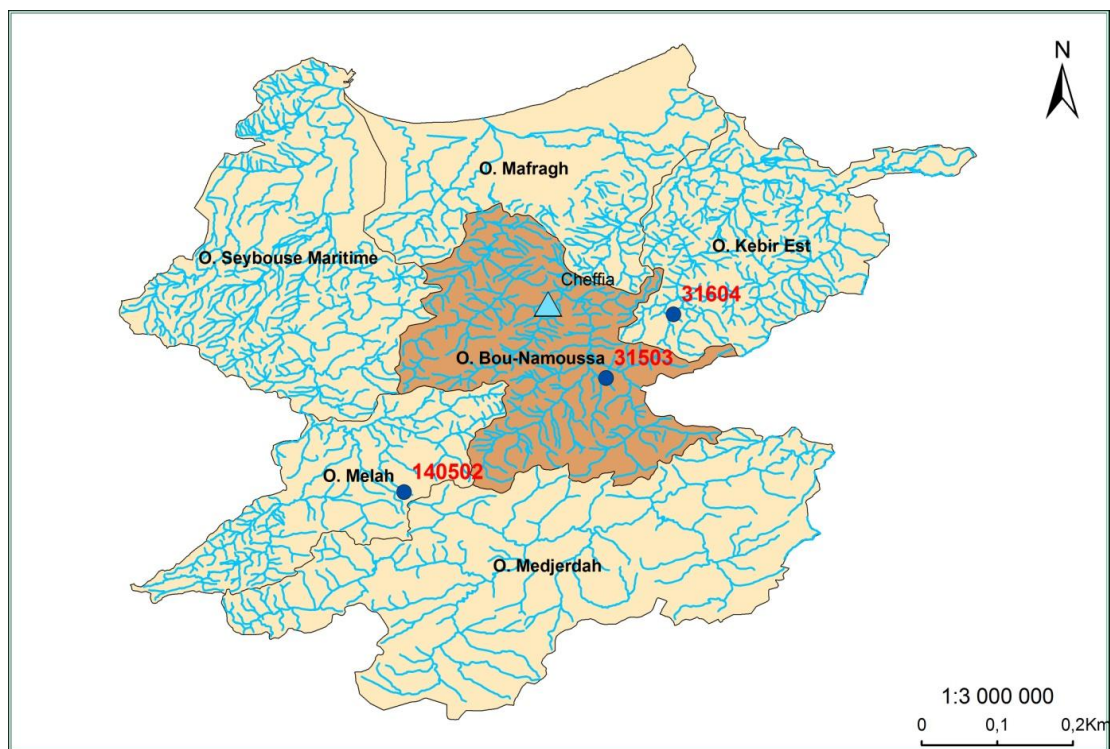


Figure n°II.1 : Présentation de la zone d'étude

2.2. Relief du bassin versant

L'Altitude moyenne est de 340 m, dans l'ensemble, l'altitude ne dépasse pas les 1000 m, sauf en quelques points de la chaîne des monts de la Medjerdah (Djbel M'cid 1406 m). Entre les chaînons orientaux qui se terminent sur la côte et ceux de l'Ouest qui bordent la vallée de la Seybouse, s'étend la vaste dépression d'Annaba, entre Annaba et la Calle. Cette dépression est parsemée de marécages : marais M'Krada, Lac des oiseaux, Lac Oubeira.

2.3. Géologie du Bassin Versant

Les dépressions (cuvettes) ont un substratum constitué de schistes argileux et marneux, du Sénonien et de l'Eocène inférieur. Les massifs montagneux quant à eux sont essentiellement constitués d'alternances d'argiles et de grès. Les alluvions occupent d'assez grandes surfaces dans les cuvettes.

2.4. Couverture végétale

C'est l'une des rares régions d'Afrique du Nord où se reproduisent biches et cerfs. Les vallées sont les terrains de culture. La couverture végétale du bassin versant de la Cheffia (575 Km²) a une couverture végétale dense et constituée par la forêt arbustière en majorité.

2.5. Neige

La neige fait son apparition presque chaque année sur le mont de Medjerdah mais il est rare que la durée excède une semaine. La neige n'a donc aucune conséquence sur le régime des Oueds du bassin.

3. Potentiel hydrographique du Bassin Versant de la Mafragh

Les ressources en eaux superficielles sont constituées par les eaux de surface tel que : les cours d'eau, les étendues libres (lacs) et les barrages. Les principaux oueds qui drainent notre bassin sont le Kébir-Est et la Bounamoussa, ainsi que leurs affluents, qui sont moins importants mais qui jouent un rôle complémentaire dans l'écoulement superficiel, l'alimentation et surtout le drainage des nappes superficielles.

Tableau n°II.1 : Apports moyens annuels des principaux oueds

Oueds Apport moyen annuel	Hm3	la contribution en%
Kébir-Est (station Ain Assel)	295	54.02
Boulathane	15	2.74
Guergour	8	1.46
Zitouna (station Gue Zitouna)	52	9.52
Bouhaloufa	49	8.97
Bounamoussa (station Boutayeb)	127	23.26
Total La Mafragh	546	100.00

Le cours d'eau qui nous intéresse est BOUNAMOUSA.

4. Hydrologie du bassin versant

4.1. Pluviométrie

A partir des données de la station pluviométrique du barrage de la CHEFFIA, il nous apparaît que les précipitations sont très variables et irrégulières non seulement entre les mois mais d'année en année également. L'échantillon représenté s'étend de septembre 1980 à aout 2008.

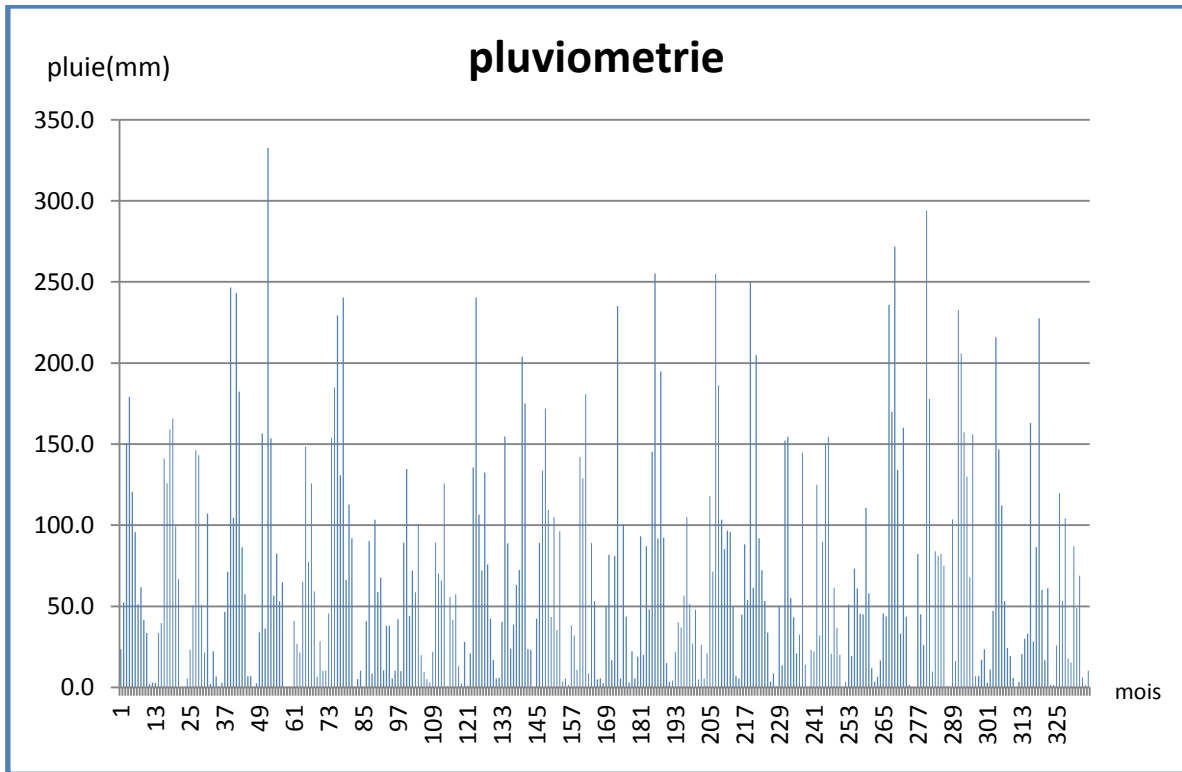


Figure n° II.2 : Variation de la pluie mensuelle

- Pluviométrie mensuelle moyenne :

Voici la répartition moyenne interannuelle des pluies mensuelles, à partir des données de la station pluviométrique du barrage de la CHEFFIA qui sont à l'origine du graphique précédent.

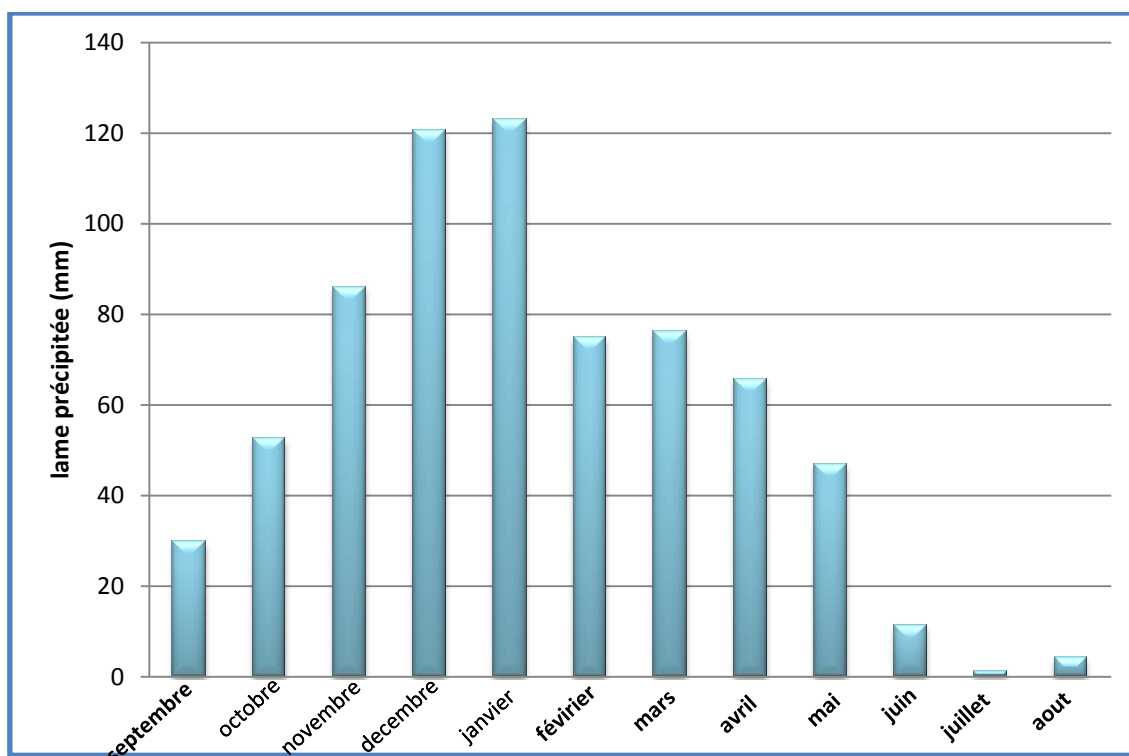


Figure n° II.3 : Moyenne mensuelle interannuelle de la pluie

En moyenne, il est précipité 693 mm de pluie par an, et la moyenne des précipitations par mois est de 57.7 mm.

A la lumière de ces chiffres, on peut dire que les mois de : juin, juillet et aout sont les moins arrosés avec moins de 20 mm de pluies, et les mois de novembre, décembre et janvier sont les plus humides avec plus de 80 voire 120 mm de précipitations par mois.

2.1.1. Fréquence des crues

Les fréquences des crues instantanées pour la Bounamoussa au barrage de la Cheffia sont représentées dans le tableau ci-dessous:

Tableau n°II.2 : Représentation des valeurs des crues.

Période de retour	Débit de pointe	Apport de 24 heures
Crue décennale	800 m ³ /s	31 Hm ³
Crue centennale	1500 m ³ /s	56 Hm ³
Crue millénale	3000 m ³ /s	/

La crue de 2.000 m³/s est la valeur adoptée pour le calcul des ouvrages d'évacuation ; pour une crue supérieure à 2.000 m³/s, les débits excédentaires seront évacués par le déversoir de la digue du col d'El Karmat.

4.2. Débits de l'oued BOUNAMOUSA

Les débits d'apport de l'oued ne sont que la réponse du bassin versant au phénomène de pluie. C'est le drainage naturel du bassin par la formation d'un réseau hydrographique.

Tout comme la pluie, les débits de l'oued sont caractérisés par une forte variabilité et une irrégularité dans leur distribution mensuelle et interannuelle.

La figure qui suit représente les débits entrés au barrage de la CHEFFIA depuis l'année 1970/1971 à l'année 2009/2010.

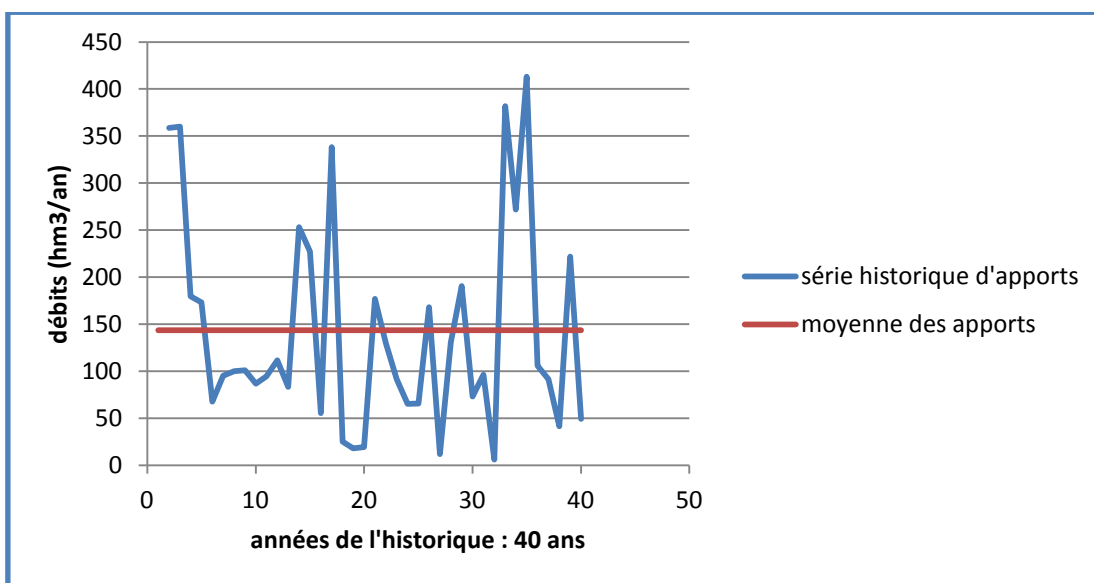


Figure n°II.4 : Apports passés au barrage de la CHEFFIA

- Débits d'apports moyens mensuels :

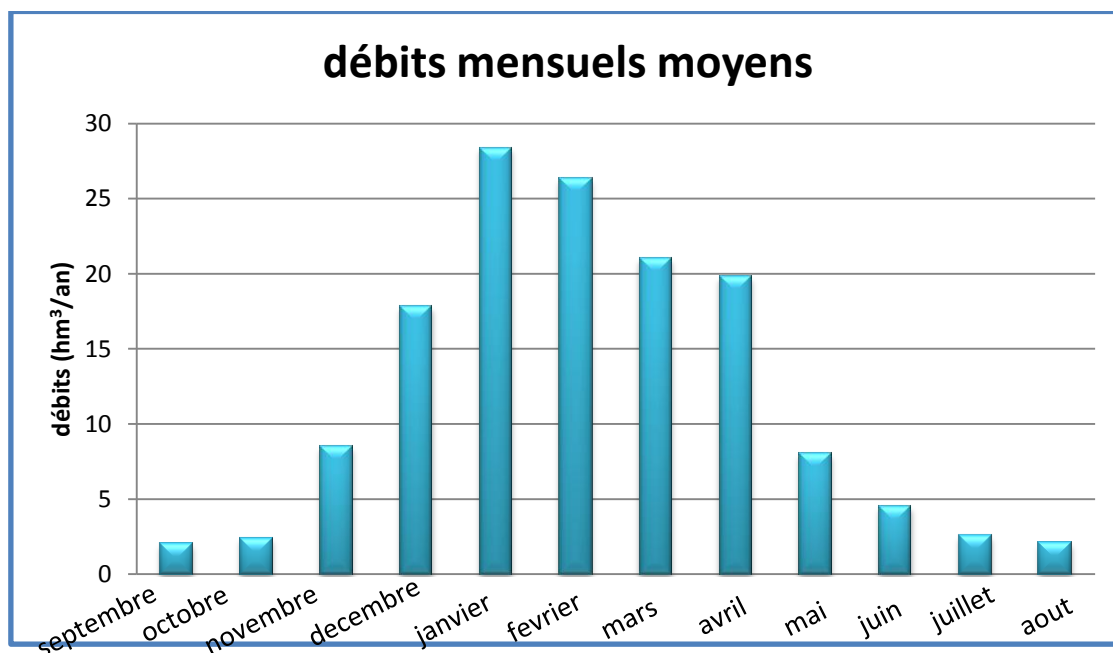


Figure n° II.5 : Apports mensuels moyens au barrage

- ✓ La moyenne des apports sur les 40 ans de notre échantillon est de : 143.6 hm³/an.
- ✓ L'écart type est de : 109.9 hm³, ce qui témoigne de ce qui a été dit plus haut.
- ✓ Il apparait clairement qu'il y a deux saisons qui se distinguent : une, humide allant de novembre à mai, et une saison sèche s'étalant de juin à octobre. Par la suite la comparaison entre les apports et les demandes confirmera ce constat.

4.3. Evaporation

Un bac colorado nous a permis de récolter des données sur l'évaporation au niveau du site de la CHEFFIA. Notre échantillon de données va de 1947 à 1954.

L'évaporation mensuelle moyenne est de :

Tableau n° II.3 : Caractéristiques statistiques de l'évaporation mensuelle

	Septem -bre	Octo -bre	Novem- bre	Déce m-bre	Janvier	févrie r	mars	avril	mai	Juin	Juillet	Aou t
ETP moyenne	142.0	106.2	68.7	54.0	53.0	57.8	85.2	104.7	137.6	164.0	198.0	186.3
écart type	11.3	11.9	9.4	7.5	7.7	6.2	12.2	9.9	14.2	12.7	12.2	13.2
ETP Majorée	153.3	118.1	78.2	61.5	60.7	64.0	97.4	114.6	151.9	176.8	210.2	199.4

Nous avons considéré dans nos calculs, une évaporation majorée, car l'ETP est un phénomène cyclique. De cette manière, nous évitons de la simuler pour l'intégrer à un scénario futur et nous nous plaçons dans une certaine sécurité, en considérant une ETP importante mais probable de survenir.

Le calcul de l'évaporation s'est fait selon les bases suivantes :

- L'évaporation est une demande sur laquelle nous n'avons aucun contrôle. On veut dire par là, que contrairement aux secteurs de consommation (AEP, AEI, AEA), ce n'est pas une allocation, et donc si on ne la satisfait pas, cela ne se traduira pas par un taux de satisfaction.

Ce qui fait de l'évaporation une contrainte physique.

- Aussi, nous comprenons par là, que sa détermination doit être la plus rigoureuse possible. Ceci nous a amené à, non pas simuler l'évaporation dans le futur, mais la prendre constante tout le long de l'historique et du scénario futur.

Le calcul de l'évaporation s'est fait comme suit :

$$\text{Volume évaporé} = \text{lame d'eau évaporée} * \text{surface du plan d'eau} \dots \dots \dots (\text{II.1})$$

Bien que l'évaporation ait été prise constante, elle n'a pas été considérée égale à sa moyenne. Elle est considérée, par le modèle, égale à la moyenne majorée, autrement dit :

- lame évaporée considérée = lame d'eau moyenne évaporée + écart type.
- La surface du plan d'eau = surface correspondant à : apport moyen mensuel (i) – demande mensuelle (i) – évaporation (i-1).

C'est la courbe de remplissage simplifiée du barrage.

L'évaporation nous donne les résultats suivants :

Tableau n° II.4 : Evaporation mensuelle majorée

	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	Aout
ETP												
moyenne	142.0	106.2	68.7	54.0	53.0	57.8	85.2	104.7	137.6	164.0	198.0	186.3
écart												
type	11.3	11.9	9.4	7.5	7.7	6.2	12.2	9.9	14.2	12.7	12.2	13.2
ETP												
majorée	153.3	118.1	78.2	61.5	60.7	64.0	97.4	114.6	151.9	176.8	210.2	199.4

4.4. Transport solide

La capacité initiale du barrage de la CHEFFIA était de : 171.96 hm³, et ce, en tout début de son exploitation en 1970. L'envasement du barrage était estimé à : 0.17hm³/an.

Suite au relevé bathymétrique effectué en 2004, la capacité du barrage est devenue : 158.83 hm³.

En considérant un envasement constant chaque année, donc linéaire en fonction des ans, de la forme suivante :

$$\text{Envasement} = \text{taux d'envasement (hm}^3\text{/an)} * \text{nombre d'années considéré.....(II.2)}$$

Donc, on obtient une vitesse (ou taux) d'envasement de : (171.96 – 158.83) / (2004 – 1970) =

$$13.13 / 35 = \mathbf{0.38 \text{ hm}^3\text{/an.}}$$

Ce qui nous amène au calcul du volume mort pour le reste de la durée de vie du barrage de la CHEFFIA.

En considérant que la durée de vie de notre barrage soit de cent (100) ans, et qu'il ait déjà fonctionné pendant 40 ans, il nous reste 60 ans de gestion, pour les quels un scénario d'apports futurs a été généré.

Application :

Volume mort = taux d'envasement * durée de vie = $0.38 * 100 = 38 \text{ hm}^3$.

De là, on peut calculer le volume utile **Vu**.

Le Volume utile est le volume qu'on va gérer

Vu = capacité – volume mort = $171.96 - 38 = 134 \text{ hm}^3$.

5. Demandes en eau

Le barrage de la CHEFFIA a été bâti pour répondre aux besoins en eau suivants :

- ✓ Irriguer les bonnes terres de la partie orientale de la plaine d'Annaba autour de Asfour, Zerizer, et Ben Mhidi (actuellement, le périmètre irrigué est celui de la plaine de la Bounamoussa : 16000 ha) ;
- ✓ Fournir l'eau nécessaire à l'industrie et en premier lieu à la sidérurgie d'El Hadjar ;
- ✓ Alimenter en eau la ville d'Annaba, ce qui permettra de déclasser les installations anciennes peu sûres fournissant une eau médiocre tout en satisfaisant les besoins à long terme ;
- ✓ Limiter en partie les inondations du marais de N'Krada à l'aval du barrage.

5.1. Demande en eau potable

La wilaya de Annaba recelant des potentialités hydriques assez importantes tant en eau souterraines qu'en eau superficielles, était alimentée exclusivement par des eaux de forages avant la mobilisation des ressources superficielles.

Aujourd'hui, l'alimentation en eau potable de la wilaya est assurée par les eaux captées par les barrages de Mexa et CHEFFIA.

Le barrage de Mexa assure une petite partie de l'alimentation en eau potable de la wilaya de Annaba, alors que la CHEFFIA en assure la plus grande partie, c'est-à-dire près de **40 hm³ d'eau/an**.

5.2. Demande en eau industrielle

D'après (Affoun,2006), les besoins en eau exprimés par ces unités industrielles s'élèvent à 22.36 Hm³ /an répartis entre ressources superficielles (20 Hm³ /an pour Annaba) et souterraines (2.36 Hm³ /an pour El Tarf).

Donc la demande en eau industrielle à satisfaire par les eaux du barrage est de : **20 hm³ /an**.

5.3. Demande en eau d'irrigation

Le barrage de la CHEFFIA mobilise la ressource hydrique en partie pour satisfaire les besoins agricoles du périmètre de la BOUNAMOUSA.

L'une des richesses de la wilaya d'El Tarf est incontestablement son potentiel hydro-agricole.

La ressource initialement mobilisée pour l'agriculture permet l'irrigation de 14800 ha (soit 60% de la superficie irrigable).

L'intensification de l'agriculture est un impératif primordial qui permet de créer de nouvelles terres cultivables, là où les conditions naturelles ne permettaient aucune culture suite à un manque d'eau, mais aussi d'atteindre de haut rendement même dans les régions humides par l'introduction de nouvelles spéculations, et où l'eau durant certaines années est un facteur limitant. La réalisation des ouvrages hydrotechniques permet une utilisation plus rationnelle des eaux superficielles.

Mais au vu de certaines contraintes, la superficie actuellement irriguée ne dépasse guère les 7500 ha.

Donc les besoins en eau sont quantifiés de la manière suivante :

$$\text{Volume} = \text{dotation} * \text{superficie irrigable} \dots \dots \dots (\text{II.3})$$

Volume : volume des besoins agricoles pour une année.

Dotation : suivant le *Plan National de l'Eau (PNE), cette dotation est fixée à 5000 m³/ha/an.

Superficie : comme dit plus haut, elle est de 14800 ha. Nous surévaluerons cette dotation et la fixerons à 5500 m³/ha/an.

Application :

$$\text{Volume} = 5500 * 14800 = 82 \text{ hm}^3 / \text{an.}$$

*Plan National de l'Eau : il fut adopté en février 2007. Etalé jusqu'à l'horizon 2025, cet outil de planification souple et évolutif a pour principaux objectifs:

- Assurer une durabilité de la ressource
- Créer la dynamique de rééquilibrage territorial
- Créer et renforcer l'attractivité et la compétitivité
- Garantir une bonne gouvernance de l'eau

6. Barrage de la CHEFFIA

Le barrage de la CHEFFIA est un grand barrage en terre.

6.1. Les barrages en remblai

Les barrages en terre présentent notamment l'avantage de pouvoir reposer sur des fondations de médiocre qualité, c'est-à-dire compressibles. Tous les barrages en terre peuvent être considérés comme des barrages-poids, c'est-à-dire qu'ils résistent à la pression de l'eau par leur propre poids. C'est ce qui explique leur section de forme trapézoïdale.

6.2. Caractéristiques du barrage

Tableau n°II.5 : Caractéristiques du barrage de la CHEFFIA

Type	TERRE
Hauteur	59 m
Longueur	650 m
Côte de retenue normale (R.N)	165,00 m
Côte Plus Hautes Eaux (P.H.E)	167,00 m
Déversoirs :	
• Puits vanne circulaire	1 800 m ³ /s
• Seuil libre	1 200 m ³ /s
Vidange de Fond	225 m ³ /s

6.3. Caractéristiques hydrologiques :

Tableau n°II.6 : Caractéristiques hydrologiques du barrage

Oued	Bou namoussa
Capacité initiale	171,96 hm ³
Capacité dernier levé (2004)	158,83 hm ³
Apport moyen annuel	140 hm ³ /an
Envasement	0,17 hm ³ /an
Surface du bassin versant	575 km ²

L'envasement du barrage a été rectifié après la réalisation d'un levé bathymétrique. Nous verrons cela plus tard.

Destination :

- Alimentation en Eau Potable des villes de Annaba et Bouhadjar :
- Alimentation en Eau Industrielle de El-Hadjar :
- Irrigation du périmètre de Bou Namoussa:
- Protection contre les crues.

La mise en eau a commencé au mois de Février 1965 et s'est poursuivie jusqu'en 1969. Les allocations en eau pour l'AEP ont débuté en 1970. L'allocation en eau pour l'industrie a débuté en Juin 1979. L'allocation pour l'irrigation a quant à elle débuté sérieusement à partir de juin 1977.

7. Les ouvrages

7.1- Digue

L'ouvrage est constitué d'une digue en terre compactée avec masque amont d'étanchéité en argile. De l'amont vers l'aval, la digue est constituée de : rip-rap en enrochement, filtre sous rip-rap, recharge amont en alluvions. Volume total des remblais : 1.3 million de m³.

Côte de la crête : 169.0 m.

Largeur de digue : 10.0 m.

Longueur à la base: 214.0 m.

Longueur en crête : 650 m.

7.2- Evacuateur principal

En puits avec seuil déversant et galerie de fuite, il comprend une vanne de type cylindrique d'un diamètre de Ø16.50 m et une hauteur de 7.90 m. Son débit d'évacuation est de 1800 m³/s. Le niveau du seuil déversant est de 159.50 m. Lorsque la vanne est en position de fermeture complète, le niveau atteint les 165.732 m.

7.3- Vidange de fond

Deux (02) pertuis sont incorporés dans le socle de la tour de l'évacuateur et débouchent dans la galerie de fuite. Cette dernière est commune ; elle sert pour

l'évacuation et pour la vidange de fond. Section rectangulaire ($l = 10.69 \text{ m}$; $h = 11.84 \text{ m}$).
 Longueur : 156.50 m ; débit d'évacuation : $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

7.4- Ouvrages de prise

Les prises d'eau sont incorporées dans la tour de l'évacuateur de crue, dont 4 pertuis étagés dans la pile avale, 01 prise dans la pile amont rive gauche, 01, dans la pile amont rive droite. L'eau est véhiculée dans 02 conduites de 1.00 m de diamètre pour l'une, et 1.50 m pour l'autre. Les niveaux des prises de la pile aval sont : 138.50 , 146.00 , 153.50 et 161.00 (Prises pour l'alimentation de la conduite n°01). Celles de la pile amont, sont à la cote 133.26 m (constituant la cote du seuil des prises d'eaux d'irrigation.).

Tableau n° II.7 : Caractéristiques des ouvrages de prise du barrage de la Cheffia.

Cotes	Volumes correspondants
Première prise : 138.50 m	1.749 hm^3
Deuxième prise : 146.00 m	22.369 hm^3
Troisième prise : 153.50 m	63.416 hm^3
Vanne clapet : 161.00 m	121.063 hm^3
Prise d'irrigation : 133.26 m	0.001 hm^3
Vidange de fond : 127.00 m	/
Volume mort : 144.90 m	/

Chapitre III :

Présentation du modèle

Chapitre III : PRESENTATION DU MODELE

1- Introduction

Notion de modèle

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 réservoir de la CHEFFIA, on pourra comparer entre les différents résultats obtenus en nous basant sur différents critères et ainsi définir la meilleure gestion possible.

2- But du programme

Le modèle développé est principalement destiné à simuler la gestion opérationnelle d'un barrage à objectifs multiples, sur un pas de temps 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, ce modèle de gestion a été nommé, pour une traduction littérale en anglais : « MANMOD » : « MANagement MODel ».

Ce modèle de gestion de barrage a été développé grâce aux données concernant le barrage de la CHEFFIA sur l'oued BOUNAMOUSA, mais il peut être généralisé à d'autres barrages présentant le même nombre d'objectifs en s'adaptant à son ordre de priorité.

Les simulations effectuées par MANMOD consistent à calculer, chaque mois, le volume alloué, en tenant compte des éléments 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.

3- Contraintes et consignes

3.1- contraintes

Nous avons deux (2) types de contraintes dans le cas de la gestion de barrage :

- **Contraintes physiques** : 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 institutionnelles** : seuil minimal en deçà 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. Il sera demandé de l'entrer manuellement. Plusieurs simulations se feront en variant ce taux là, comme nous le verrons dans le chapitre suivant.

3.2- Consignes de sécurité et liées aux objectifs

Là encore, nous avons deux (2) sortes de consignes :

- ✓ **Consignes de sécurité de l'ouvrage** : telle que : évacuation d'eau par vannage en début et pendant une crue pour que le barrage ne soit pas submergé. Nous définissons un niveau au-delà duquel on ne peut monter : 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.

4- Structure du programme

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

- 4.1- Le niveau interannuel :** il consiste à réguler les volumes résultants des apports au barrage entre : des années consécutives aux apports très différents. En d'autres termes, on peut imaginer avoir une crue qui dure plusieurs années (sur une période 5 ans au maximum) qu'on va aplatir pour avoir une satisfaction assez constante au fil des ans. A l'issue de ce niveau, nous déterminerons le volume à allouer à chaque année et donc également le niveau en fin d'année.
- 4.2- Le 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.
- 4.3- Le 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, AEA sera définie plus bas selon un ordre de priorité.

Remarque :

On a fixé le nombre d'années pour la régulation à 5 ans après étude de l'historique de données de la manière suivante :

On appliquera notre modèle sur l'échantillon de données pour différents taux de satisfaction à atteindre allant de 50 à 80%.

Donc, en comparant les apports utiles aux (taux * demande), on obtient ceci :

Pour des taux fixés à :

- 60% ;
- 65% ;
- Et 70%

La demande étant égale à $102 \text{ hm}^3/\text{an}$, et l'apport utile = apport – ETP.

Avec ETP annuelle = 9.7 hm^3 .

Les figures suivantes nous montrent les résultats obtenus.

Pour un taux = 60% = $61.2 \text{ hm}^3/\text{an}$:

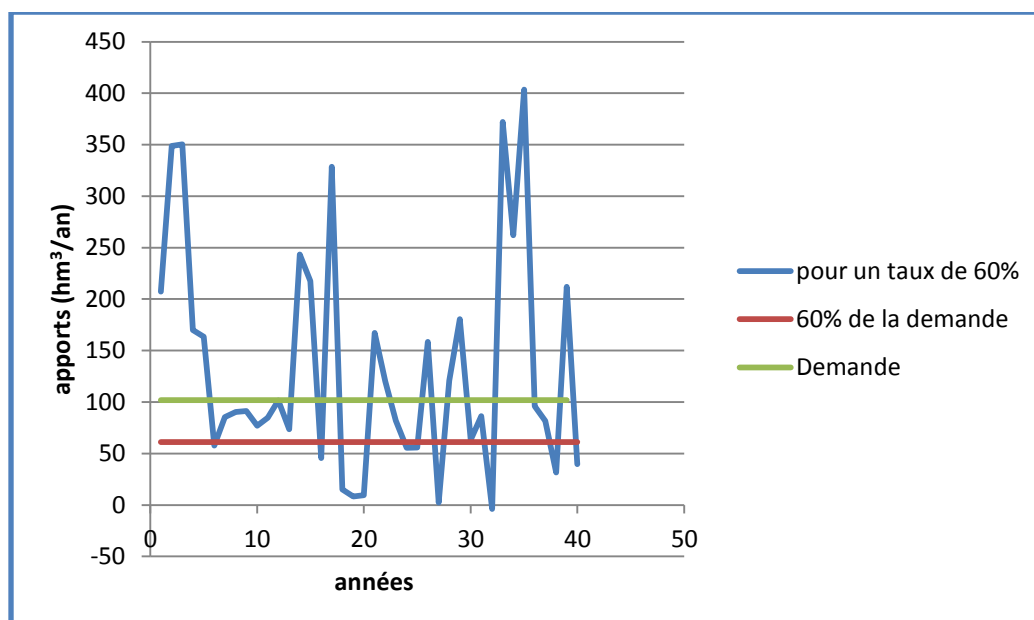


Figure n° III.1 : Comparaison entre les apports, la demande et 60% de la demande

Pour un taux = 65% = $66.3 \text{ hm}^3/\text{an}$:

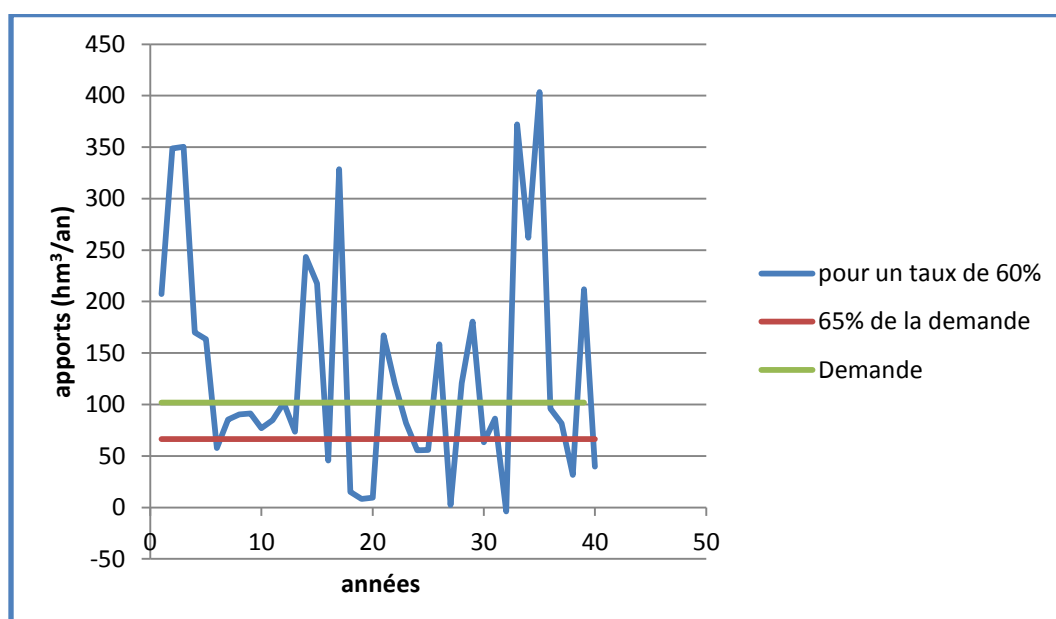


Figure n° III.2 : Comparaison entre les apports, la demande et 65% de la demande

Pour 70% de la demande = $66.4 \text{ hm}^3/\text{an}$:

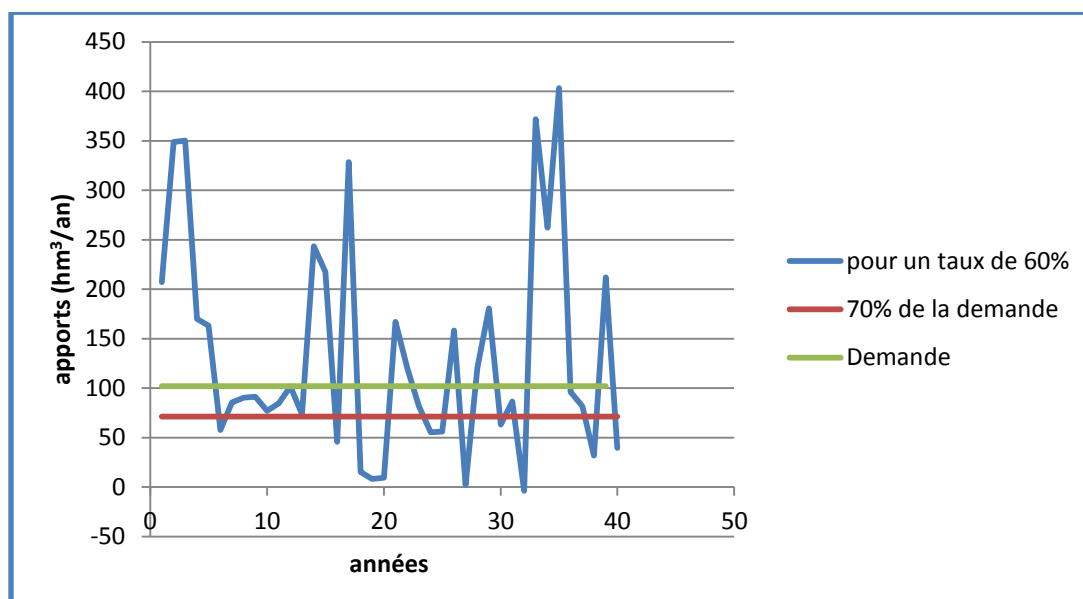


Figure n° III.3 : Comparaison entre les apports, la demande et 70% de la demande

On se retrouve donc pour l'historique des apports avec :

23 ans d'apports < demande = 57.5% ;

Donc 17 ans d'apports > demande = 42.5%, qu'on appellera années humides ;

Et pour les trois taux : 11 ans d'apports < (taux de satisfaction fixé * demande) = 27.5%, dont on dira que ce sont des années sèches.

Pour les années dont l'apport utile est compris entre la demande et le la satisfaction minimale, on les appellera années moyennement sèches.

Nous constatons aussi, que le nombre d'années sèches consécutives, ce qui pose le plus grand problème, est de trois années. Donc pour pallier à ce problème, on commencera à œuvrer contre une telle prévision de situation, deux ans auparavant, dans la mesure du possible, en réservant un volume à utiliser pendant ces années dites sèches. Ceci est faisable par rapport à l'historique des apports.

D'où les cinq (5) années de régulation dont on parlait dans le niveau interannuel du modèle : les trois (3) années sèches + les deux (2) années les précédant.

Organigramme :

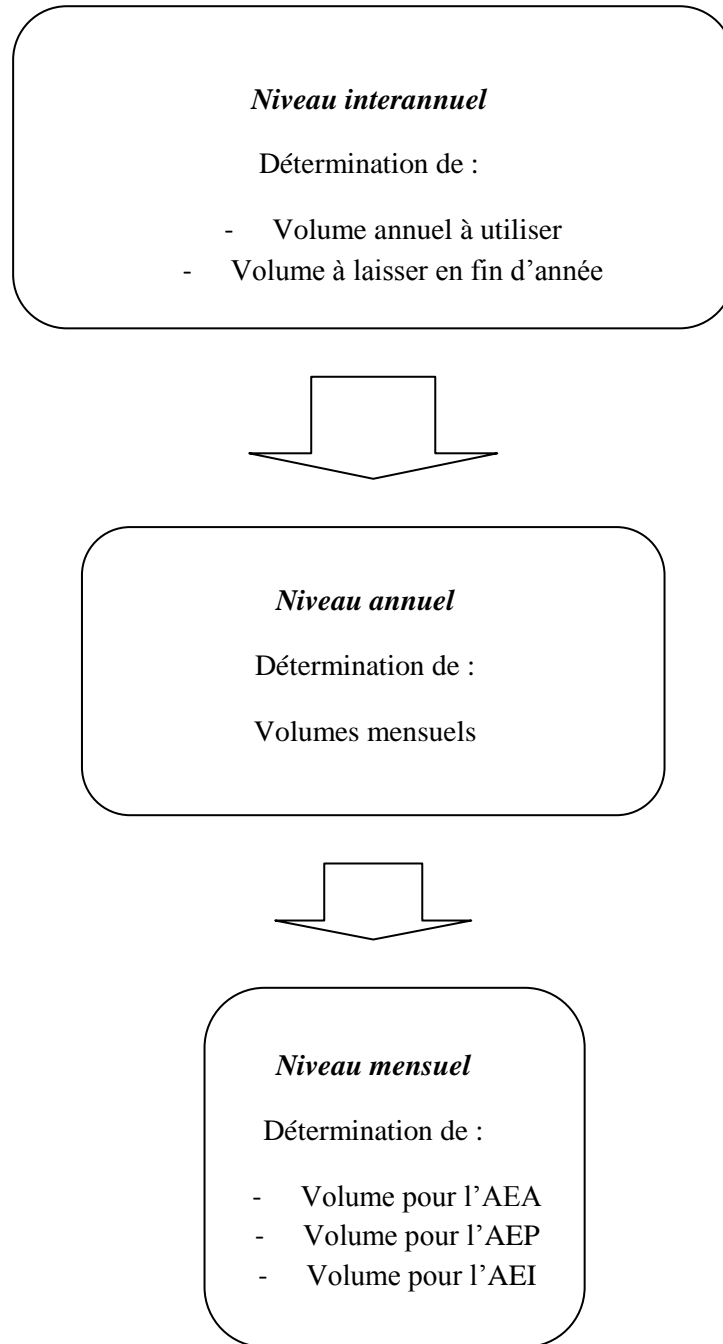


Figure n° III.4 : Structure du modèle

Le modèle calcule aussi le taux de satisfaction global et celui propre à chaque secteur. Le taux de satisfaction de la demande servira de base pour la comparaison entre les résultats de gestion obtenus par le modèle et ceux obtenus réellement dans le passé.

Pour ce qui est du taux de satisfaction propre à chaque secteur, il est calculé suivant un ordre de priorité fixé par nos soins comme suit :

5- 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
- AEA
- Production d'énergie hydroélectrique
- Ecologie/environnement
- AEI
- Navigation
- Plaisance.

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

- AEP
- AEA
- AEI

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

6- Données prises en compte

6.1- Demande en eau potable

Comme fixée dans le chapitre précédent, et après confirmation en examinant la gestion passée du barrage, cette demande à satisfaire sera de 40 hm³/an.

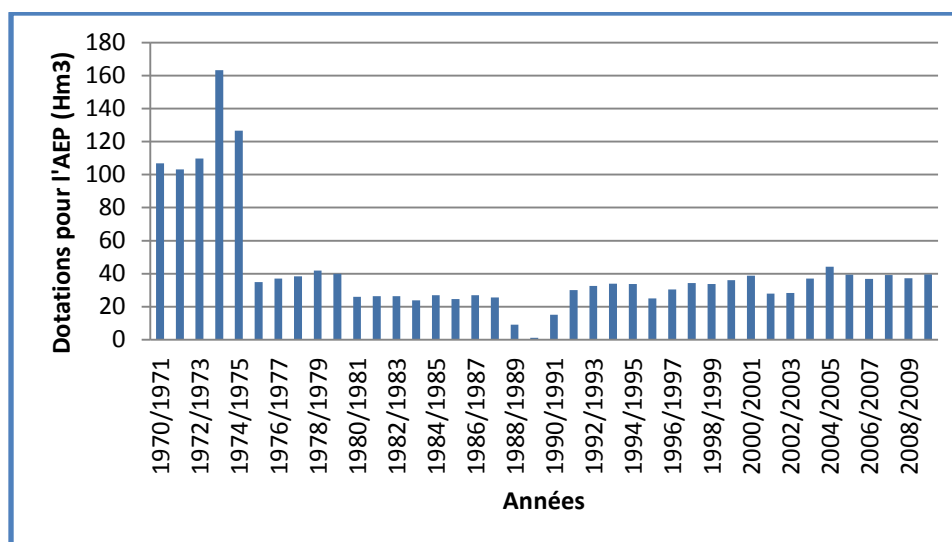


Figure n°III.5 : Allocation annuelle historique pour l'AEP

On voit bien que l'allocation moyenne en eau potable à partir de septembre 1975 est de 40hm^3 . Avant cette année là, le barrage ne remplissait pas toutes ses fonctions. Il n'a commencé à desservir l'irrigation, par exemple, qu'en 1977. Ceci explique, en plus du fait des apports importants, les allocations atteintes, pour ce secteur seul, très importantes dépassant les 100hm^3 .

6.2- Demande en eau d'irrigation

La demande en eau agricole a été estimée précédemment à $82\text{hm}^3/\text{an}$. Mais au vu de l'allocation maximale atteinte par la gestion actuelle du barrage qui est de $50\text{hm}^3/\text{an}$, nous avons décidé de prendre la demande en eau agricole égale à $50\text{hm}^3/\text{an}$.

Nous expliquons ce choix, par le fait que la totalité du périmètre irrigable n'a pas pu être totalement arrosée, même après des apports en eau très importants, à cause d'autres facteurs que la décision du gestionnaire. Ceci est certainement dû à un manque d'aménagement du périmètre.

Aussi, ce choix nous permettra de comparer entre ce qui a été fait par le passé, que ce soit durant la gestion réelle du barrage ou du projet de fin d'études (AIT MESBAH, 2011), où cette demande a aussi été fixée à 50hm^3 , et les résultats de notre modèle.

Les résultats de la gestion actuelle du barrage sont présentés ci-dessous :

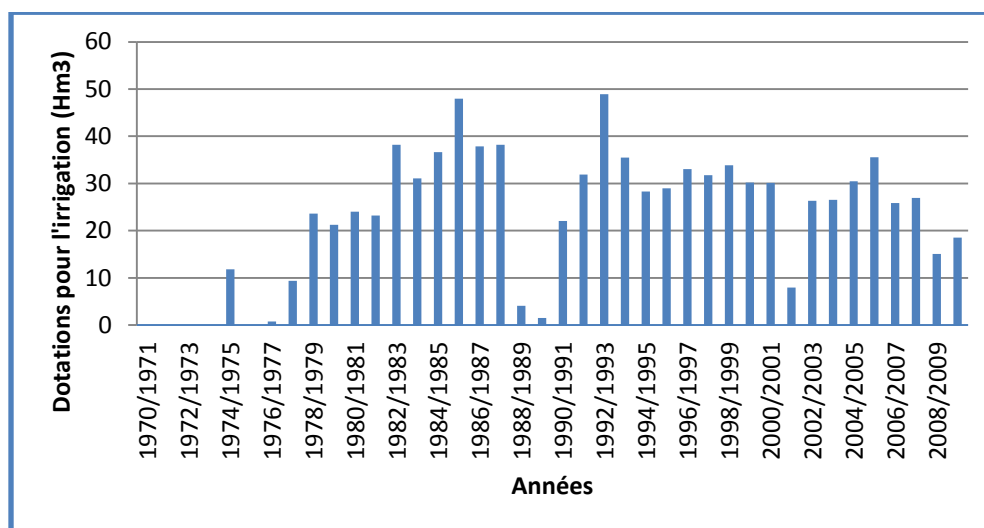


Figure n° III.6 : Allocation annuelle historique pour l'irrigation

6.3- Demande en eau industrielle

Pour appliquer notre modèle, nous avons considéré la demande en eau industrielle égale à 12 hm³/an. Toujours, pour pouvoir comparer entre les différentes méthodes appliquées à ce jour dans le domaine de la gestion du barrage de la CHEFFIA.

Et la gestion historique a donné comme résultats :

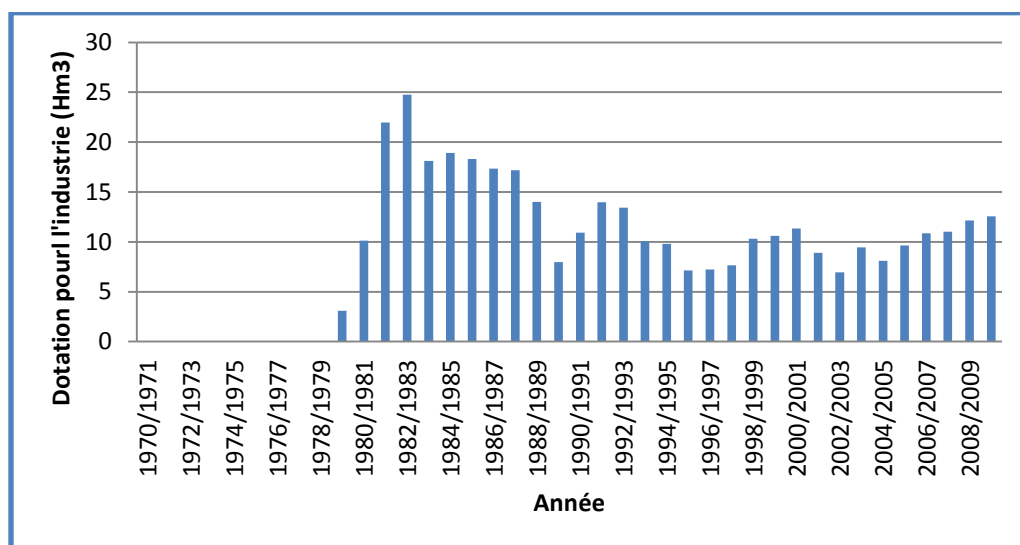


Figure n° III.7 : Allocation annuelle historique pour l'industrie

6.4. L'évaporation du plan d'eau

L'évaporation est une demande sur laquelle nous n'avons aucun contrôle. On veut dire par là, que contrairement aux secteurs de consommation (AEP, AEI, AEA), ce n'est pas une allocation, et donc si on ne la satisfait pas, cela ne se traduira pas par un taux de satisfaction.

Ce qui fait de l'évaporation une contrainte physique.

Aussi, nous comprenons par là, que sa détermination doit être la plus rigoureuse possible. Ceci nous a amené à, non pas simuler l'évaporation dans le futur, mais la prendre constante tout le long de l'historique et du scénario futur.

Le calcul de l'évaporation s'est fait comme suit :

Volume évaporé = lame d'eau évaporée * surface du plan d'eau.

Bien que l'évaporation ait été prise constante, elle n'a pas été considérée égale à sa moyenne. Elle est considérée, par le modèle, égale à la moyenne majorée, autrement dit :

- Lame évaporée considérée = lame d'eau moyenne évaporée + écart type.
- La surface du plan d'eau = surface correspondant à : apport moyen mensuel (i) – demande mensuelle (i) – évaporation (i-1).

C'est la courbe de remplissage simplifiée du barrage.

Dans notre programme, nous avons intégré l'évaporation calculée auparavant, elle est représentée dans le tableau n° II.7, que nous reprenons ci-dessous.

Tableau n° II.7 : Evaporation mensuelle majorée

	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	Aout
ETP												
moyenne	142.0	106.2	68.7	54.0	53.0	57.8	85.2	104.7	137.6	164.0	198.0	186.3
écart												
type	11.3	11.9	9.4	7.5	7.7	6.2	12.2	9.9	14.2	12.7	12.2	13.2
ETP												
majorée	153.3	118.1	78.2	61.5	60.7	64.0	97.4	114.6	151.9	176.8	210.2	199.4

6.5. 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'a été apportée.
- Protection du barrage, car des fissurations pourraient conduire à sa rupture.

Comme les fuites sont proportionnelles à la pression de l'eau, donc quand le barrage est assez rempli, le volume des fuites serait négligeable devant le volume stocké, sauf en cas exceptionnel.

Demande totale :

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

$$\mathbf{AEP + AEI + AEA + ETP = 40 + 12 + 50 + 9.7 = 111.7 \text{ hm}^3/\text{an.}}$$

7- Comparaison entre les demandes de consommation

$$\text{Demande totale} = \text{AEA} + \text{AEI} + \text{AEP} = 50 + 12 + 40 = 102 \text{ hm}^3 / \text{an.}$$

$$\% \text{ AEA} = 50 / 102 = 49.0 \%$$

$$\% \text{ AEP} = 40 / 102 = 39.2 \%$$

$$\% \text{ AEI} = 12 / 102 = 11.8 \%$$

L'AEI ne représentant que 11.8 % de la demande totale, sa non-satisfaction ne pourra pas influencer significativement le taux de satisfaction global. Par contre, ce dernier sera grandement influencé par l'AEA. L'AEP jouera un rôle que nous caractérisons de moyen par rapport aux autres secteurs.

En conclusion, le secteur de l'AEI ne demandant pas beaucoup d'eau par rapport à la demande totale, il serait judicieux de le considérer comme prioritaire par

rapport aux autres secteurs, du moins celui de l'agriculture, car nous estimons que l'AEP doit demeurer un secteur prioritaire.

Redéfinissons maintenant les priorités entre les différents secteurs :

- AEP
- AEI
- AEA

8- Fonctionnement du programme

8.1- Saisie des données

Quand on exécute le programme, voici ce qui est demandé :

- « *entrer la capacité du barrage en hm³* »
- « *quel est le taux d'envasement de votre barrage en hm³/an ?* »
- « *quelle est la durée de vie de votre barrage ?* »
- Pour ce qui est de l'AEP : Avec possibilité de modification du programme :
 - « *quels sont les besoins en eau potable ?* »
 - *Lecture à partir d'un fichier excel placé dans l'espace de travail de MATLAB.*
 - *Calcul des besoins en eau potable après avoir calculé le nombre d'habitants à l'horizon souhaité et avec la dotation souhaitée.*
- « *quel est le niveau d'eau dans le barrage au début de l'année hydrologique (i.e. septembre)* »
- « *exprimer, en nombre décimal, le seuil de sécheresse préconisé par rapport à la demande annuelle totale, nous conseillons 0.6* »

Remarque : le seuil de sécheresse conseillé est 60% de la demande totale, pour deux (2) raisons :

- ✓ Après étude des données, pour 60% de la demande en tant que seuil, 20% des années sont très déficitaires, 32.5% entre 60% et 100% de la demande et 47.5% d'années humides, ce qui représente assez bien le phénomène car nous avons à peu près 50% des années < demande globale et 50% des années > à la demande totale.

✓ Par rapport au secteur de l'irrigation : nous avons remarqué que l'allocation maximale jamais atteinte est près de 50hm³, donc on va se fixer ce seuil : $50 / 82 = 60 \%$.

- Pour ce qui est des données concernant l'irrigation mensuelle, l'évaporation mensuelle, les apports annuels et mensuels simulés de tout le scénario de gestion, doivent être inscrites chacune dans un fichier excel qui sera lu par le programme.
- Le fichier contenant les apports annuels et mensuels futurs doit être de la forme :

<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juil</i>	<i>Aou</i>	<i>annuel:Σ</i>

- Les lignes représentent les années.

Remarque :

Les fichiers devront porter des noms bien spécifiques.

Les données contenues à l'intérieur seront en vérité, les pourcentages de contribution de chaque mois au phénomène (ETP, Irrigation ...).

8.2- Affichage des résultats

Le programme affiche les résultats suivants :

Niveau interannuel :

- *Les évacuations pouvant avoir lieu grâce à la connaissance des apports mensuels prévisionnels. Au gestionnaire de choisir le mode d'évacuation : déversoir ou vanne, selon la revanche pouvant être assurée.*

- *Si sécheresse il y a, le programme vous dira quelles années seront déficitaires et pour lesquelles un volume de sécurité devra être réservé. Ce dernier sera également affiché.*
- *Volume annuel à allouer aux différents secteurs confondus.*

Niveau annuel :

- *Volume mensuel à allouer aux différents mois aux différents secteurs confondus.*

Niveau mensuel :

- *Evolution des niveaux d'eau mensuels dans la réserve.*
- *Volume d'eau à allouer à chaque secteur à chaque mois.*
- *Taux de satisfaction de chaque secteur de chaque mois sous forme de matrice*
Les lignes représentent les mois de l'année hydrologique,
3 colonnes : La première : AEP,
La deuxième : AEI,
La troisième : AEA.

Remarques :

- ✓ Les taux de satisfaction seront calculés selon 3 règles découlant de la règle de priorité définie précédemment.
 - a. Premier cas : Absence de priorité
 - $\text{Volume AEA} = \text{volume de la demande AEA} * \text{taux de satisfaction}$
 - $\text{Volume AEP} = \text{volume de la demande AEP} * \text{taux de satisfaction}$
 - $\text{Volume AEI} = \text{volume de la demande AEI} * \text{taux de satisfaction}$
 - b. Deuxième cas :
 - AEA desservie à au moins « taux de satisfaction fixé ».
 - AEI commencera à décliner à partir du moment où taux de satisfaction réel calculé de AEA égal : « taux de satisfaction minimum », jusqu'à l'atteindre elle-même.

- AEP ne commencera à décliner que lorsque l'AEI ne sera desservie qu'au « taux minimum » prévu par le gestionnaire.
 - Et en cas d'année extrêmement déficitaire, après que l'AEP eut atteint le « taux de satisfaction minimum », on retranchera le nécessaire du volume consacré à l'AEA déjà égal à « taux de satisfaction minimum * demande en eau agricole ».
- c. Troisième cas :
- AEP toujours assurée à 100%.
 - AEI assurée à au moins « le pourcentage fixé par le gestionnaire entré au préalable ».
 - AEA sera desservie par le reste de l'allocation totale réservée à l'année.
- d. Quatrième cas :
- AEP toujours assurée à 100%.
 - l'AEA prioritaire par rapport à l'AEI
 - Le même raisonnement que pour le cas b. mais on intervertira entre l'AEA et l'AEI.
- ✓ Les noms des fichiers à utiliser sont donnés par l'utilisateur mais dans ce cas, ils doivent être entrés et indiqués au programme afin qu'il les reconnaisse et doivent être placés dans l'espace de travail de MATLAB.
- ✓ Le programme ne travaille qu'avec des Hm^3 , c'est-à-dire que quand vous entrez une valeur, par exemple apports ou capacité du barrage, il la considèrera comme étant des : hm^3 automatiquement. Ceci est aussi valable pour les valeurs inscrites dans les fichiers de lecture.

Organigramme de calcul : Etapes de calcul du modèle

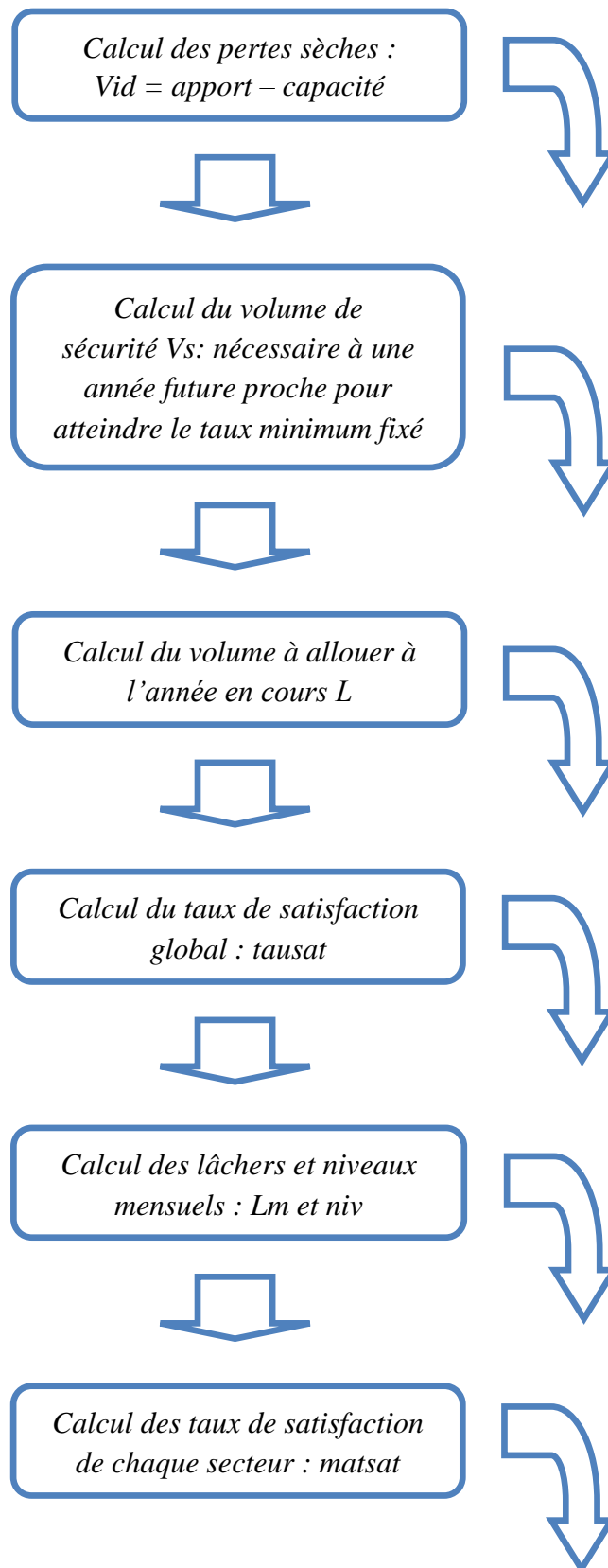


Figure n°III.8 : Etapes de calcul du programme

8.3- Calculs intermédiaires

8.3.1- Estimation de la perte sèche Vid

Cette perte sèche désigne les évacuations soit par ouverture des vannes, 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%).

$$\text{Donc : Vid} = (\text{Apport} - \text{Demande} - \text{évaporation}) - \text{capacité} \dots \dots \dots (\text{III.1})$$

8.3.2- Estimation du volume de sécurité Vs

Ce volume est celui qui permettra, 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 quant l'apport annuel utile (apport – évaporation) ne peut atteindre le seuil minimum que l'on s'est fixé.

Les années dont l'apport utile est compris entre le seuil minimum et la demande totale, sont dites moyennement sèches. A vrai dire elles sont normales pour notre modèle de gestion mais hydrologiquement parlant, elles restent en dessous de l'apport moyen annuel.

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 vraiment petits, est le plus grand problème de la gestion.

Le caractère irrégulier du climat fait que l'on peut avoir une ou deux années vraiment humides, suivies d'une sécheresse sévère.

Ce que nous devons faire dans ce cas, c'est de ne pas satisfaire la demande à 100% durant les années humides précédant la sécheresse sévère et stocker la différence pour l'utiliser durant les années sèches.

$$V_s = \text{Apport} - (\text{Seuil minimal} - \text{Apport futur}) \dots \dots \dots (\text{III.2})$$

De là, on aura, le volume qui nous reste pour l'année en cours L.

8.3.3- Le volume annuel alloué à l'année en cours L

$$L = \text{Apport} - \text{évaporation} - V_s - \text{Vid} \dots \dots \dots (\text{III.3})$$

8.3.4- Le taux de satisfaction tausat

$$\text{tausat} = L / \text{demande} \dots \dots \dots (\text{III.4})$$

8.3.5- Les volumes mensuels Lm

Pour pouvoir calculer les volumes mensuels, on a pris une année normale comme référence.

On a déterminé notre demande annuelle :

$$\text{demande} = \text{AEP} + \text{AEA} + \text{AEI} \dots \dots \dots (\text{III.5})$$

Mensuellement, cela donne :

$$L_m = \text{AEP} / 12 + \text{AEI} / 12 + \text{AEAm} \dots \dots \dots (\text{III.6})$$

Ensuite, nous avons caractérisé la demande mensuelle par :

$$\text{Demande mensuelle} = L_m / L \dots \dots \dots (\text{III.7})$$

De cette manière nous repérons chaque mois par un nombre adimensionnel, donc quelque soit le volume annuel alloué, on connaîtra les volumes mensuels.

8.3.6- Evolution des niveaux niv

$$\text{Niv (i+1)} = \text{Niv (i)} + \text{apport mensuel} - \text{Lm} - \text{évaporation mensuelle} - \text{Vid mensuelle} \dots\dots\dots(\text{III.8})$$

8.3.7- Calcul de la satisfaction de chaque secteur

Elle se fait selon les méthodes expliquées plus haut. Cette variable est une matrice appelée matsat : matrice des satisfactions mensuelles de chaque secteur.

Chaque méthode induit sa propre matrice de satisfaction, donc, on aura comme résultat affichés :

matsat2, matsat3, matsat4.

Matsat2 correspond à la méthode : b

Matsat3 correspond à la méthode : c

Matsat4 correspond à la méthode : d

Remarques

- Les résultats de la méthode selon laquelle les secteurs sont égaux et donc où il y a absence de priorité, ne sont pas affichés car simples et déductibles facilement.

Les figures affichées, sont issues de calculs faits suivant la méthode b car c'est celle qui semble être la plus rationnelle et logique.

Chapitre IV :

Application du modèle de gestion

Chapitre IV : APPLICATION DU MODELE DE GESTION

1. Introduction

Après avoir mis au point le programme sous MATLAB, nous l'avons testé sur l'historique pour en comparer les résultats avec ceux de la gestion réelle.

On dira que le modèle est valide s'il donne des résultats meilleurs que ceux obtenus par la gestion réelle d'un point de vue taux de satisfaction global et sectoriels.

Nous présenterons dans ce chapitre les résultats obtenus par les différentes méthodes de calcul définies dans le chapitre précédent lors de la présentation du modèle.

2. Gestion de l'historique

Après la mise en eau du barrage, le niveau d'eau dans le barrage est au niveau normal de retenue.

Donc, pour la première année de gestion de l'historique, le niveau en début d'année correspond au niveau normal de retenue NNR égal à 134 hm^3 en retranchant le volume mort.

2.1. Taux de satisfaction minimum

C'est le taux minimum en deçà duquel nous espérons ne jamais aller pour une année sèche.

C'est une entrée du programme, elle est fixée par le gestionnaire et utilisateur du programme, en fonction des contraintes institutionnelles.

Dans notre application, nous allons faire varier ce taux de 50 à 80%, et voir ce que cela donne comme résultat.

2.2. Taux de satisfaction global minimum fixé à 50% :

On espère ne jamais, ou le moins possible, aller en deçà de ce taux de satisfaction.

Voici les résultats :

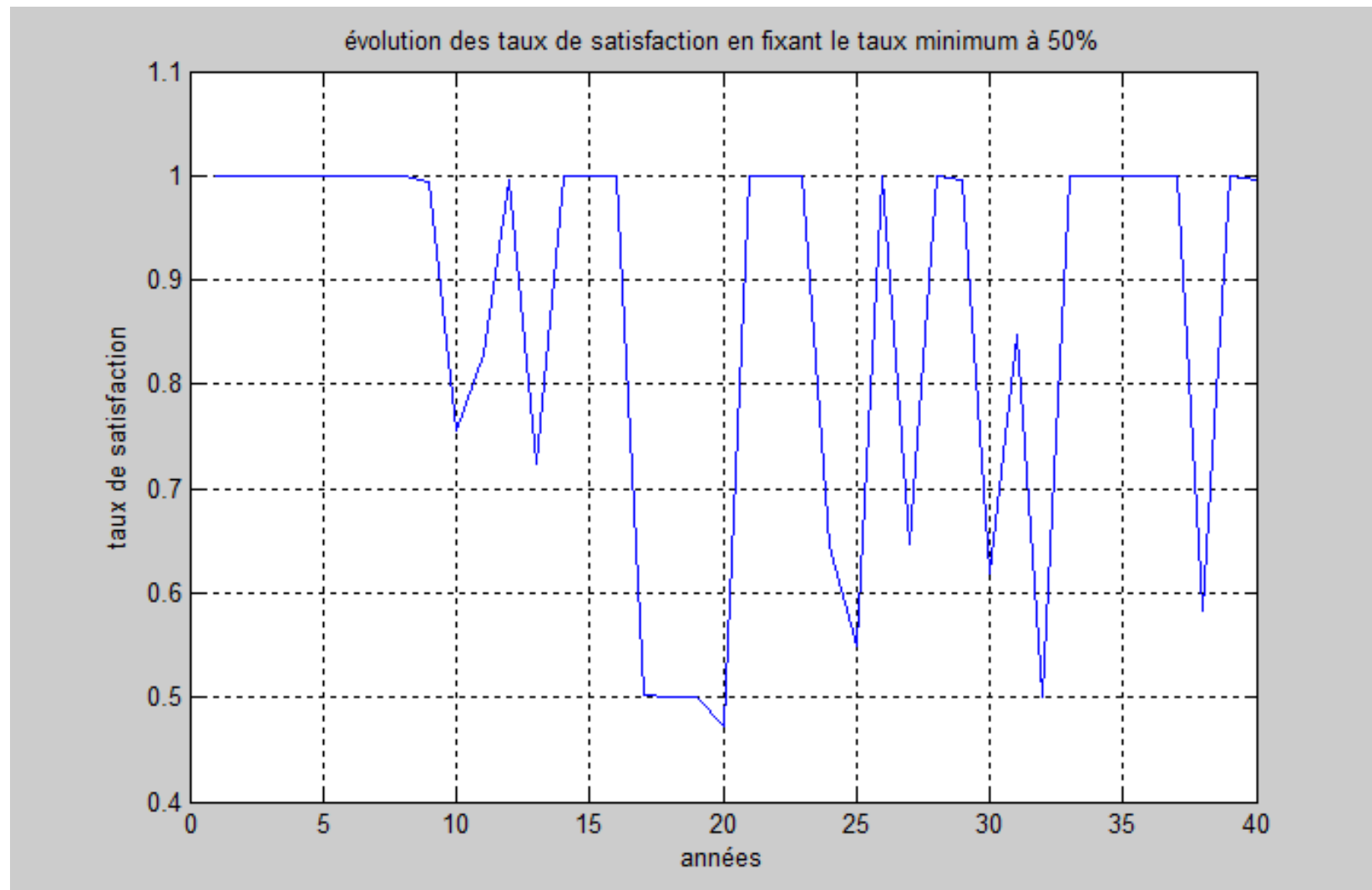


Figure n° IV.1 : Gestion de l'historique pour les trois secteurs confondus avec taux minimum = 50%

Interprétation

Le modèle répond à notre attente de ne pas desservir en dessous de 50% de la demande, sauf pour une seule année extrêmement sèche de 1989/1990 où l'apport n'était que de 19.27 hm³, et venant après deux années toutes deux aussi sèches dont les apports annuels sont de : 24.95 hm³ pour l'année 1987/1988 et de 17.88 hm³ pour l'année 1988/1989. Donc nous voyons bien que nous avons affaire à une sécheresse prolongée.

Malgré cela, le taux de satisfaction est quand même de 50% pour les années : 1987/1988 et 1988/1989 et pour 1989/1990, il est de 47.16%.

Remarque

Pour l'année 1989/1990 : ce taux de 47.16 reste le meilleur, et il ne serait pas intéressant de baisser le taux minimum à 45%, par exemple, car ca entrainerait, automatiquement, un taux de 40% pour cette année 1989/1990. On verra ceci par la suite.

Si on n'avait compté que sur les apports propres à ces années là, on se serait retrouvé avec des taux de satisfaction égaux à, en respectant l'ordre chronologique :

- $24.95 / 102 = 24.46 \%$.
- $17.88 / 102 = 17.53\%$.
- $19.27 / 102 = 18.89\%$.

Mais les résultats de la simulation montrent que nous nous exposons à de fortes évacuations d'eau car la capacité du barrage se trouve dépassée en stockant tant d'eau lors d'années humides précédant les périodes sèches. Le volume déversé sur ces quarante (40) ans est de l'ordre de : 1988 hm³.

La moyenne des taux de satisfaction au cours des 40 années de l'historique est de : 86.64%.

Le nombre d'années ayant été satisfaites à 100% est de : $26 / 40 = 65\%$.

On passe maintenant à un taux minimal de 55%.

2.3. Taux de satisfaction minimum fixé à 55% :

Comme précédemment, nous présenterons la figure des taux de satisfaction générée par MATLAB, et nous les interpréterons pour en tirer des conclusions par la suite.

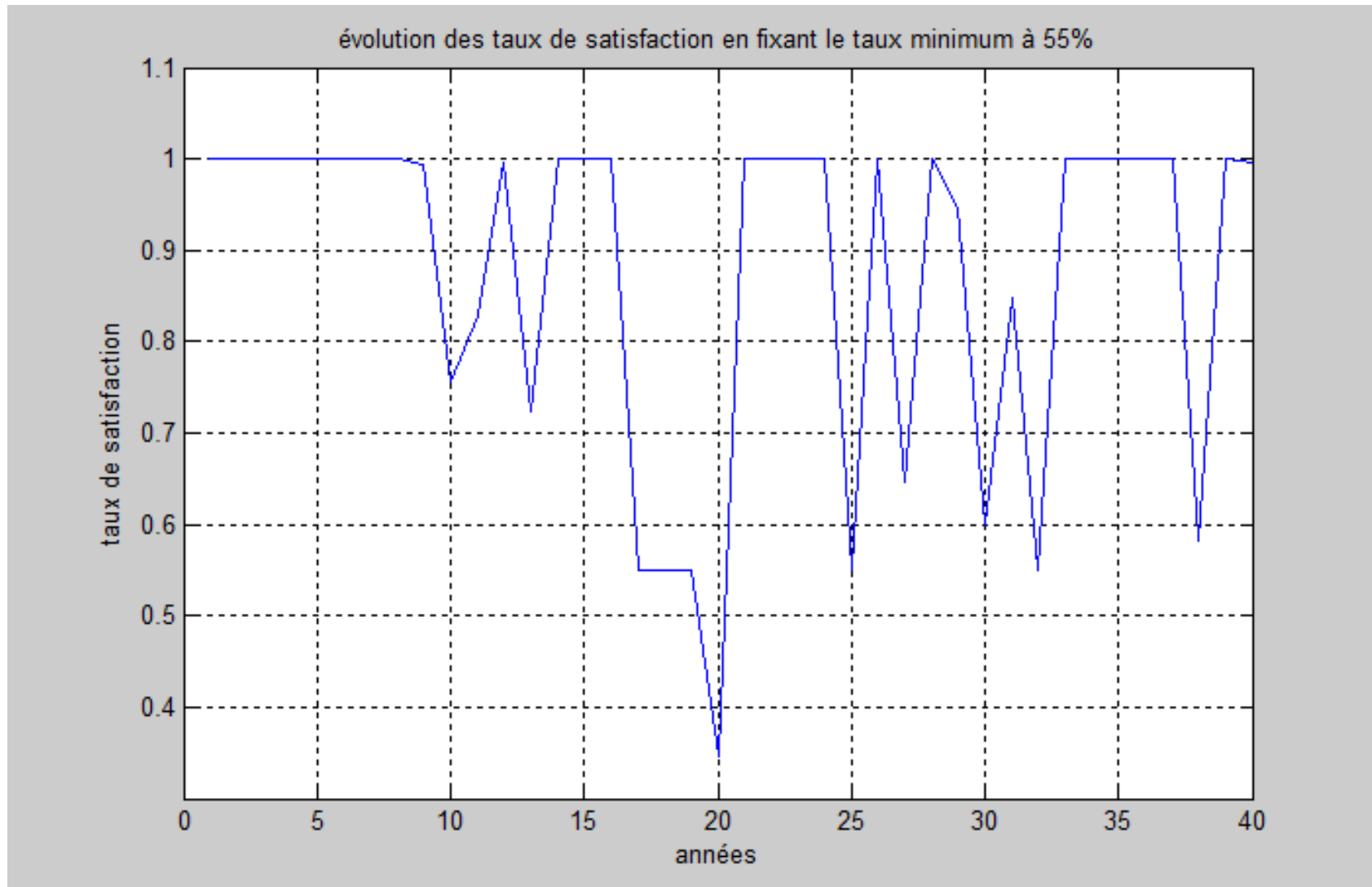


Figure n° IV.2 : Gestion de l'historique pour les trois secteurs confondus avec taux minimum = 55%

Interprétation

Comme précédemment, on n'est pas descendu en dessous de 55% de satisfaction annuelle, sauf pour l'année 1989/1990, où on a satisfait à 34.53%.

En organisant les taux de satisfaction par classes auxquelles nous attribuerons des appréciations, sachant que :

- Classe I : $80\% \leq \text{taux de satisfaction} \leq 100\%$
- Classe II : $60\% \leq \text{taux de satisfaction} < 80\%$
- Classe III : $40\% \leq \text{taux de satisfaction} < 60\%$
- Classe VI : $\text{taux de satisfaction} < 40\%$

On aura comme résultat :

- Classe I : $29 / 40 = 72.5\%$,
- Classe II : $3 / 40 = 7.5\%$,
- Classe III : $7 / 40 = 17.5\%$,
- Classe IV : $1 / 40 = 2.5\%$.

Pour ce qui du nombre d'années où la demande à été desservi à 100%, il est de : 23 années sur 40, ce qui est plus que la moitié, cela nous fait exactement : $23 / 40 = 57.5\%$.

La moyenne des taux de satisfaction est de 87.53%.

Le nombre d'années à avoir été satisfaites à 100% est de : $27 / 40 = 67.5\%$.

2.4. Taux de satisfaction minimum fixé à 60%

Comme précédemment, nous présenterons la figure des taux de satisfaction générée par MATLAB, et nous les interpréterons pour en tirer des conclusions par la suite.

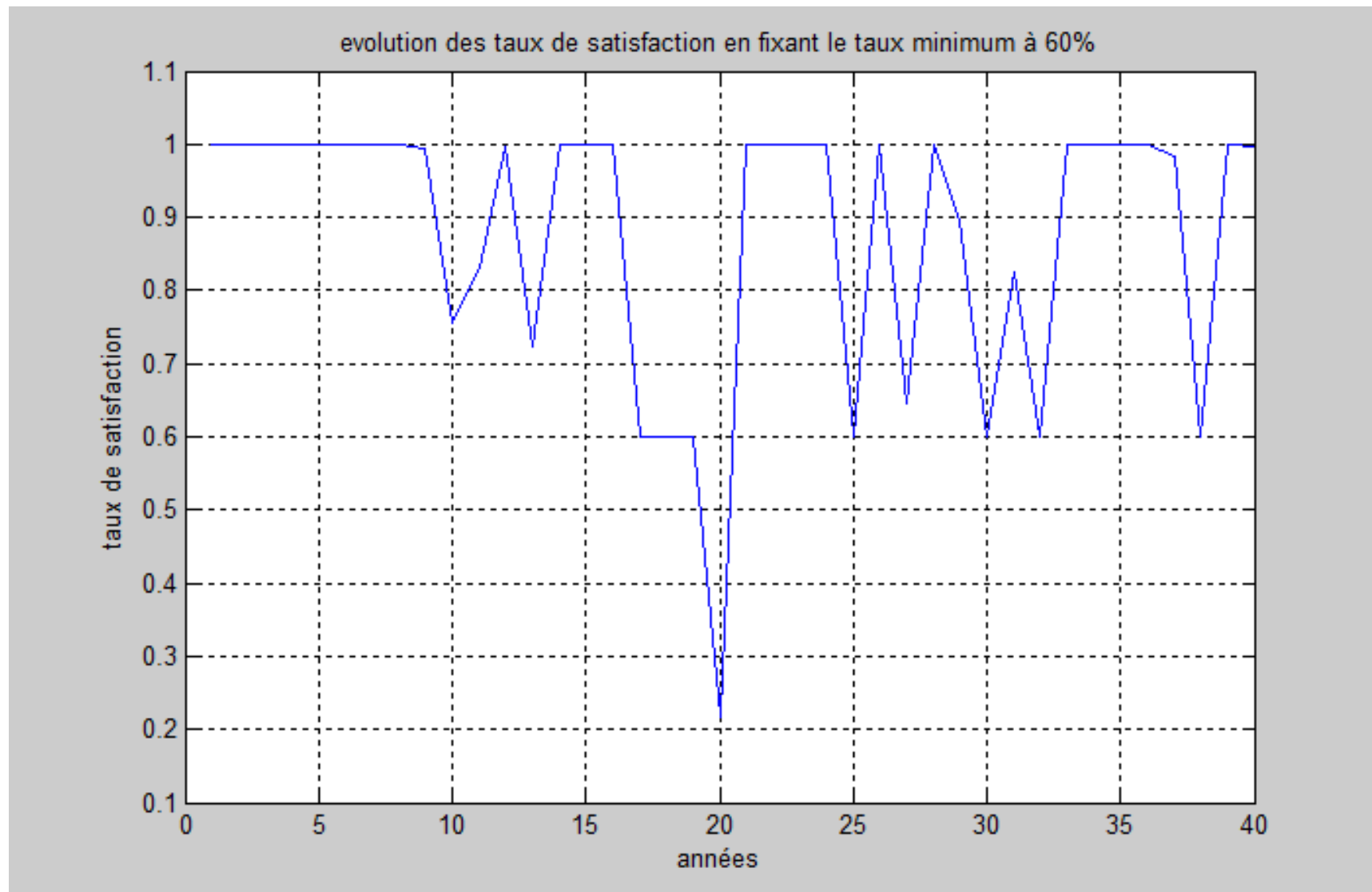


Figure n° IV.3 : gestion de l'historique pour les trois secteurs confondus avec taux minimum = 60%

Interprétation

Là encore, on n'est pas descendu en dessous de 60% de satisfaction annuelle, sauf pour l'année 1989/1990, où on a satisfait à 21.79%.

Après répartition des taux dans les différentes classes, on obtient :

- Classe I : $29 / 40 = 72.5\%$,
- Classe II : $10 / 40 = 25\%$,
- Classe III : 0%,
- Classe IV : $1 / 40 = 2.5\%$.

On observe quant même une amélioration, entre les classes II et III, les années qui avaient été satisfaites avec un taux compris entre 40 et 60% se sont améliorées pour passer à un taux supérieur à 60%.

Par contre le taux de satisfaction de l'année 1989/1990 s'est détérioré encore plus et est passé de 34.53 à 21.79% mais il reste dans la classe IV.

La moyenne des taux de satisfaction sur 40 ans s'est avérée être de : 87.66%.

Le nombre d'années ayant été satisfaites à 100% de la demande est de : $26 / 40 = 65\%$.

2.5. Taux de satisfaction minimum fixé à 65%

Comme précédemment, nous présenterons la figure des taux de satisfaction générée par MATLAB, et nous les interpréterons pour en tirer des conclusions par la suite.

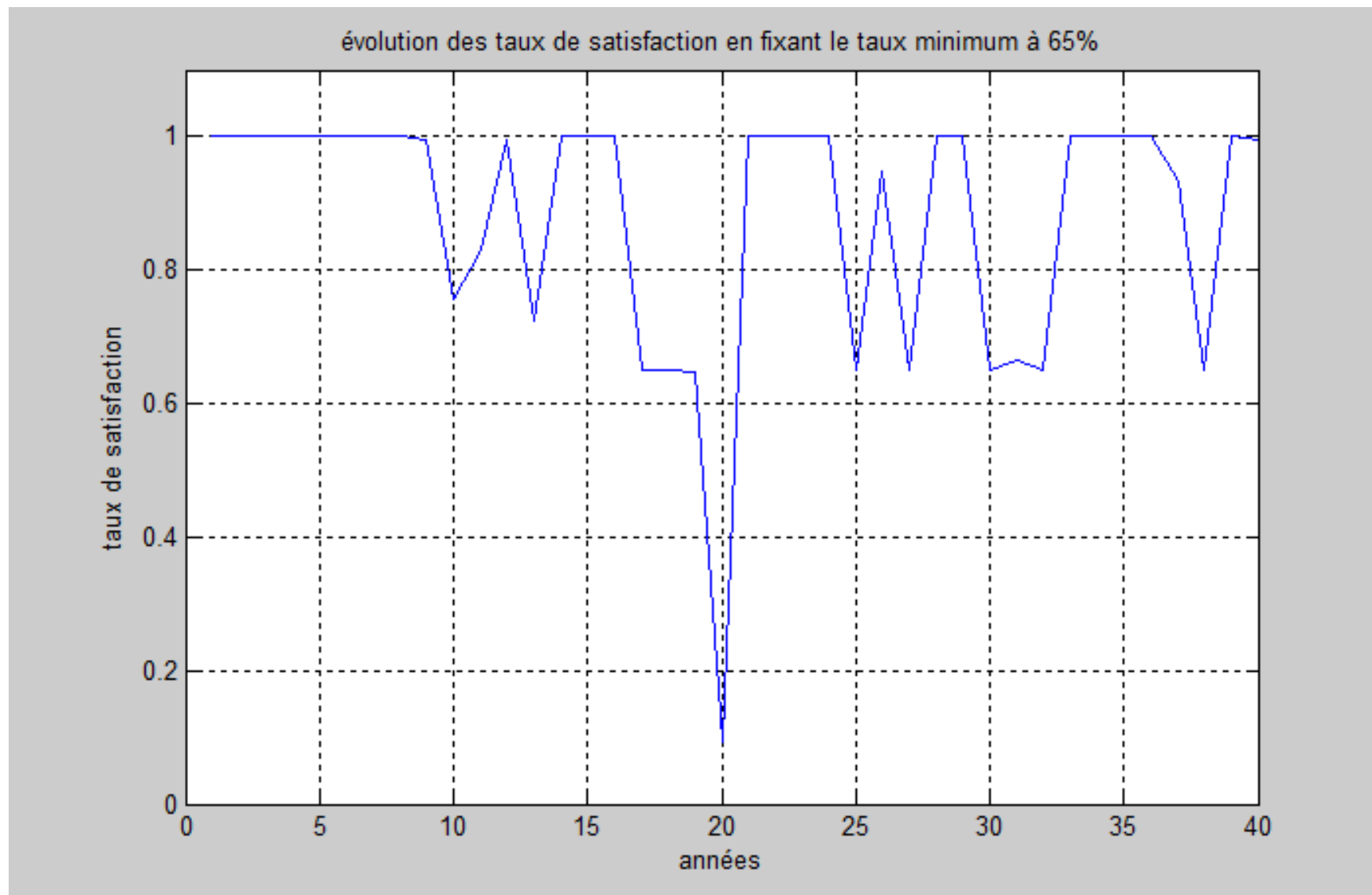


Figure n° IV.4 : gestion de l'historique pour les trois secteurs confondus avec taux minimum = 65%

Interprétation

Dans ce cas, on n'est pas descendu en dessous de 65% de satisfaction annuelle, sauf pour les deux années 1988/1989 et 1989/1990, où on a satisfait la première à 64.67% et la deuxième à 9.38%.

Après répartition des taux dans les différentes classes, on obtient :

- Classe I : $28 / 40 = 70\%$,
- Classe II : $11 / 40 = 27.5\%$,
- Classe III : 0% ,
- Classe IV : $1 / 40 = 2.5\%$. il s'agit toujours de l'année 1989/1990.

On observe une nouvelle répartition, entre les classes I et II, une année a été déclassée. Aussi, le taux de satisfaction de l'année 1989/1990 s'est détérioré encore plus et est passé de 21.79% à 9.38% mais il reste dans la classe IV.

La moyenne des taux de satisfaction sur 40 ans s'est avérée être de : 83.17%.

Le nombre d'années ayant été satisfaites à 100% est de : $25 / 40 = 62.5\%$, plus deux autres années dont les taux de satisfaction sont de : 93.22% et 94.68%, ce qui est proche des 100%, ce qui nous donnerait : $(25 + 2) / 40 = 67.5\%$.

2.6. Taux de satisfaction minimal fixé à 70%

Comme précédemment, nous présenterons la figure des taux de satisfaction générée par MATLAB, et nous les interpréterons pour en tirer des conclusions par la suite.

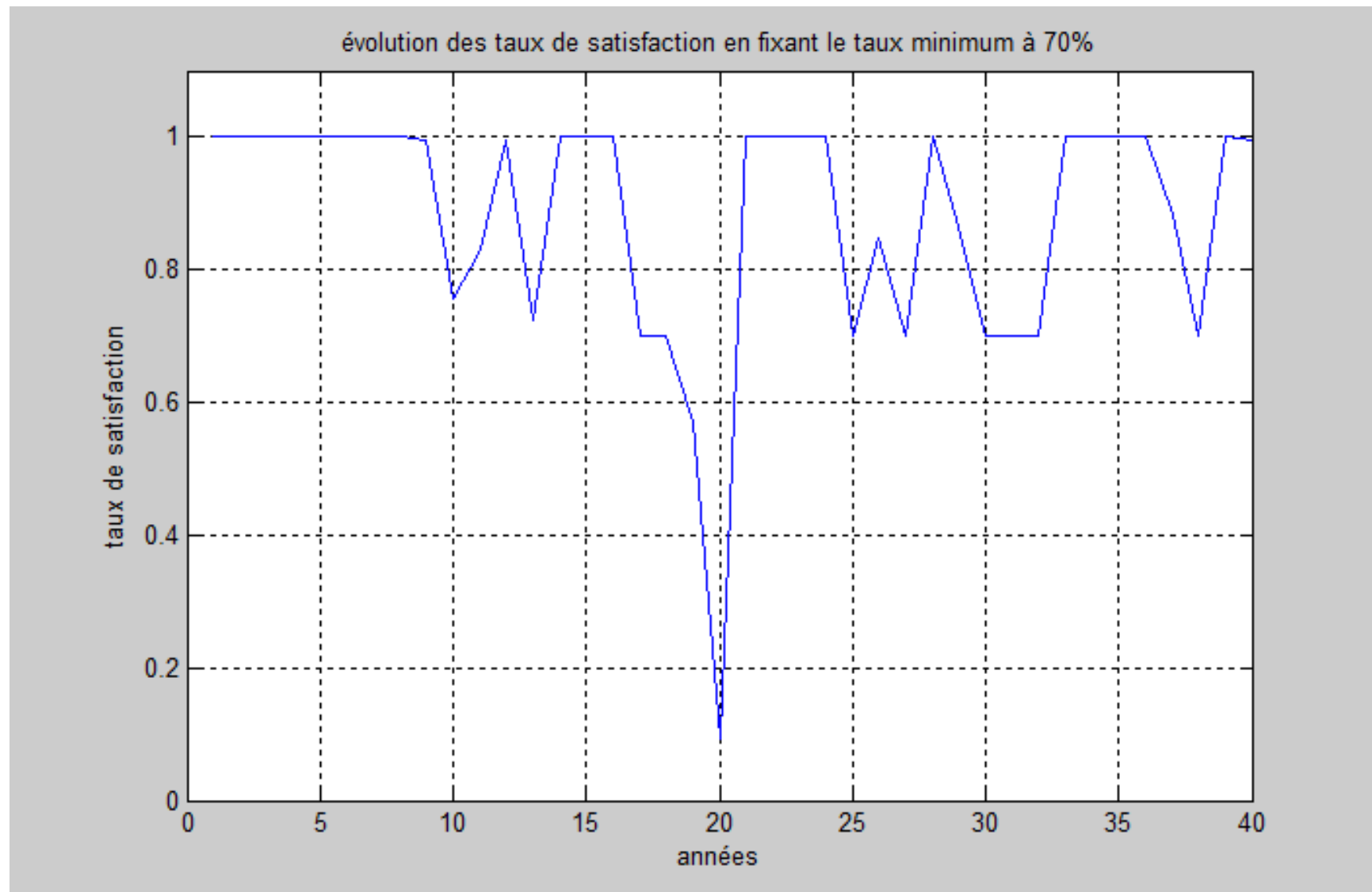


Figure n° IV.5 : gestion de l'historique pour les trois secteurs confondus avec taux minimum = 70%

Interprétation

Dans ce cas, on n'est pas descendu en dessous de 70% de satisfaction annuelle, sauf pour les deux années 1988/1989 et 1989/1990, où on a satisfait la première à 56.92% et la deuxième à 9.38%.

Après répartition des taux dans les différentes classes, on obtient :

- Classe I : $28 / 40 = 70\%$,
- Classe II : $10 / 40 = 25\%$,
- Classe III : $1 / 40 = 2.5\%$, il s'agit de l'année 1988/1989.
- Classe IV : $1 / 40 = 2.5\%$. il s'agit toujours de l'année 1989/1990.

On observe une nouvelle répartition, entre les classes II et III, une année a été déclassée. Il s'agit de l'année 1988/1989 dont le taux de satisfaction est passé de 64.67% à 56.92%. Aussi, le taux de satisfaction de l'année 1989/1990 est resté de 9.38 et il reste dans la classe IV.

La moyenne des taux de satisfaction sur 40 ans s'est avérée être de : 87.88%.

Le nombre d'années ayant été satisfaites à 100% de la demande est de : $24 / 40 = 60\%$.

Passons maintenant à un taux minimum de 75%.

2.7. Taux de satisfaction minimum de 75%

Comme précédemment, nous présenterons la figure des taux de satisfaction générée par MATLAB, et nous les interpréterons pour en tirer des conclusions par la suite.

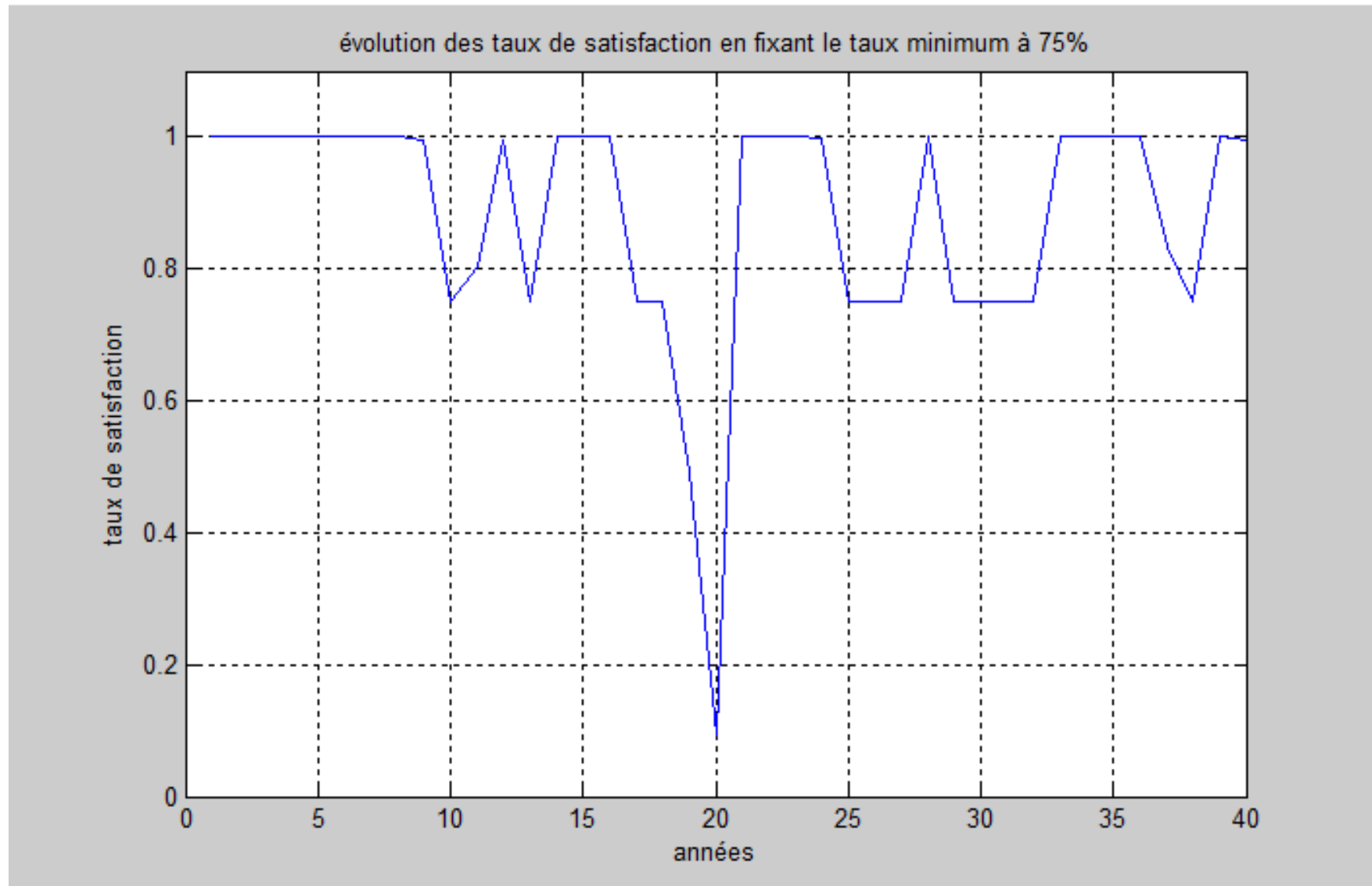


Figure n° IV.6 : gestion de l'historique pour les trois secteurs confondus avec taux minimum = 75%

Interprétation des résultats

Dans ce cas également, on n'est pas descendu en dessous de 75% de satisfaction annuelle, sauf pour les deux années 1988/1989 et 1989/1990, où on a satisfait la première à 49.17% et la deuxième à 9.38%.

Après répartition des taux dans les différentes classes, on obtient :

- Classe I : $26 / 40 = 65\%$,
- Classe II : $12 / 40 = 30\%$,
- Classe III : $1 / 40 = 2.5\%$, il s'agit de l'année 1988/1989.
- Classe IV : $1 / 40 = 2.5\%$. il s'agit toujours de l'année 1989/1990.

On observe une nouvelle répartition, entre les classes I et II, deux années ont été déclassées. Le taux de satisfaction de l'année 1989/1990 est resté de 9.38 et il reste dans la classe IV. Celui de l'année 1988/1989 est encore descendu de 56.92% à 49.17%.

La moyenne des taux de satisfaction sur 40 ans s'est avérée être de : 88.02%.

Le nombre d'années ayant été satisfaites à 100% de la demande est de : $24 / 40 = 60\%$.

Remarque :

Un taux de satisfaction minimum de 80% a été essayé, mais on se retrouve à toucher et à puiser dans le volume mort trop souvent et avec des volumes grandissants.

On le rejette en considérant que le volume mort est une contrainte trop puissante.

3. Résumé des résultats obtenus

3.1. Satisfaction globale

Tableau n° IV.1 : Résumé des résultats pour l'historique

Taux min (%)	Classe I (%)	Classe II (%)	Classe III (%)	Classe IV (%)	Moyenne (%)	n ^{bre} d'années taux 100%
50	70.00	12.50	17.50	0.00	86.64	26.00
55	72.50	7.50	17.50	2.50	87.53	23.00
60	72.50	25.00	0.00	2.50	87.66	26.00
65	70.00	27.50	0.00	2.50	83.17	25.00
70	70.00	25.00	2.50	2.50	87.88	24.00
75	65.00	30.00	2.50	2.50	88.02	24.00

3.2. Résultats des satisfactions sectorielles

Ces taux de satisfaction correspondent aux résultats obtenus par calcul suivant la méthode b.

Tableau n° IV.2 : Taux de satisfaction moyen par secteur

moyenne AEP	90.13	90.35	90.47	90.48	91.06	90.76	91.78
moyenne AEI	85.38	90.13	88.02	88.7	89.27	90.17	91.03
moyenne AEA	83.3	83.94	83.44	83.17	82.22	82.25	80.6

Remarque

Les figures de l'évolution des taux de satisfaction sectoriels sont représentées en annexe.

Conclusion

Les résultats obtenus par le modèle sont assez satisfaisant, donc on peut passer à la gestion du scénario futur.

4. Gestion du scénario futur

4.1. Provenance du scénario

Le scénario retenu pour la simulation future, a été généré dans le cadre du projet de fin d'études 2010/2011 intitulé « optimisation de la gestion du barrage de la CHEFFIA par les algorithmes génétiques ». Nous avons décidé de ne pas en générer un nouveau scénario par souci de comparaison entre les différentes méthodes utilisés pour la gestion du barrage de la CHEFFIA, à savoir :

- Gestion réelle du barrage utilisée jusqu'à ce jour.
- Gestion optimisée par algorithmes génétiques.
- Gestion par modèle : qui est le présent travail.

Ajoutons également qu'un deuxième scénario avait été généré, mais en comparant ses caractéristiques statistiques avec ceux de l'historique, il est plus humide, donc nous avons retenu comme scénario le plus sec.

La taille du scénario est de 60 ans.

4.2. Taux de satisfaction minimum de 50%

Là aussi, nous avons fait varier le taux de satisfaction minimum de 50 à 75%.

Nous suivrons la même procédure que pour la gestion de l'historique

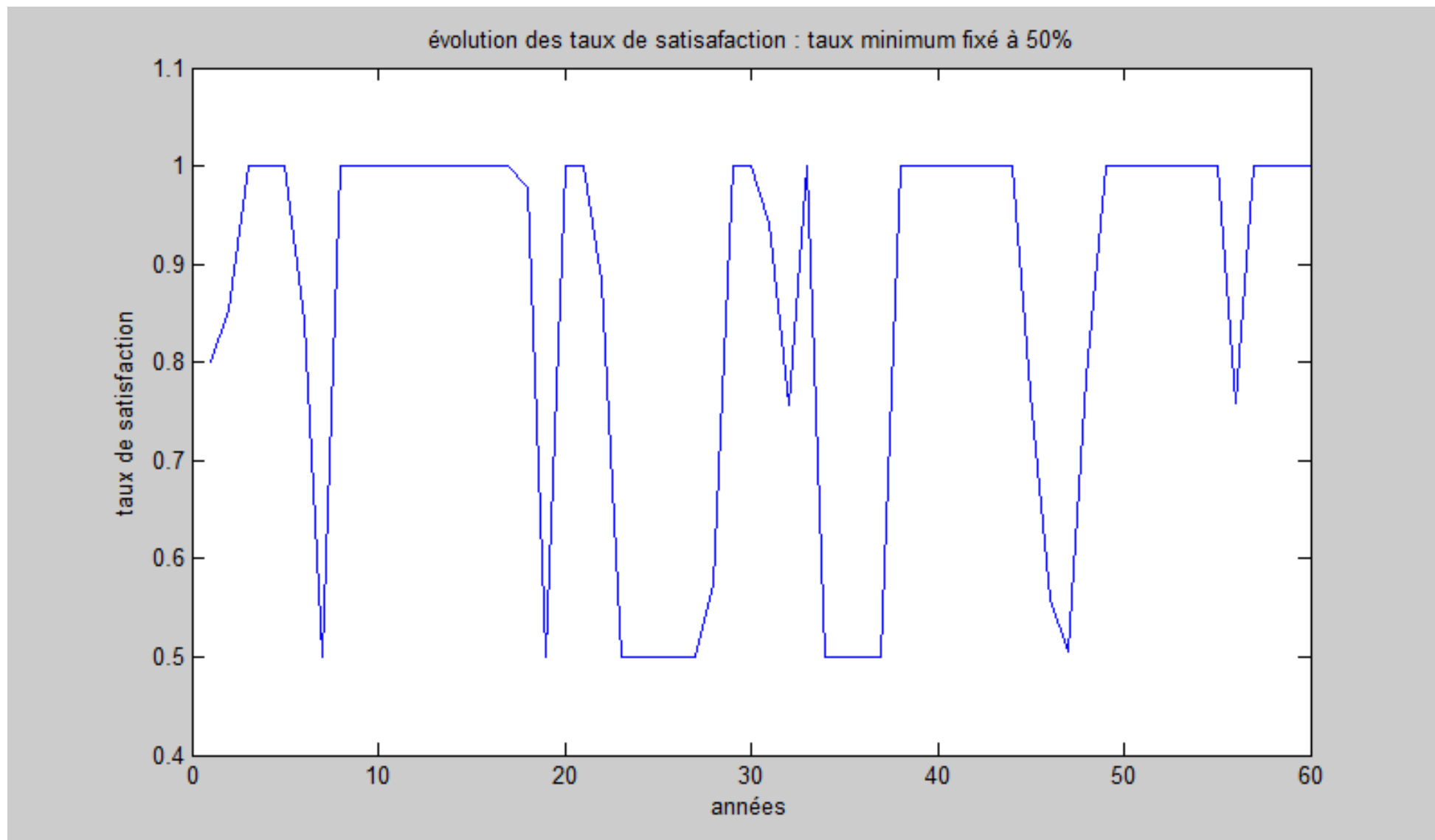


Figure n° IV.7 : gestion du scénario futur pour les trois secteurs confondus avec taux minimum de 50%

Interprétation

On remarque qu'on n'est pas du tout descendu en dessous du taux minimum que l'on s'est fixé égal à 50%. Ainsi, nous avons pu rattraper les déficits de 12 années et de le rehausser à 50%.

Toujours, après répartition des taux dans les différentes classes :

- Classe I : $42 / 60 = 70\%$,
- Classe II : $4 / 60 = 6.67\%$,
- Classe III : $14 / 60 = 23.33\%$,
- Classe IV : 0% .

La moyenne de taux de satisfaction sur les soixante (60) années du scénario est de : 85.84%.

Le nombre d'années dont la demande a été satisfaite à 100% est de : 37, et une année où la satisfaction a été de 94.18, en la comptabilisant, cela nous fait $38 / 60 = 63.33\%$.

Nous passons maintenant au taux de 55%.

4.3. Taux de satisfaction minimum fixé à 55%

Comme précédemment, nous présenterons la figure des taux de satisfaction générée par MATLAB, et nous les interpréterons pour en tirer des conclusions par la suite.

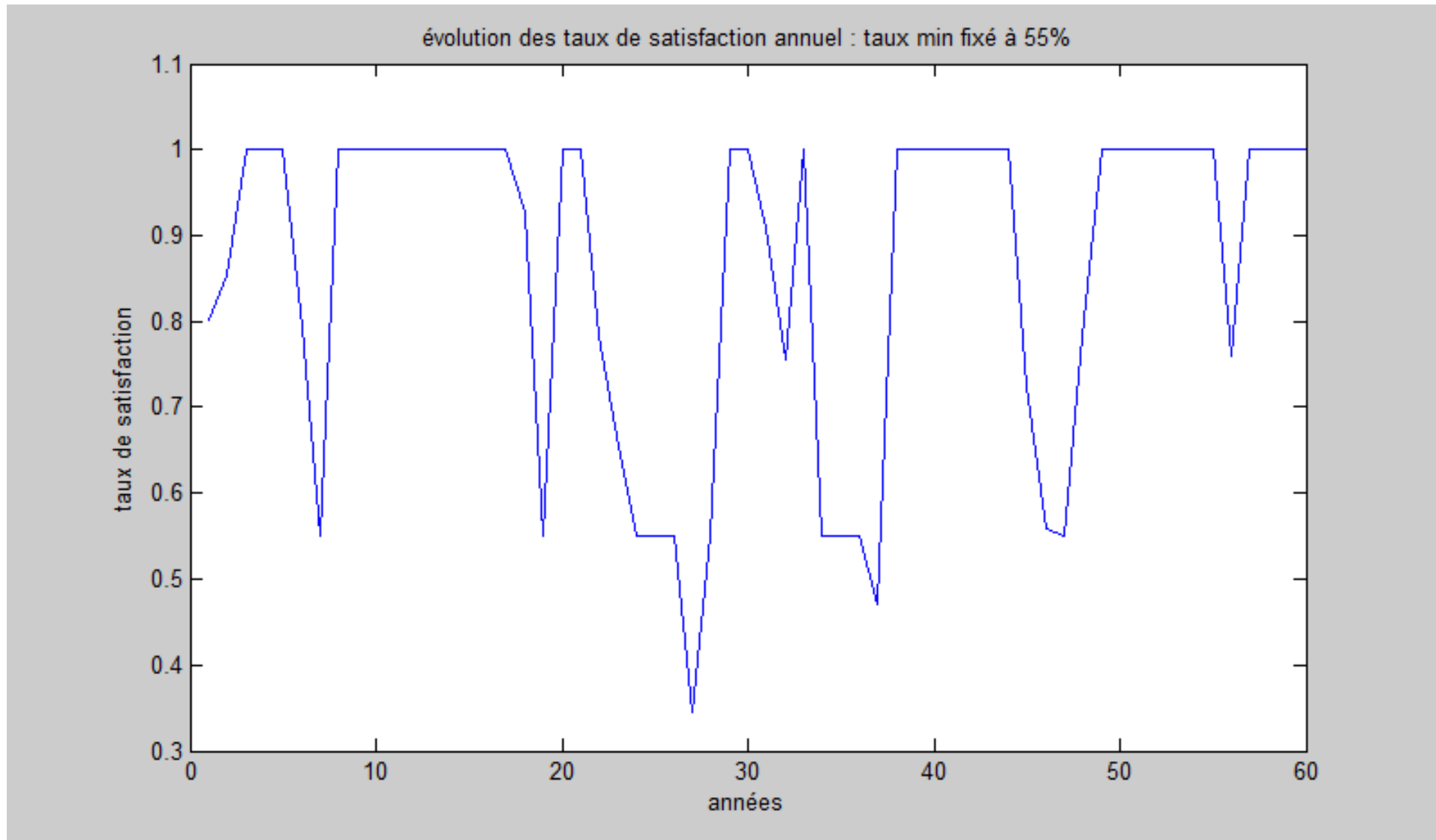


Figure n° IV.8 : Evolution des taux de satisfaction lors de la gestion du scénario futur avec taux minimum de 55%

Interprétation des résultats

Dans ce cas, pour pouvoir satisfaire certaines années à 55%, on se retrouve à en priver les années les plus dangereusement sèches, qui se retrouvent avec des taux de satisfaction inférieurs à 40%. On en dénombre 2, la première année est la 27^{ème} du scénario, elle n'est satisfaite qu'à 34.47% et la seconde, 37^{ème}, ne l'est qu'à 47.04%.

Ce qui nous donne comme résultat :

- Classe I : $40 / 60 = 66.67\%$,
- Classe II : $7 / 60 = 11.67\%$,
- Classe III : $12 / 60 = 20\%$,
- Classe IV : $1 / 60 = 1.66\%$.

La moyenne des taux de satisfaction le long de la période de gestion de 60 ans est de : 86.03%.

Le nombre d'années à avoir été satisfaites à 100% est de : $36 / 60 = 60\%$.

Cette baisse s'explique par le fait qu'on enlève un peu d'eau des années humides, pouvant être satisfaites à 100% et l'allouer à des années plus sèches afin qu'elles soient desservies au moins à 55% de la demande totale.

Les résultats suivants correspondront au taux de satisfaction minimum de 60%.

4.4. Taux minimum fixé à 60%

Comme précédemment, nous présenterons la figure des taux de satisfaction générée par MATLAB, et nous les interpréterons pour en tirer des conclusions par la suite.

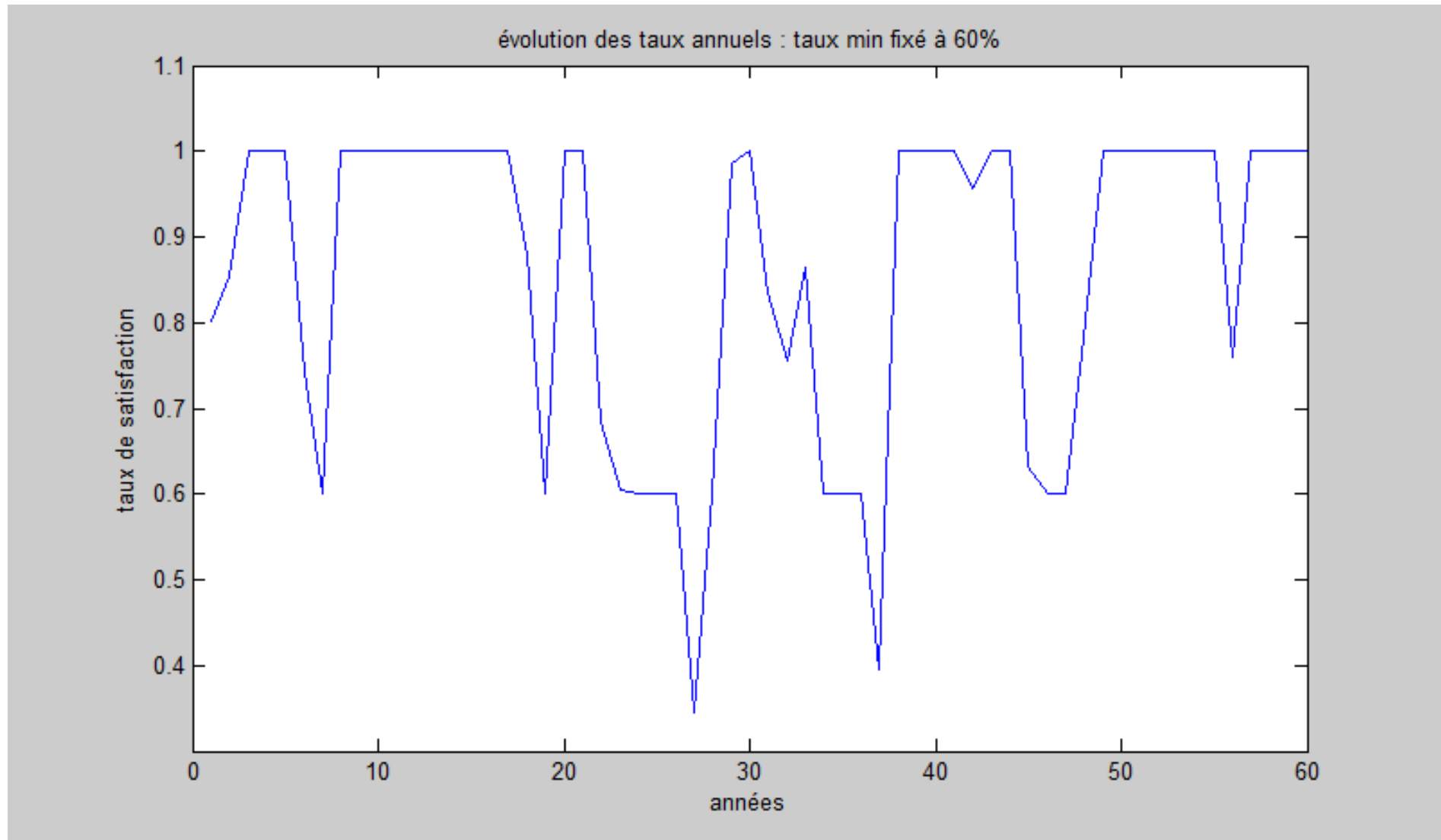


Figure n° IV.9 : Evolution des taux de satisfaction lors de la gestion du scénario futur avec taux minimum de 60%

Interprétation des résultats

Le taux minimal obtenu par le modèle dans ce cas également est de : 60% sauf pour les deux années déficitaires précédentes. Le taux de satisfaction annuel de la 37^{ème} année s'est même détérioré et est passé de 47,04% à 39.5%.

La classification des taux donne :

- Classe I : $40 / 60 = 66.67\%$,
- Classe II : $18 / 60 = 25\%$,
- Classe III : 0%,
- Classe IV : $2 / 60 = 3.33\%$.

Ici, l'année qui était dans la classe III a été déclassée à la classe IV et les autres se sont améliorées et sont passées aux classes supérieures.

La moyenne des taux est de 85.80%.

Le nombre d'année à avoir été satisfaites à 100% est de : $35 / 60 = 58.33\%$.

On passe au taux minimum de 65%.

4.5. Taux de satisfaction annuel minimum fixé à 65

Comme précédemment, nous présenterons la figure des taux de satisfaction générée par MATLAB, et nous les interpréterons pour en tirer des conclusions par la suite.

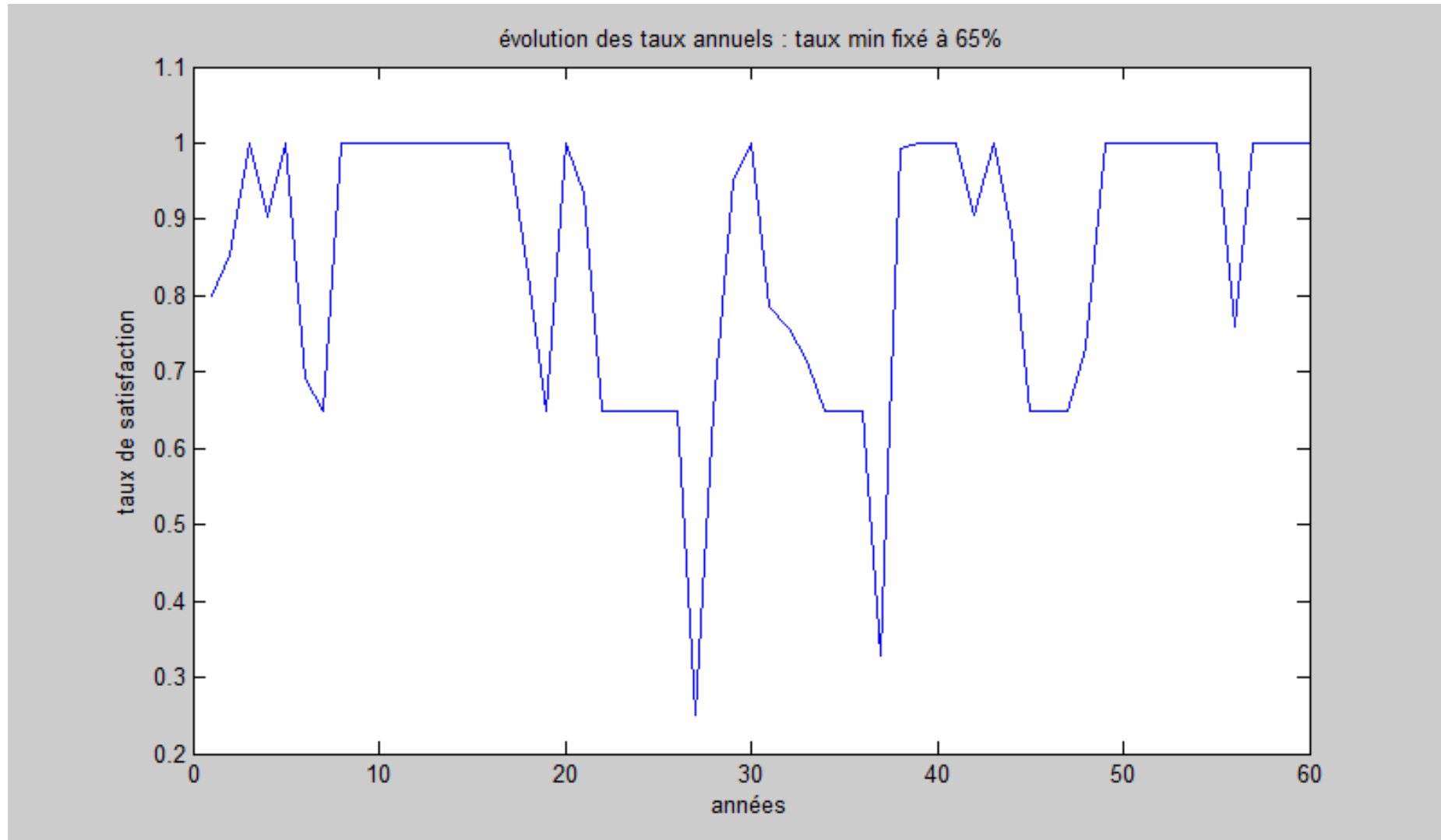


Figure n° IV.10 : Evolution des taux de satisfaction lors de la gestion du scénario futur avec taux minimum de 65%

Interprétation des résultats

Cette simulation nous confirme que plus on augmente notre taux de satisfaction global minimum, moins nous arrivons à rattraper le déficit enregistré par les années les plus dangereusement sèches.

En d'autres termes, on enlève de l'eau aux années qui en ont le moins pour satisfaire des années mieux arrosées ou mieux placées dans le cycle de la sécheresse prolongée.

Ensuite, la répartition donne :

- Classe I : $38 / 60 = 63.33\%$,
- Classe II : $20 / 60 = 33.33\%$,
- Classe III : 0% ,
- Classe IV : $2 / 60 = 3.33\%$.

La moyenne des taux de satisfaction est de : 85.28% .

Le nombre d'années satisfaites à 100% est de : $30 / 60 = 50\%$.

4.6. Taux de satisfaction fixé à 70

Comme précédemment, nous présenterons la figure des taux de satisfaction générée par MATLAB, et nous les interpréterons pour en tirer des conclusions par la suite.

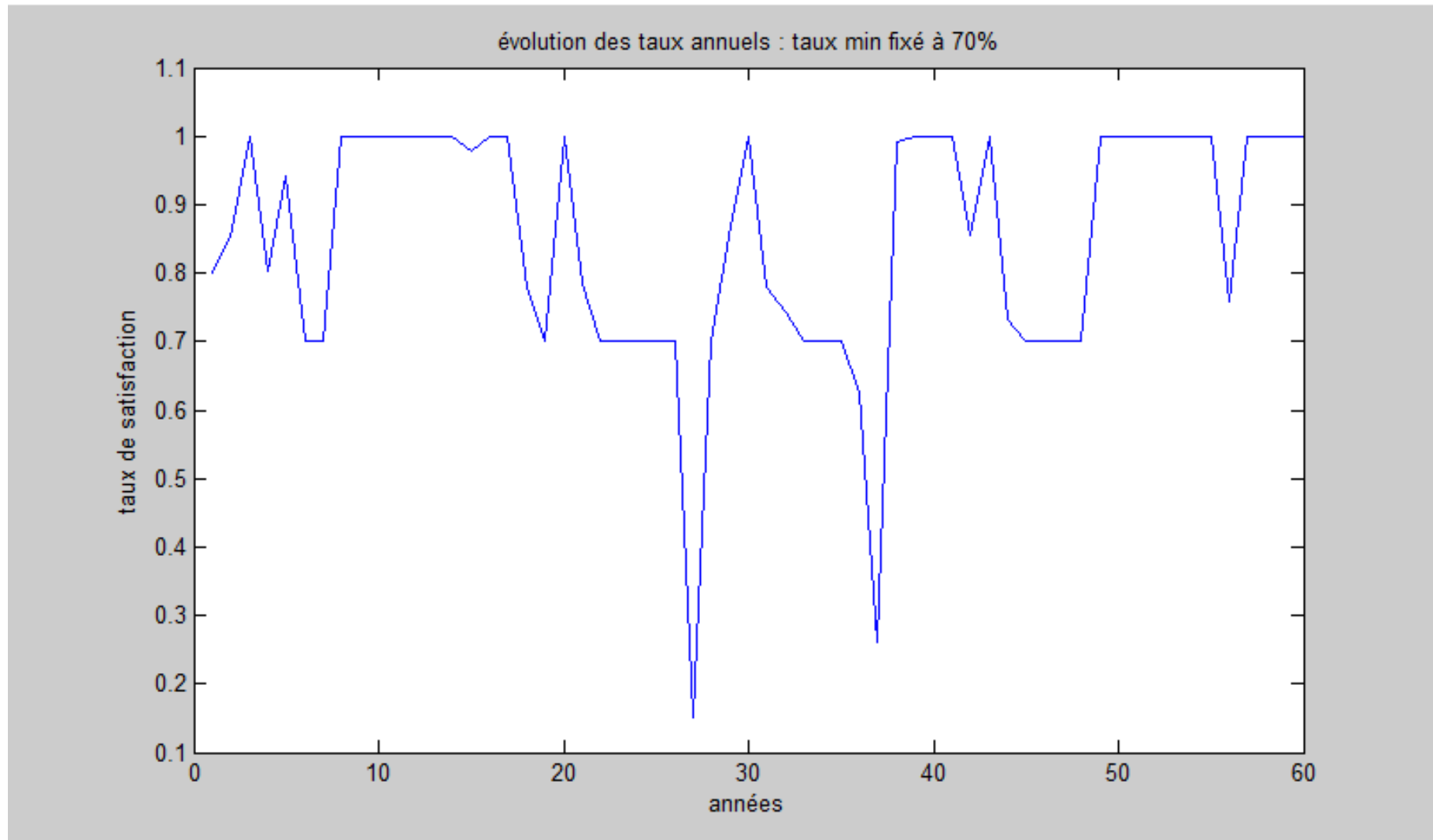


Figure n° IV.11 : Evolution des taux de satisfaction lors de la gestion du scénario futur avec taux minimum de 70%

Interprétation

La tendance à la baisse du taux de satisfaction, reste inchangée.

Les taux précédemment eu comme déficitaires, se sont empirées les taux sont maintenant de :

La classification 26.01% et 15.04%

- Classe I : $35 / 60 = 58.33\%$,
- Classe II : $23 / 60 = 38.33\%$,
- Classe III : 0%,
- Classe IV : $2 / 60 = 3.33\%$.

La moyenne de satisfaction est de : 84.84%.

Le nombre d'années satisfaites à 100% est de : $23 / 60 = 38.33\%$.

Et la dernière simulation est celle où le taux de satisfaction global minimal est de : 75%.

4.7. Taux fixé à 75%

Comme précédemment, nous présenterons la figure des taux de satisfaction générée par MATLAB, et nous les interpréterons pour en tirer des conclusions par la suite.

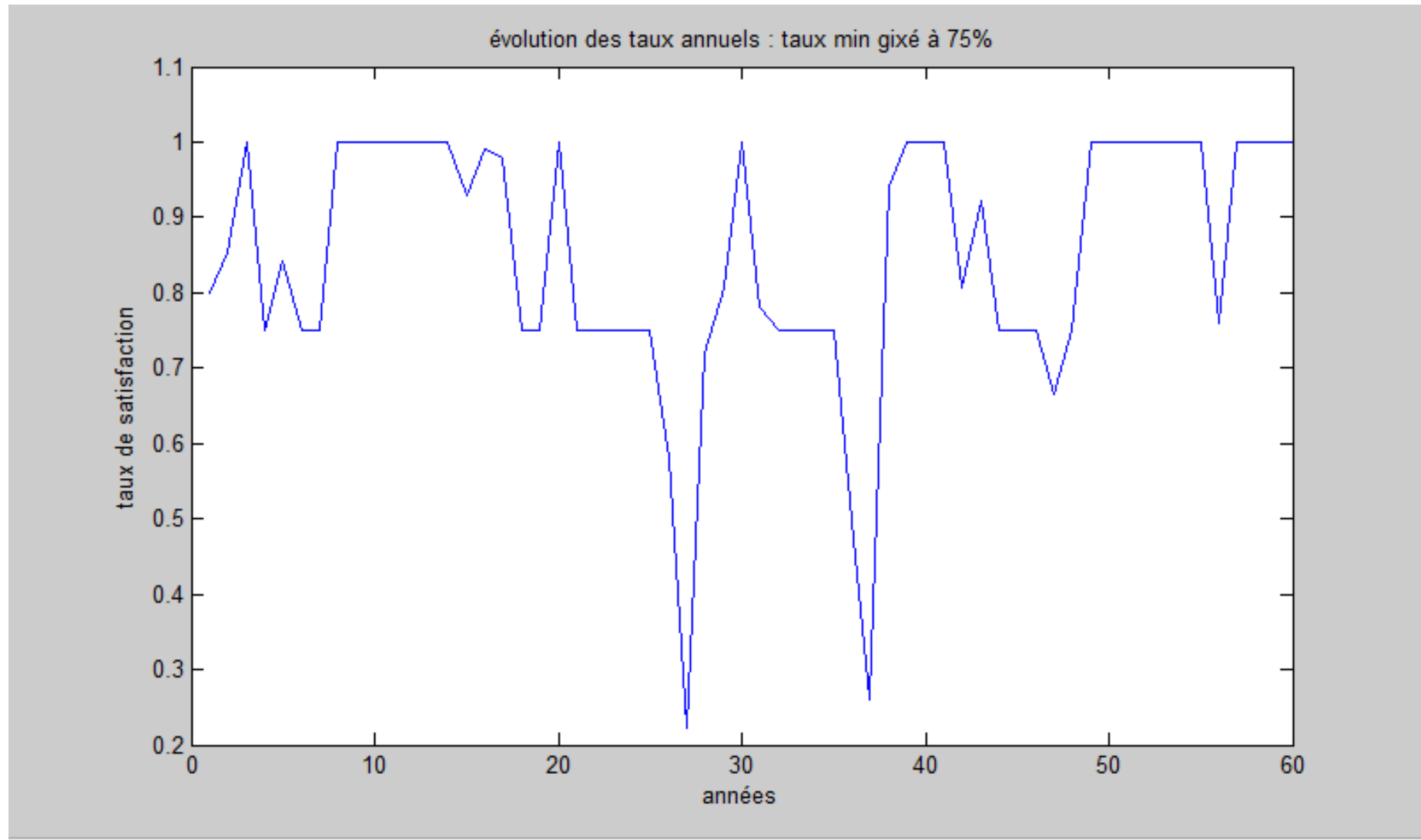


Figure n° IV.12 : Evolution des taux de satisfaction lors de la gestion du scénario futur avec taux minimum de 75%

Interprétation et commentaires

Nous avons eu 5 années dont le taux de satisfaction descendait en dessous des 75% de satisfaction annuelle.les deux premières sont les 27 et 37^{ème} dont les taux de satisfaction sont respectivement : 22.12 et 26.01%, auxquelles s'ajoute la 26^{ème} et 36^{ème} dont les taux de satisfaction sont de : 58.16 et 49.76%, respectivement, ainsi que la 47^{ème} année du scénario dont le taux de satisfaction n'atteint que les 66.58%.

En classant les résultats obtenus, on se retrouve avec :

- Classe I : $34 / 60 = 56.76\%$,
- Classe II : $22 / 60 = 36.67\%$,
- Classe III : $2 / 60 = 3.33\%$,
- Classe IV : $2 / 60 = 3.33\%$.

La moyenne de satisfaction globale sur l'ensemble de la soixantaine d'années est de : 84.75%.

Le nombre d'années à avoir été satisfaites à 100% est de : 25 années.

5. Résumé des résultats pour le scénario futur

5.1. Taux de satisfaction global

Tableau n° IV.3 : résumé des résultats pour le scénario futur

Taux min (%)	Classe I (%)	Classe II (%)	Classe III (%)	Classe IV (%)	Moyenne (%)	n ^{bre} années taux=100%
50	70.00	6.67	23.33	0.00	85.84	36.00
55	66.67	11.67	20.00	1.67	86.03	36.00
60	66.67	25.00	0.00	3.33	85.80	35.00
65	63.33	33.33	0.00	3.33	85.28	30.00
70	58.33	38.33	0.00	3.33	84.84	23.00
75	56.76	36.67	3.33	3.33	84.75	25.00

5.2. Taux de satisfaction par secteur

Tableau n° IV.4 : Taux de satisfaction par secteur

moyenne AEP :	88.33	89.04	88.92	88.83	88.47	88.51
moyenne AEI :	84.78	85.7	85.75	85.54	86.02	86.8
moyenne AEA :	82.93	82.13	81.5	80.02	78.94	77.53

Remarque

Ces résultats sont disponibles sous forme de figures qui sont annexées.

6. Taux de satisfaction du secteur de l'AEP

Tout au long des simulations passées, l'AEP était considérée comme étant le secteur prioritaire dans notre gestion. Pour ce qui est des deux autres secteurs, on a utilisé deux méthodes pour leur calcul. La première favorise l'AEI par rapport à l'AEA et pour la deuxième, c'est l'inverse.

Les taux de satisfaction sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau n° IV.5 : taux de satisfaction du secteur de l'AEP

Taux min	50%	55%	60%	65%	70%	75%
historique	90.13	90.35	90.47	90.48	91.06	90.76
scénario futur	88.33	89.04	88.92	88.83	88.47	88.51

Comme nous l'avons dit auparavant, le secteur de l'AEP a été prioritaire dans toutes les méthodes de calcul de l'allocation de l'eau aux différents secteurs, et dans l'une des méthodes, on avait comme objectif et donc nouvelle contrainte de satisfaire le secteur de l'Alimentation en Eau Potable à 100%.

Nous rejetons cette méthode là pour son manque de rationalité. En effet, non seulement, un secteur ne devrait pas être satisfait à 100% en risquant qu'un autre ne le soit pas du tout, mais en plus, vu la quantité d'eau qu'il demande par an : 40 hm³, cet objectif deviendrait une contrainte trop lourde.

7. Taux de satisfaction du secteur de l'AEI

Nous reprenons les résultats et les mettons dans le tableau suivant :

Tableau n° IV.6 : évolution des taux de satisfaction de l'AEI en fonction du taux minimum fixé

Taux	50%	55%	60%	65%	70%	75%
historique	85.38	87.13	88.02	88.7	89.27	90.17
scénario futur	84.78	85.7	85.75	85.54	86.02	86.8

Comme nous le constatons, les résultats sont très satisfaisants.

Les taux de satisfaction sont, globalement, proportionnels au taux minimum fixé.

8. Taux de satisfaction du secteur de l'AEA

Voici les résultats obtenus :

Tableau n° IV.7 : évolution des taux de satisfaction de l'AEA en fonction du taux minimum fixé

Taux	50%	55%	60%	65%	70%	75%
historique	83.3	83.94	83.44	83.17	82.22	82.25
scénario futur	82.93	82.13	81.5	80.02	78.94	77.53

Les taux de satisfaction ne sont pas proportionnels au taux minimum fixé. Ceci s'explique par le fait que pour satisfaire les deux autres secteurs (AEP et AEI), de l'eau doit être retirée au secteur de l'AEA.

Ceci reflète bien le caractère prioritaire des deux autres secteurs par rapport à l'AEA. C'est là qu'on mesure l'importance de l'ordre de priorité que nous devons mettre en place.

9. Conclusion

A la lumière des résultats qu'on a obtenus en simulant la gestion quantitative du barrage de la CHEFFIA, on peut dire que notre gestion est satisfaisante, et ce, même en les comparant aux résultats obtenus l'année précédente, avec optimisation de la gestion, dite rationnelle.

Il nous est également apparu que pour améliorer cette gestion on peut faire comme suit :

- En voulant améliorer la moyenne des satisfactions annuelles que peut atteindre le barrage, on ferait mieux de choisir, pour la simulation en utilisant ce modèle de gestion, des taux de satisfaction minima allant de 55% à 60% d'après l'historique, et allant de 50% à 65% d'après le scénario futur qui ne l'oublions pas est plus sec d'un point de vue caractéristiques statistiques.
- Donc, on peut dire que quand la ressource est plutôt faible d'un point de vue global, les taux minima optimaux sont 55 à 60%.
- Aussi, si on veut équilibrer notre gestion de sorte qu'il n'y ait pas d'années déficitaires trop éprouvantes, il est apparu que le taux optimal serait de 50%, pour les simulations de l'historique et du scénario futur, et plus on essayait d'augmenter le taux, plus le taux de ces années dangereusement déficitaires diminuait.

Ce qui nous amène à dire qu'il est préférable d'utiliser des taux de satisfaction allant de 55% à 60% pour la simulation de la gestion du barrage de la CHEFFIA en temps normal et même avec des années sèches isolées, c'est-à-dire sans sécheresse prolongée, et quant on prévoit une sécheresse prolongée, on utilise, de préférence, un taux de 50% de satisfaction annuelle comme objectif.

La facilité avec laquelle on peut utiliser ce programme MATLAB, joue en notre faveur. Les calculs que le programme effectue sont logiques, les plus simples possibles qui se veulent justifiés.

Conclusion générale

Bien que la gestion d'un barrage réservoir à buts multiples ne soit pas une mince tâche, elle ne l'est tout de même pas impossible, à condition d'avoir, à la disposition du planificateur et du gestionnaire, les informations représentatives et complètes portant sur le système considéré.

Par la suite, l'élaboration d'un modèle de gestion réaliste et fiable ne repose plus que sur une formalisation adéquate des phénomènes constituant le système considéré.

Le barrage de la CHEFFIA est un bon exemple d'application, en considérant les objectifs multiples qu'il doit satisfaire et l'irrégularité de ses apports. Ce qui fait que l'équilibre entre apports et demandes n'est pas toujours facile à trouver et donc représente le défi majeur pour le gestionnaire.

Le modèle élaboré dans ce travail représente, de part les résultats qu'il a donnés, un bon outil d'aide à la décision quant la gestion du barrage de la CHEFFIA.

Un point fort qui caractérise ce modèle, est la possibilité de le généraliser à d'autres barrages réservoirs, en tenant compte, bien sur, de leurs caractéristiques propres.

Egalement, sa facilité d'utilisation reste un atout non négligeable. En vérité, quand nous avons entamé ce travail, nous voulions qu'il soit le plus compréhensible possible. C'est pour cela que nous avons adopté un langage le plus simplifié que nous ayons pu.

Les risques considérés, lors de l'utilisation de notre modèle, sont du ressort du gestionnaire, car ils proviennent, en partie, de la simulation, à court, moyen ou long terme, du scénario d'apports. La méthode de simulation est choisie par le gestionnaire. La série d'apports simulée, le gestionnaire ne devra que l'intégrer au programme du modèle.

Recommandations

Nous commencerons par les recommandations concernant ce barrage :

- ✓ Pour ce qui est du barrage de la CHEFFIA, nous avons remarqué que des volumes d'eau non négligeables étaient perdus dans la nature lors d'apports annuels très importants. La construction d'un autre barrage à l'aval de celui-ci pourrait aider à mobiliser la ressource en eau, qui serait ainsi mieux valorisée.

Les recommandations pour une meilleure gestion des barrages réservoirs, nous conseillons pour la suite des travaux dans ce domaine de :

- ✓ Elaborer encore des modèles tels que celui-ci pour pouvoir effectuer des comparaisons entre leurs résultats respectifs et ainsi, choisir le plus approprié.
- ✓ Travailler ensuite, sur l'optimisation des modèles de gestion élaborés.
- ✓ S'atteler à améliorer les réseaux et organismes de : récolte, archivation et distribution de données et d'informations. Malheureusement, nous avons rencontré un certain nombre de difficultés dans ce domaine là.
- ✓ Arriver à la gestion au pas de temps journalier. De cette manière, une plus grande précision sera atteinte mais le travail à fournir reste important et fait un excellent objet de recherche.
- ✓ Pour arriver à une gestion au par temps journalier, on devra travailler sur toutes les composantes du système (climatiques par exemple) individuellement et bien décrire leurs dynamismes respectifs, ainsi que les interactions qui existent entre elles.
- ✓ Prise en compte, dans un modèle englobant la totalité du barrage, des différents aspects de la gestion. On veut dire par là, pas seulement l'aspect quantitatif, mais également : économique, qualitatif, environnemental...etc.

Bibliographie

Affoun S., Ressources en eaux, mobilisation et utilisation dans le bassin versant de la mafragh, Memoire de magister, 2006.

Ait Mesbah, S. S., Optimisation de la gestion du barrage de la CHEFFIA par la méthode des Algorithmes Génétiques. Ecole Nationale Polytechniques d'Alger, 2010.

Ben sassi, S., Vers une optimisation de la gestion intégrée en temps réel des ressources hydriques, LAREQUAD (laboratoire de recherche en économie quantitative de développement)-Tunis, Tunisie-

Bermad, A., Elaboration d'un modèle de gestion d'un barrage réservoir : application au barrage de la Chaffia (Annaba), Thèse de magister, 1990.

Chapeaux, J-P. et Enomoto, R., Guide d'irrigation 2 : Sources d'eau et irrigation, version 1, 2009.

Degoutte, G., Petits barrages, recommandations pour la conception, réalisation et le suivi. ENGREF, 2002.

Kharapur, Version 2 CE IIT, "principles of water resources engineering".

Krimil, F., Essai de modélisation de la gestion du barrage de Foum el Gherza (Biskra), Mémoire de fin d'études, 2009.

Pabiot, F., Optimisation de la gestion d'un barrage collinaire en zone semi-aride, Mémoire de fin d'études, 1999.

Parent, E., Elaboration des consignes de gestion des barrages réservoirs, Thèse de doctorat, 1991.

References vers sites web :

<http://www.barrages-cfbr.eu/Info/cfgeb/cigb.html>

<http://www.water.vic.gov.au/saving/restrictions.html>

http://en.wikipedia.org/wiki/Water_restrictions_in_Australia.html

<http://www.fao.org/docrep/007/y4683f/y4683f07.html>

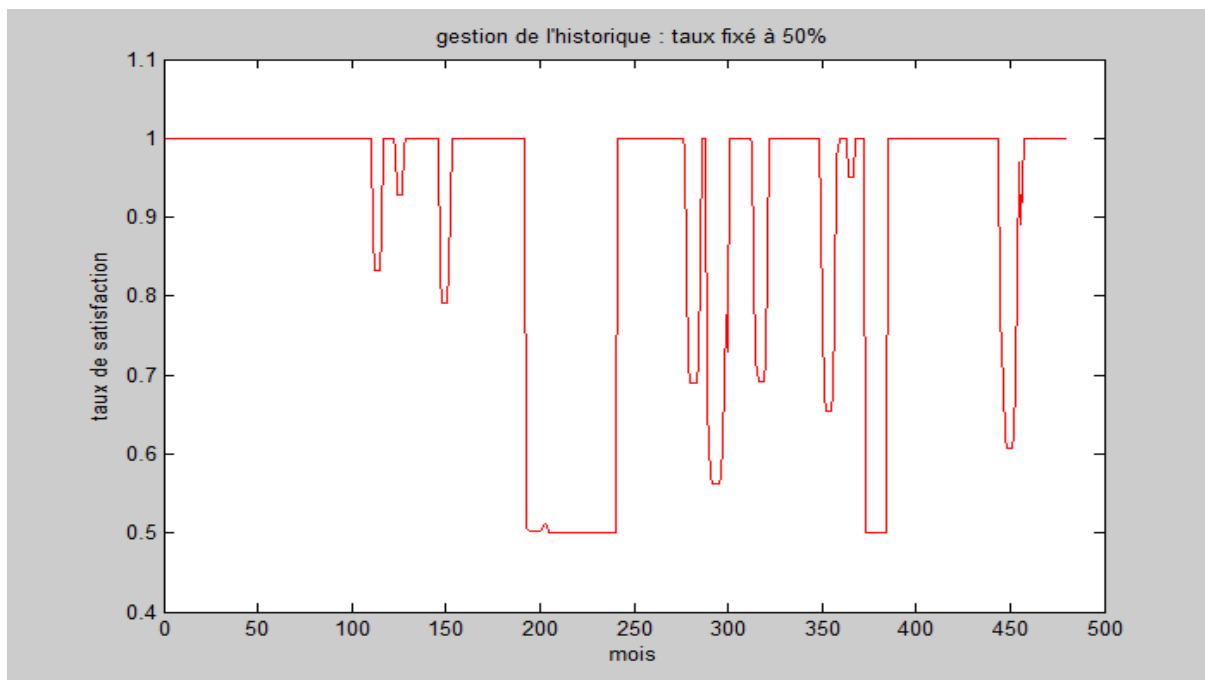
http://www.inra.fr/eau2012/secheresse_et_agriculture/besoins_en_eau_de_l_agriculture/gestion_de_l_eau.html

Annexe des résultats

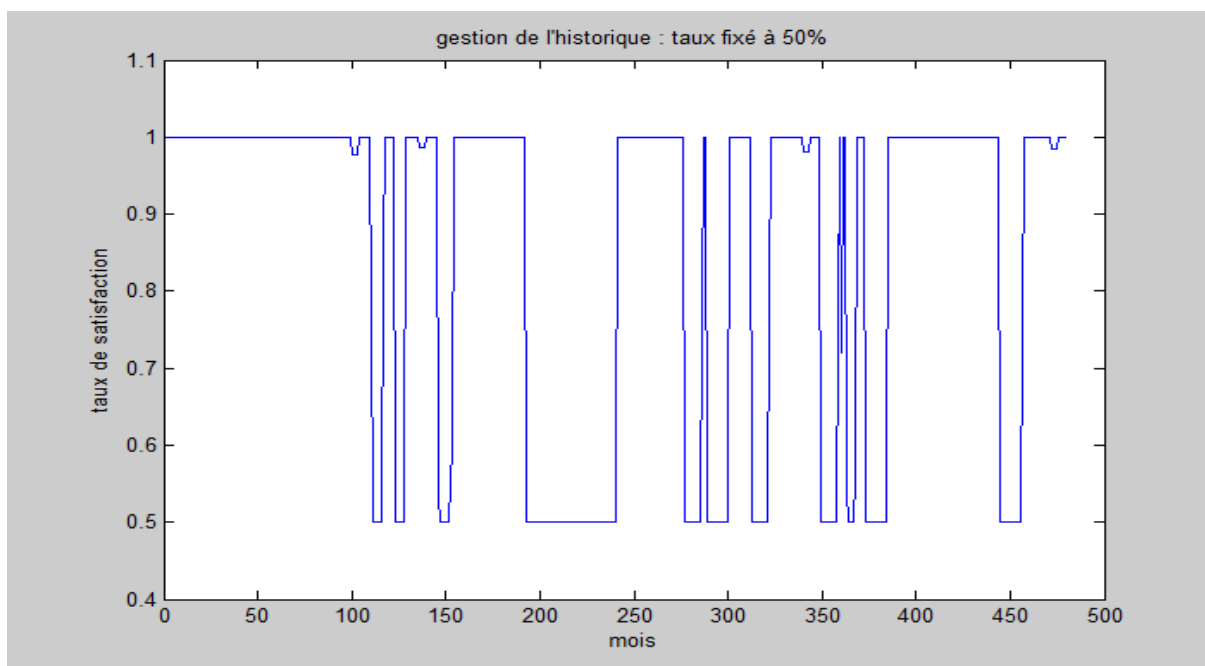
Tous les résultats se trouvant dans cette annexe sont issus des calculs des différents taux de satisfaction sectoriels mensuels selon la méthode b.

I- Résultats de la gestion de l'historique

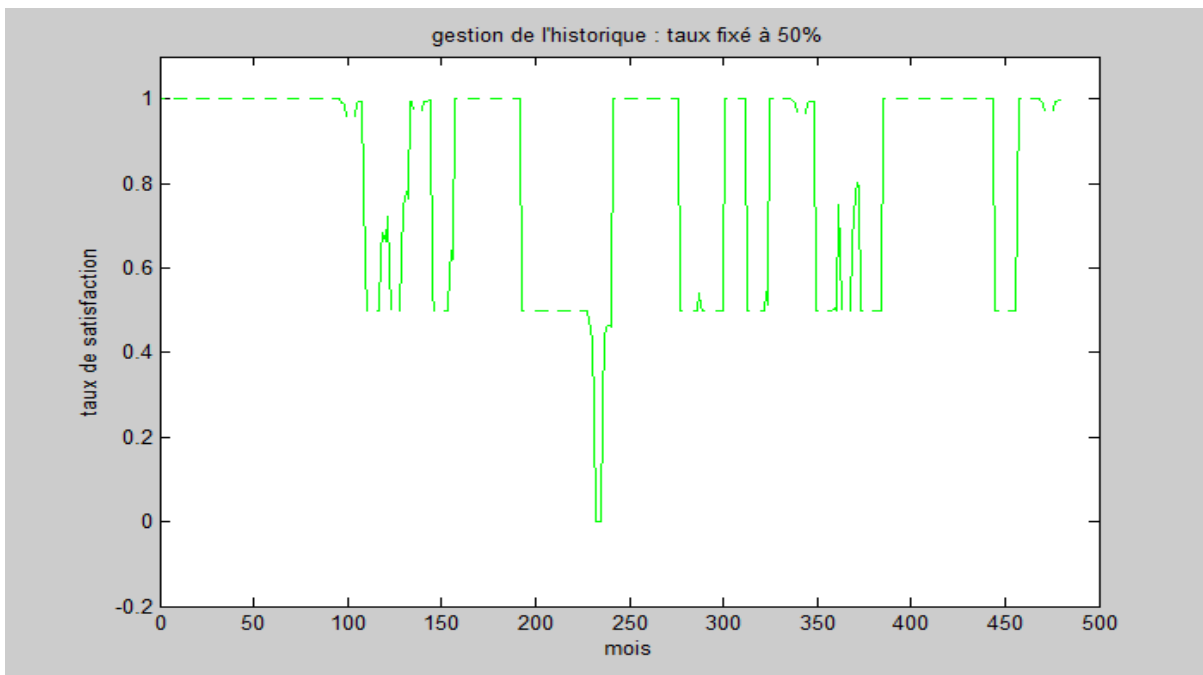
1. Pour un taux de satisfaction minimum = 50% :



Annexe n° I.1.1 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEP

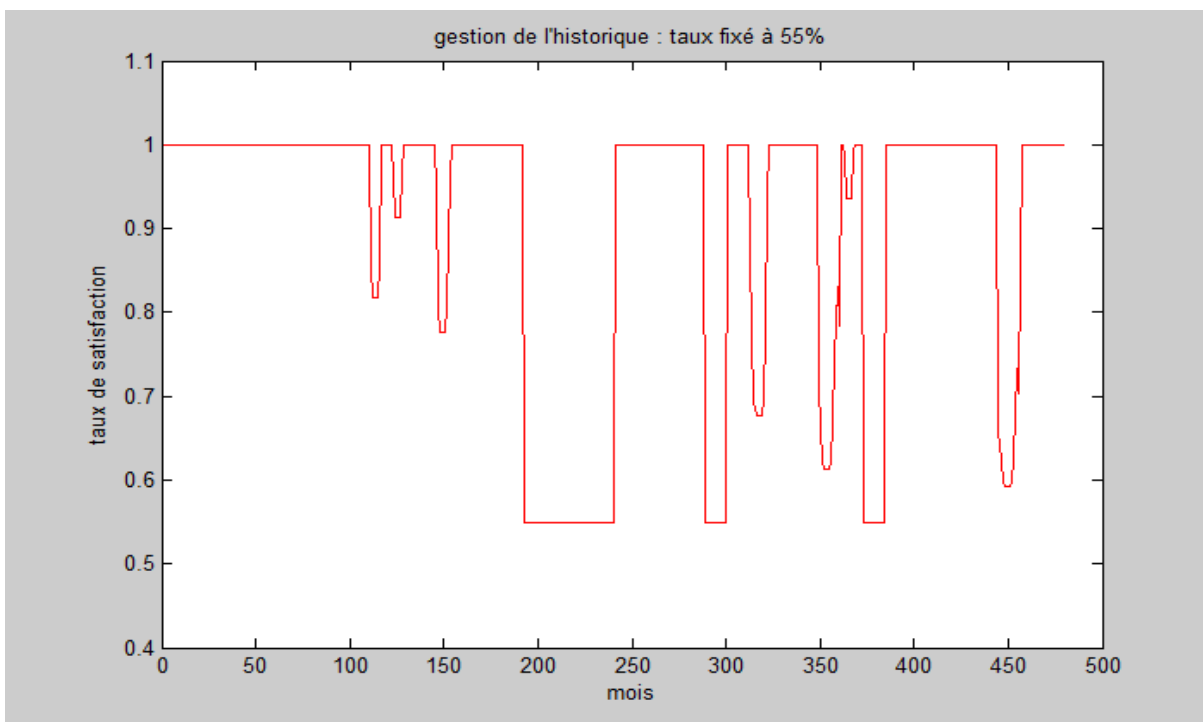


Annexe n° I.1.2 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEI

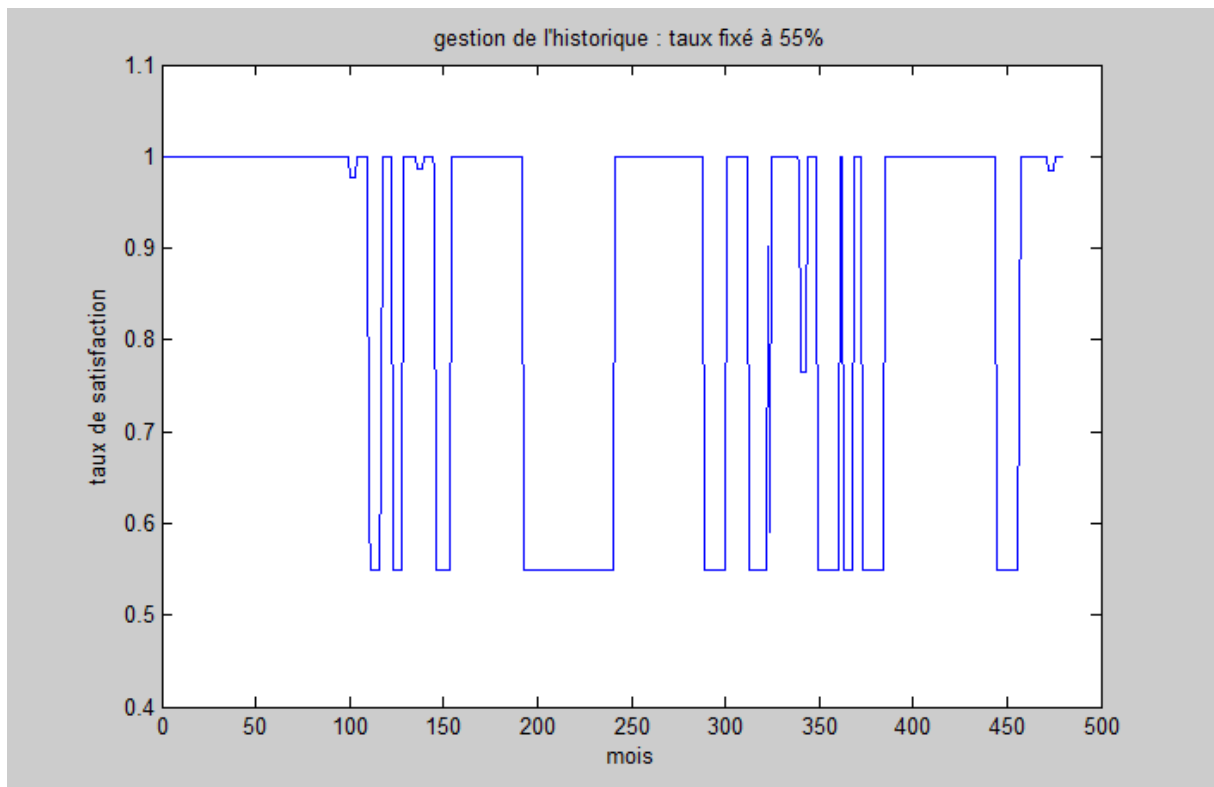


Annexe n° I.1.3 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEA

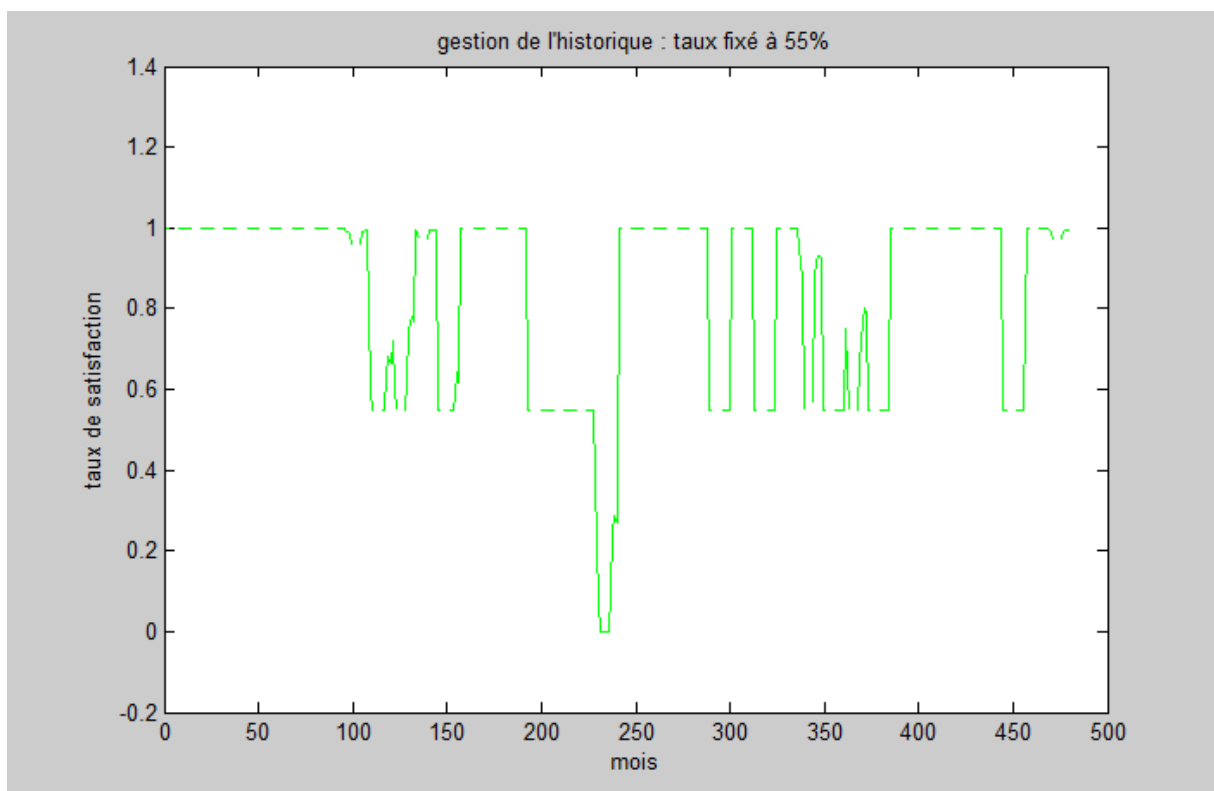
2. Pour un taux de satisfaction minimum = 55% :



Annexe n° I.2.1 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEP

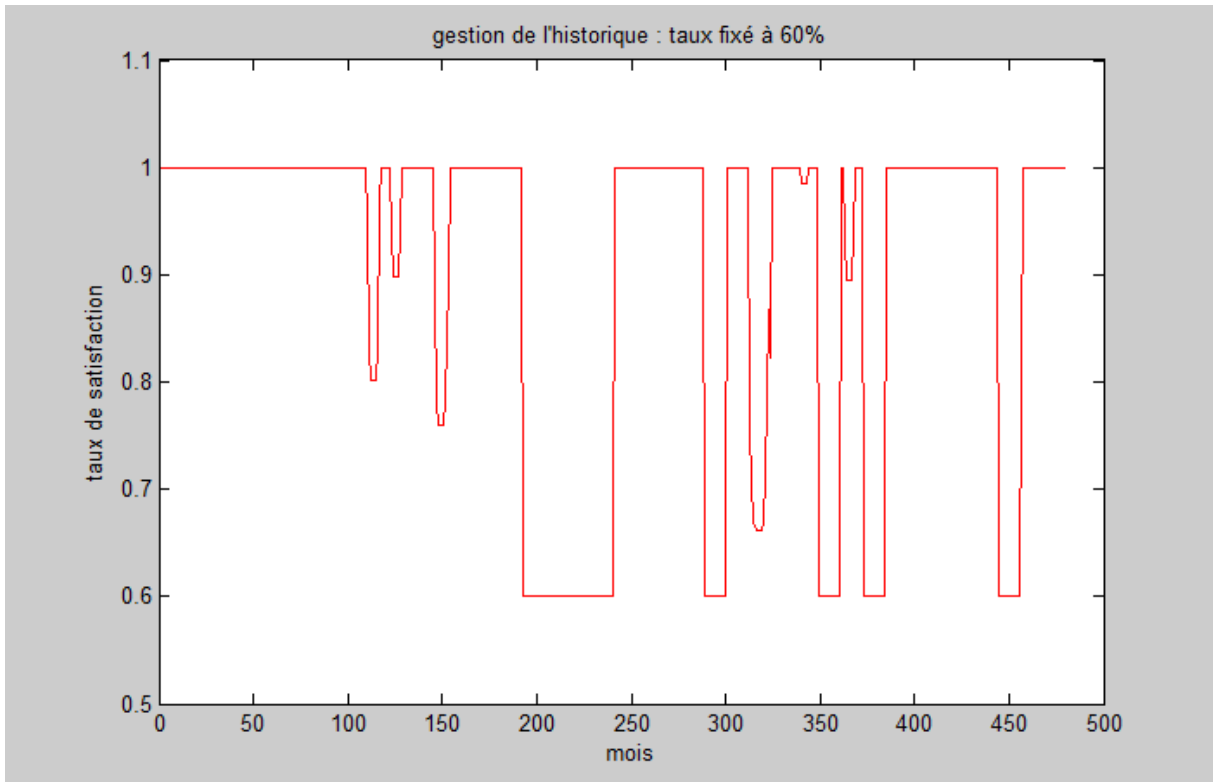


Annexe n° I.2.2 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEI

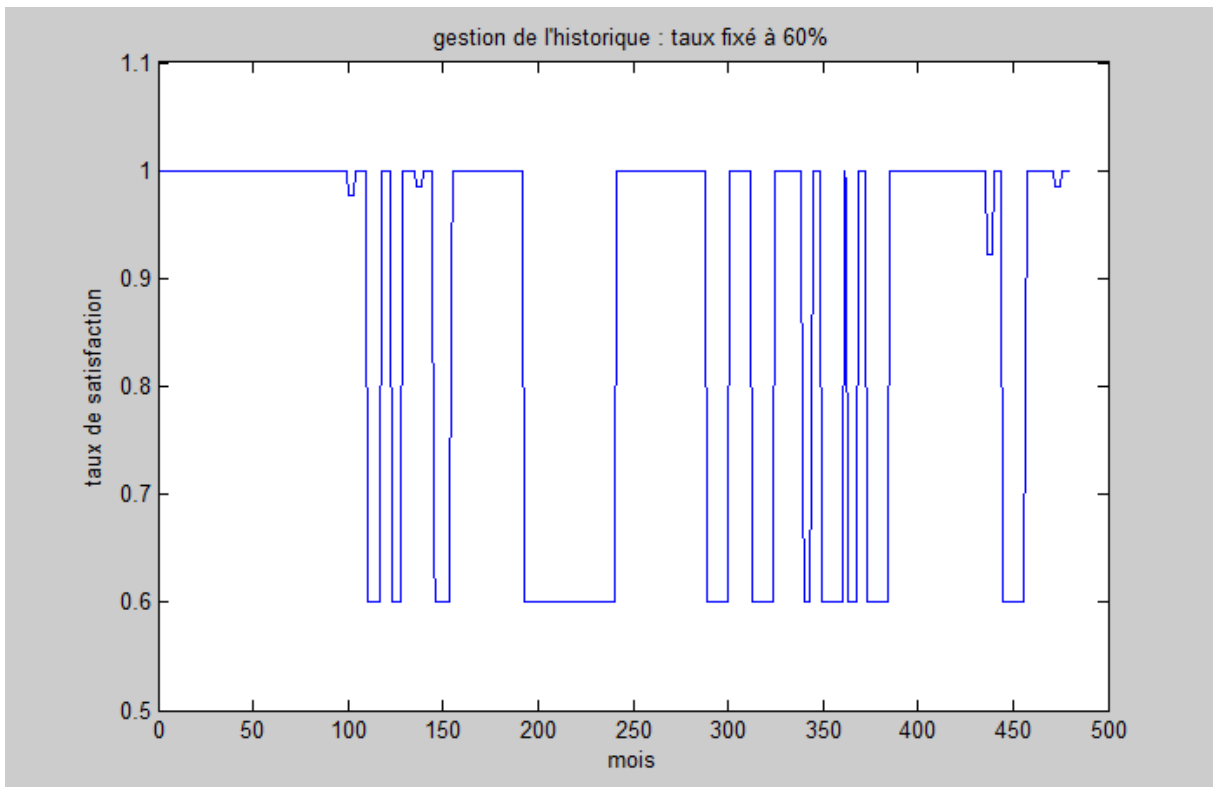


Annexe n° I.2.3 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEA

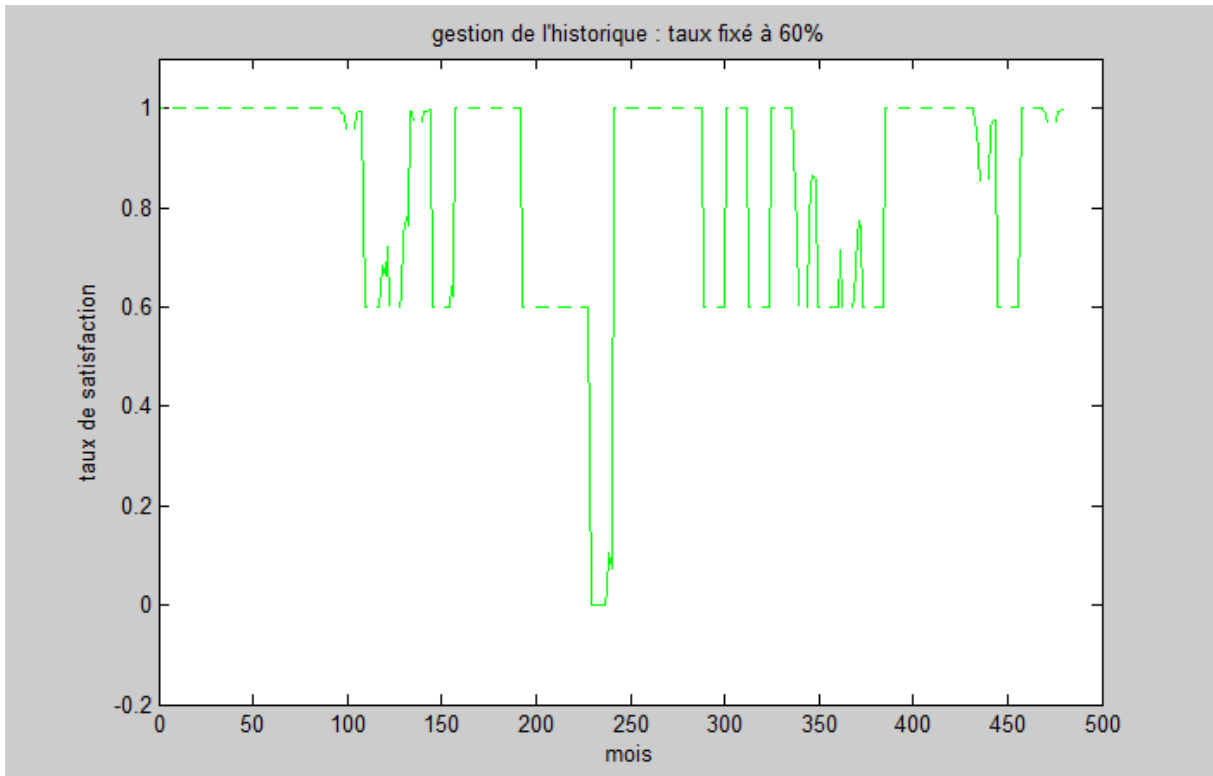
3. Pour un taux de satisfaction minimum = 60% :



Annexe n° I.3.1 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEP

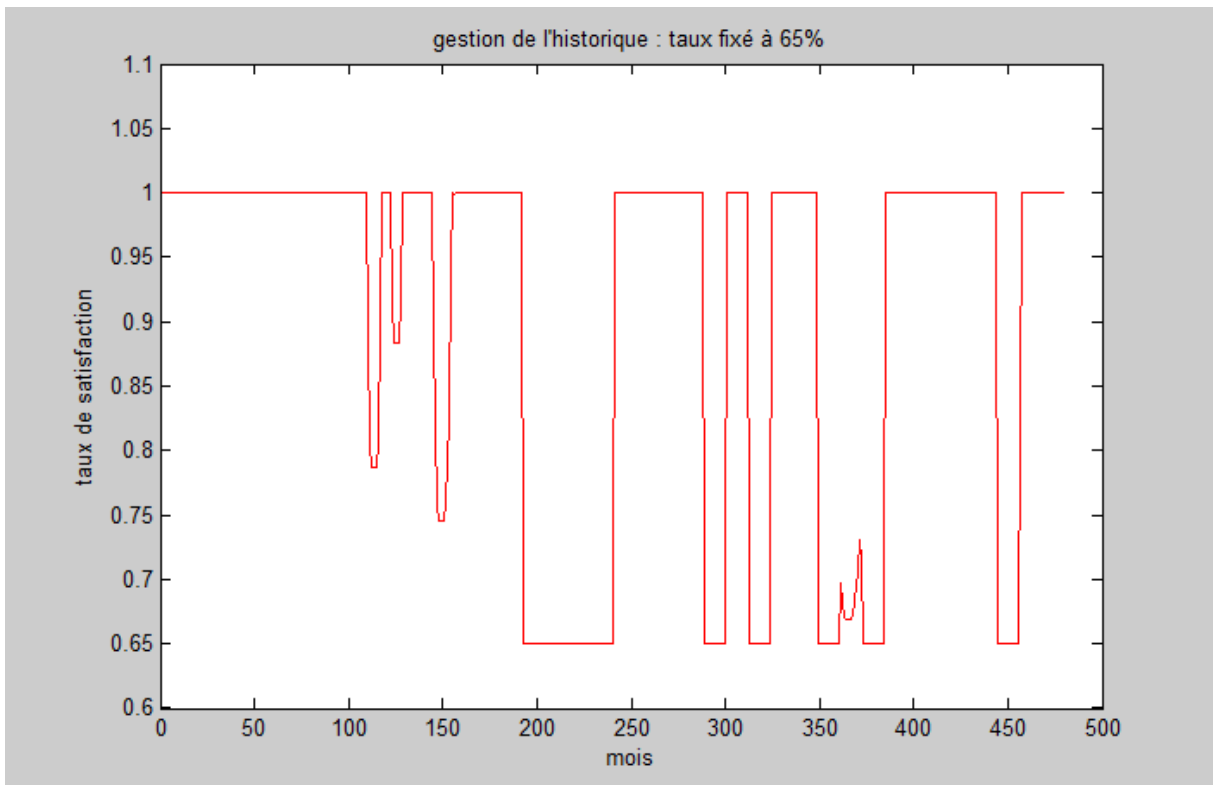


Annexe n° I.3.2 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEI

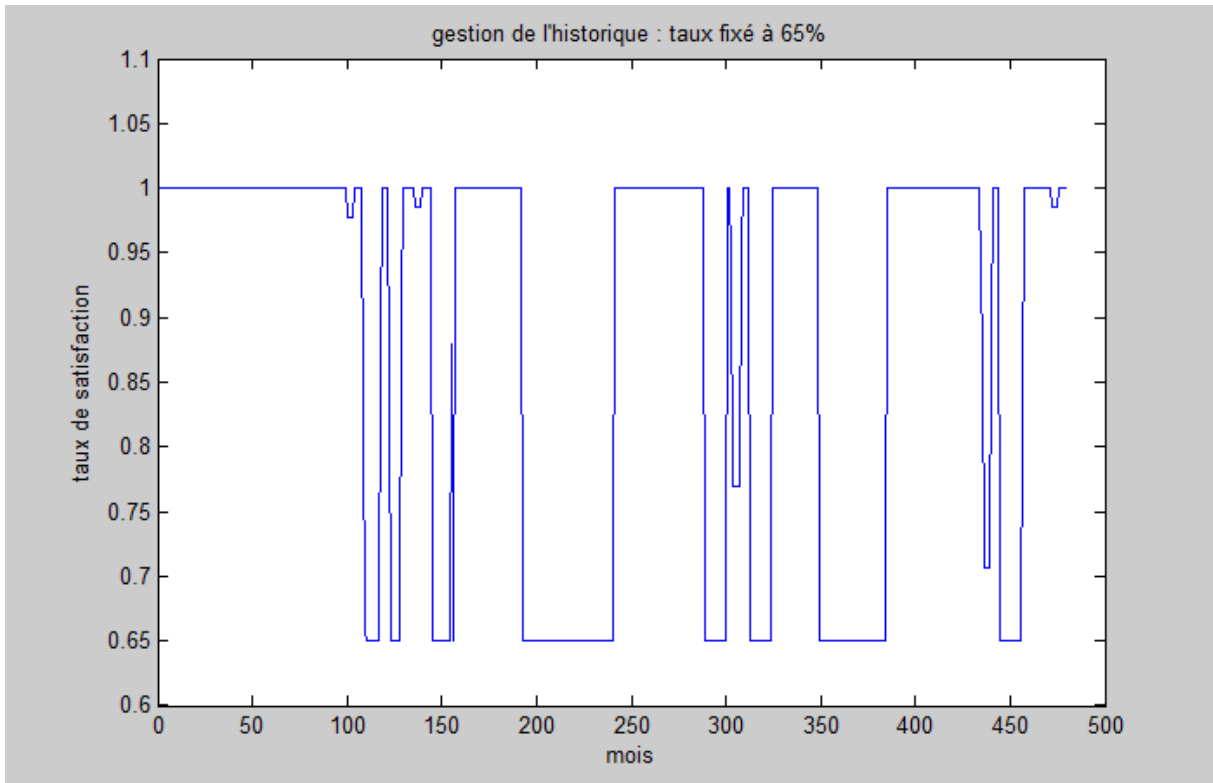


Annexe n° I.3.3 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEA

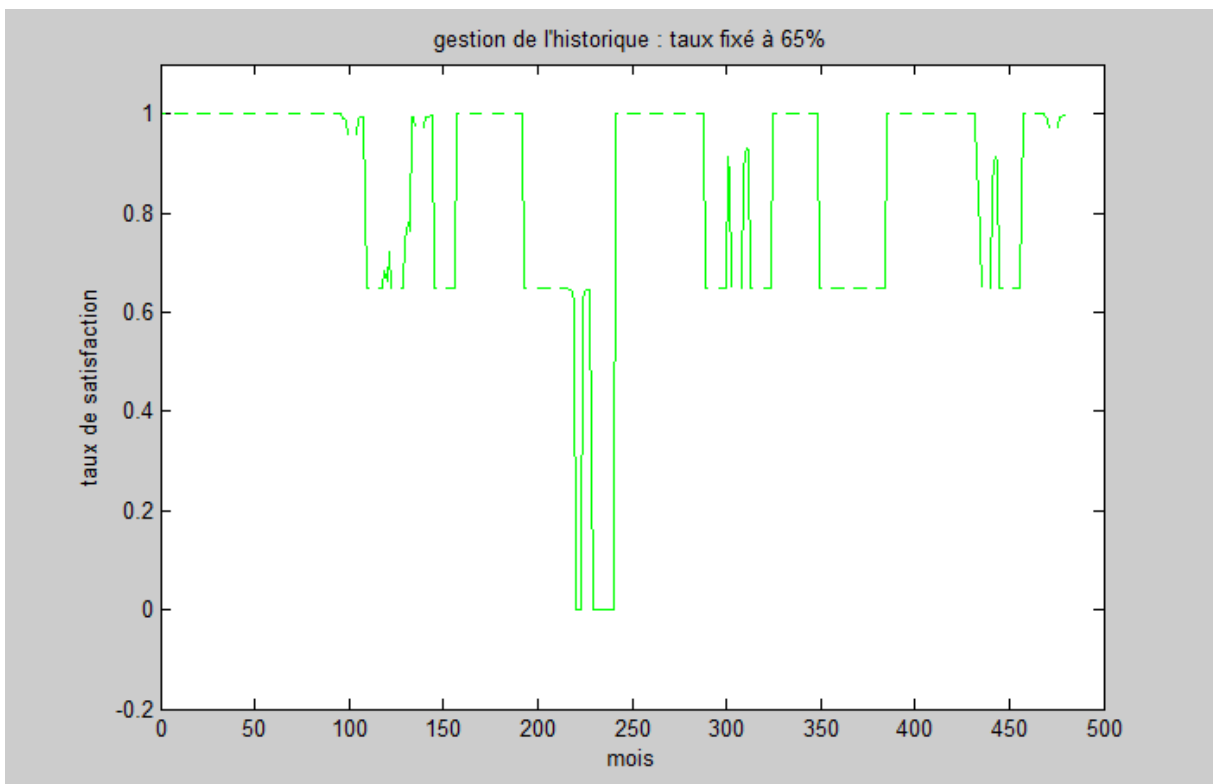
4. Pour un taux de satisfaction minimum = 65% :



Annexe n° I.4.1 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEP

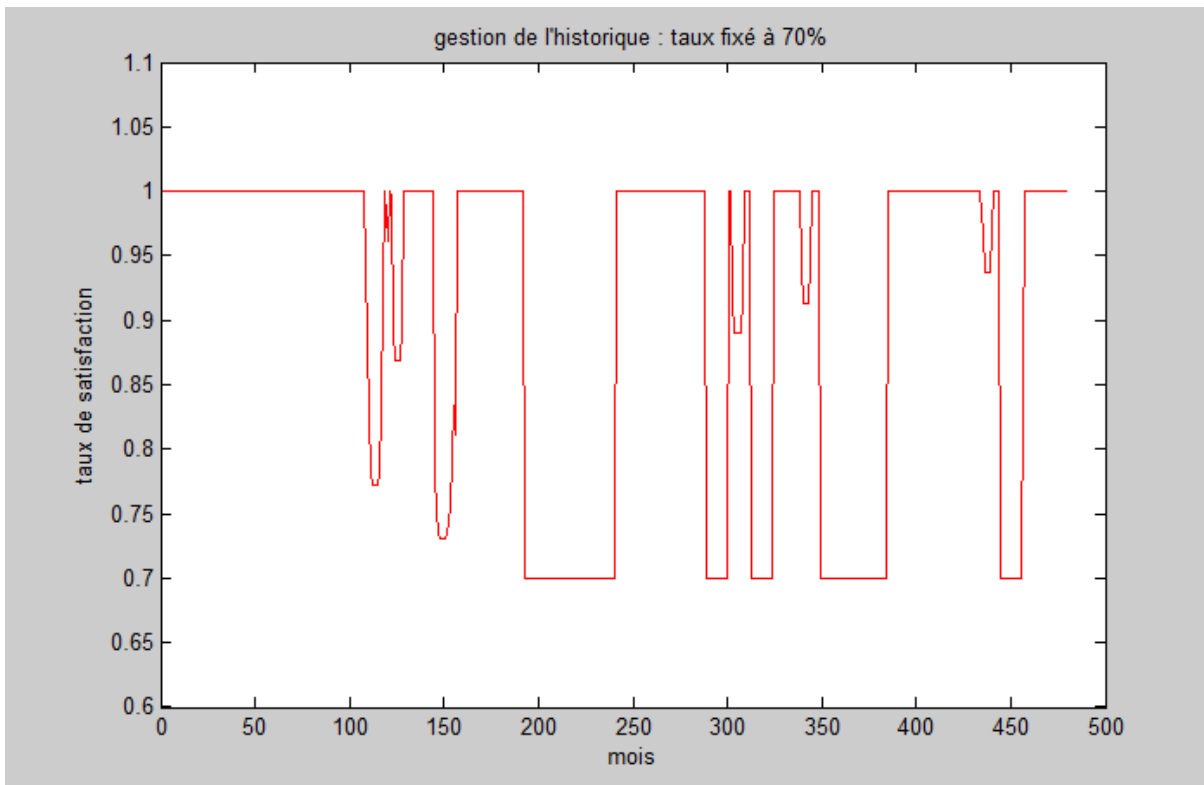


Annexe n° I.4.2 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEI

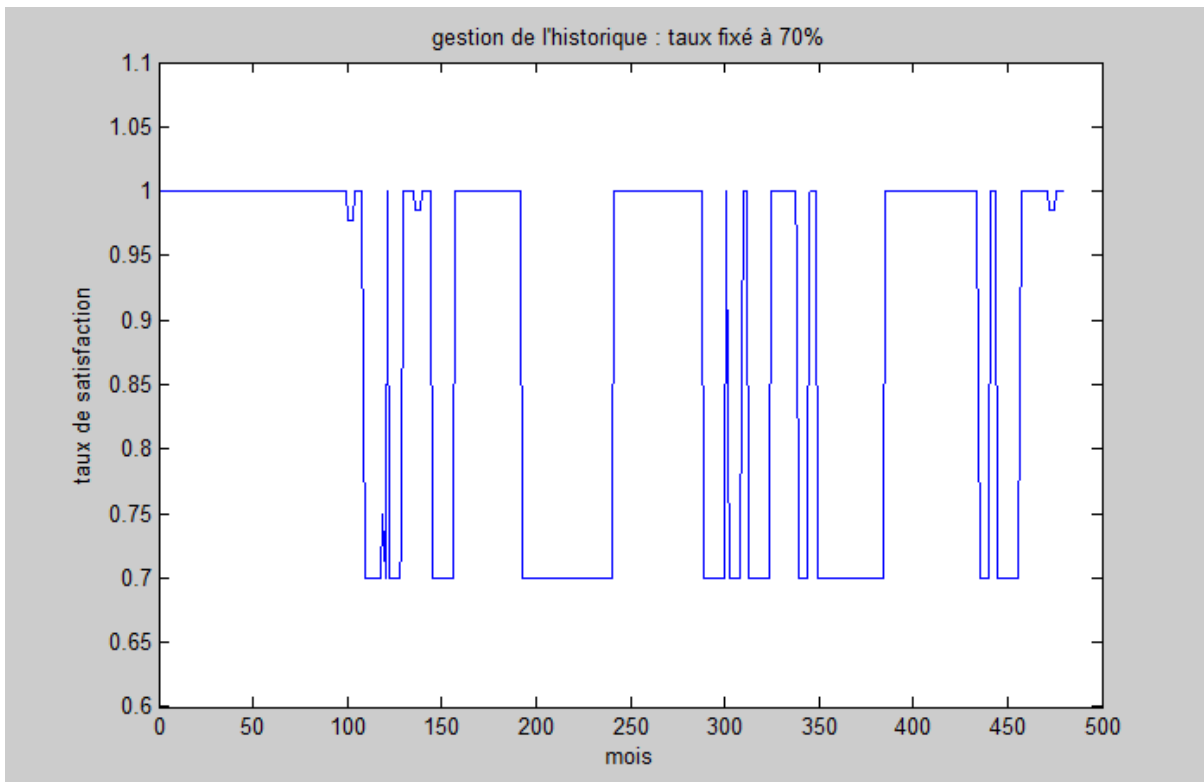


Annexe n° I.4.3 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEA

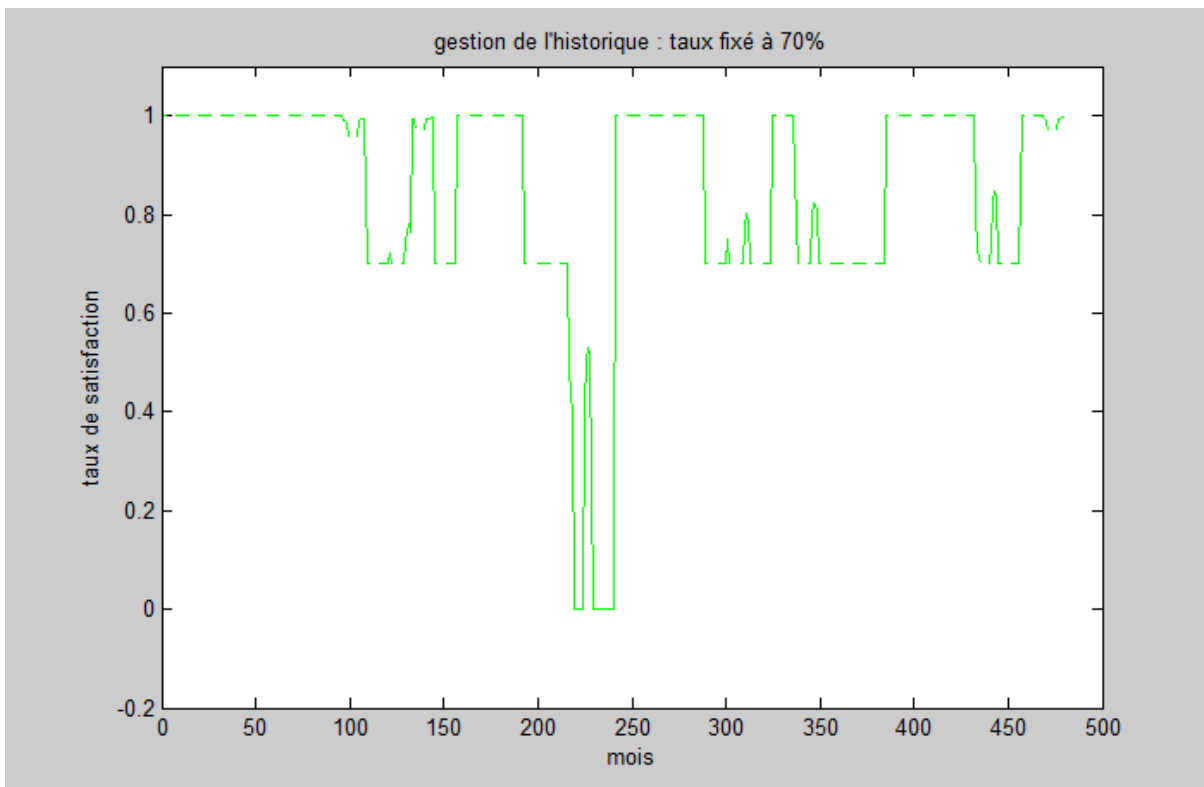
5. Pour un taux de satisfaction minimum = 70% :



Annexe n° I.5.1 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l’AEP

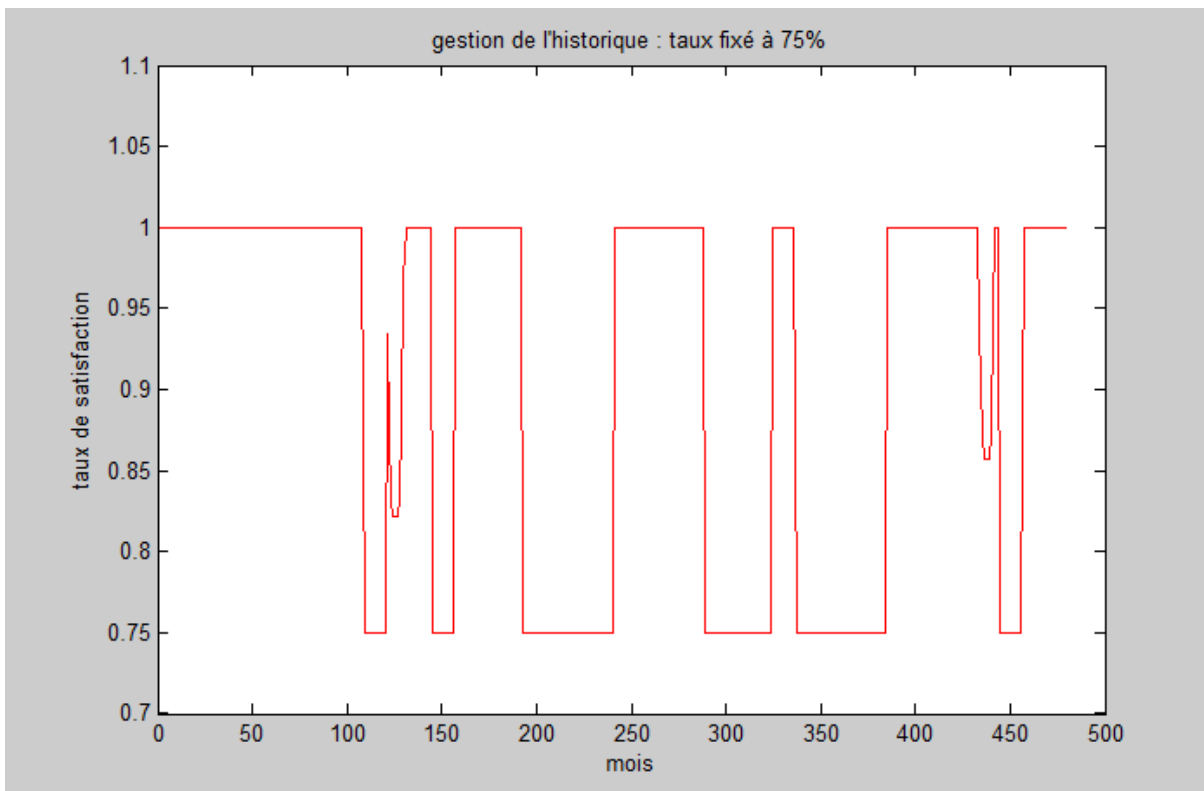


Annexe n° I.5.2 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l’AEI

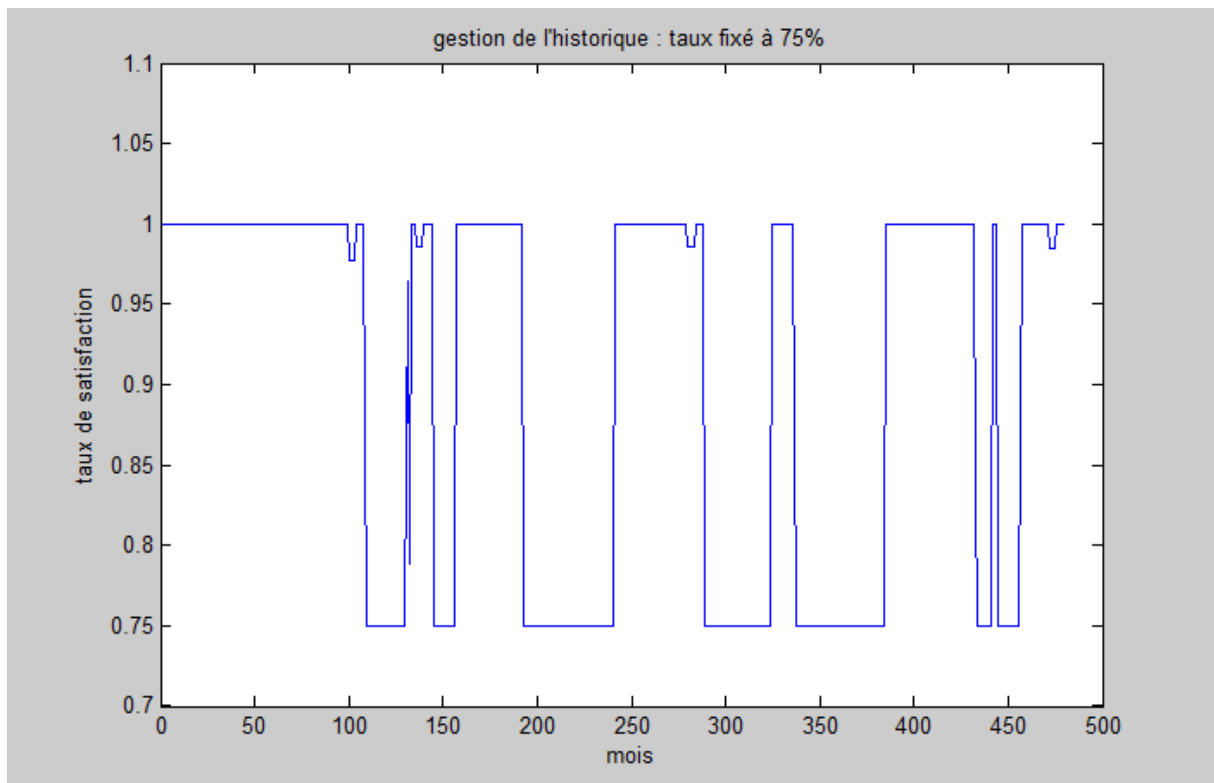


Annexe n° I.5.3 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l’AEA

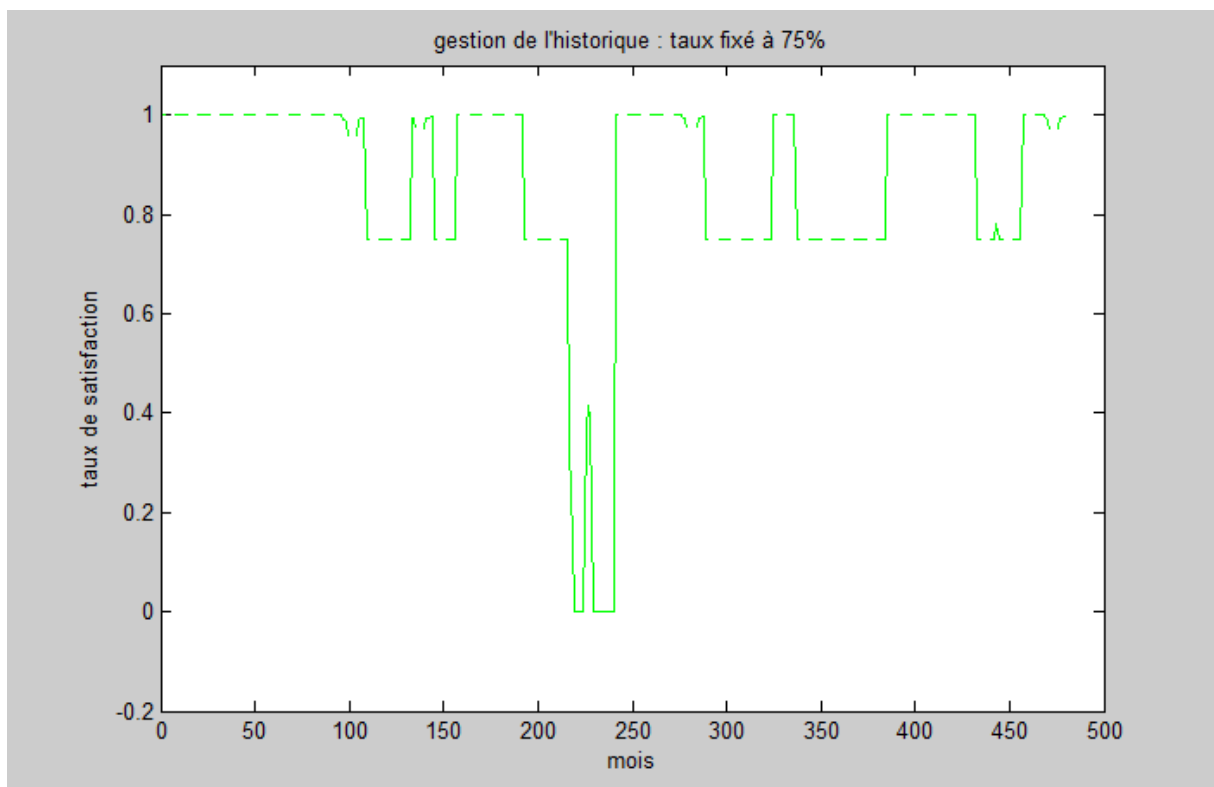
6. Pour un taux de satisfaction minimum = 75% :



Annexe n° I.6.1 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l’AEP



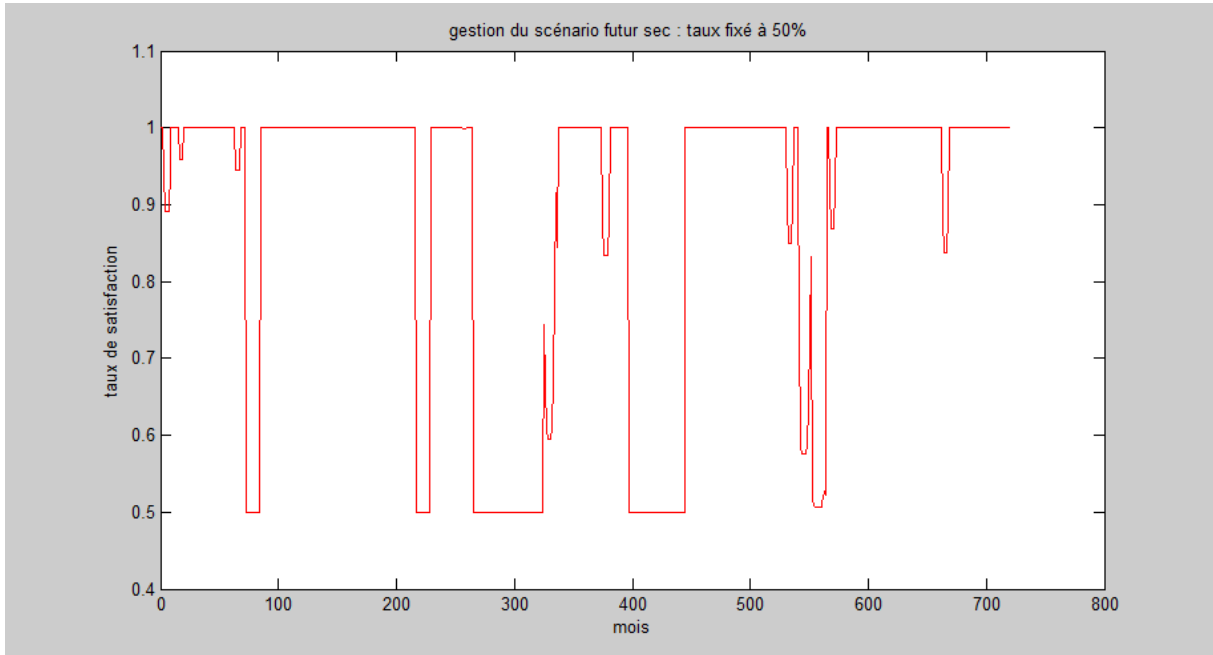
Annexe n° I.6.2 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEI



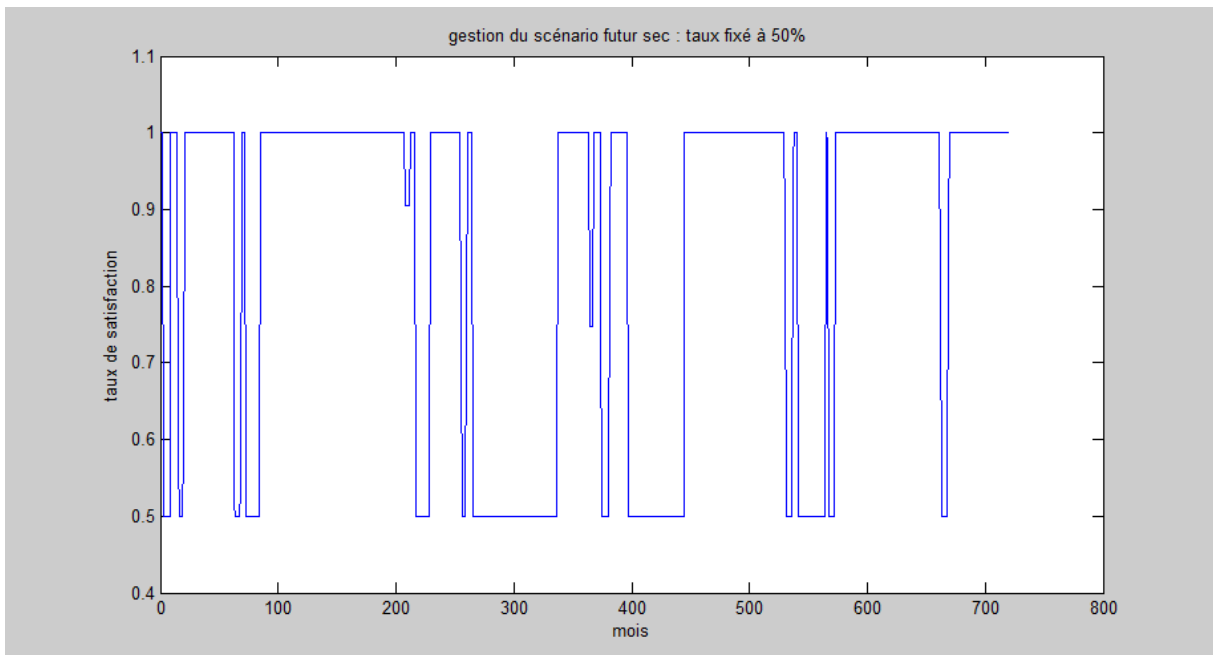
Annexe n° I.6.3 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEA

II- Résultats de la gestion du scénario futur

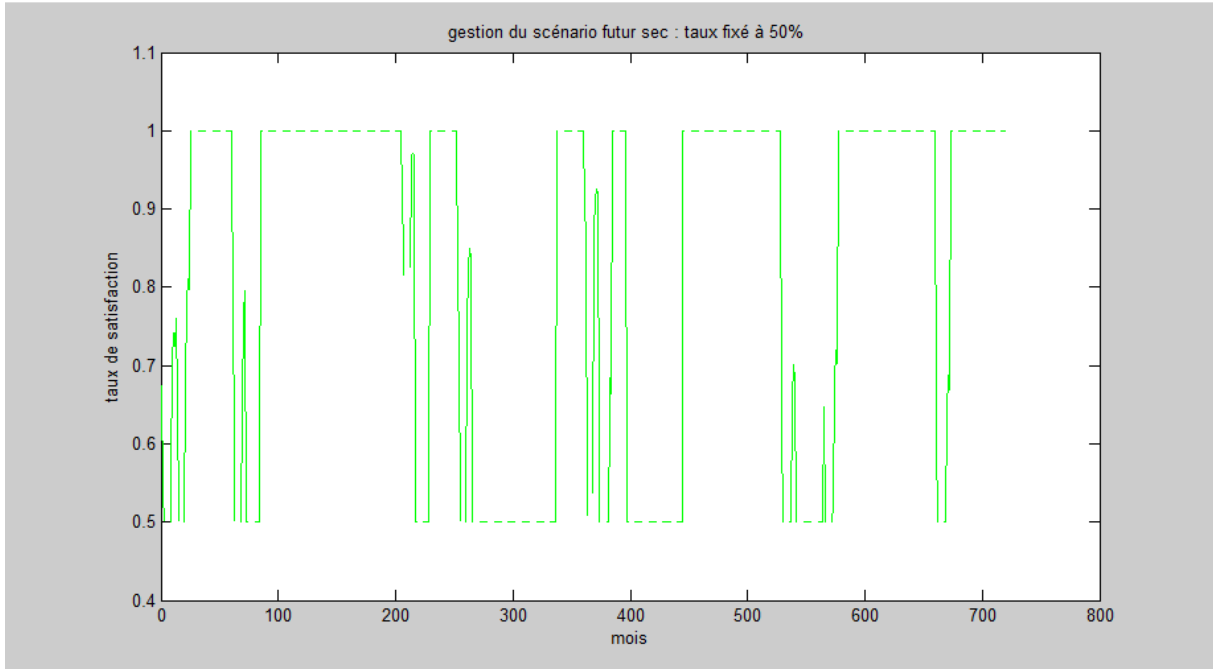
1. Pour un taux de satisfaction minimum = 50% :



Annexe n° II.1.1 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEP

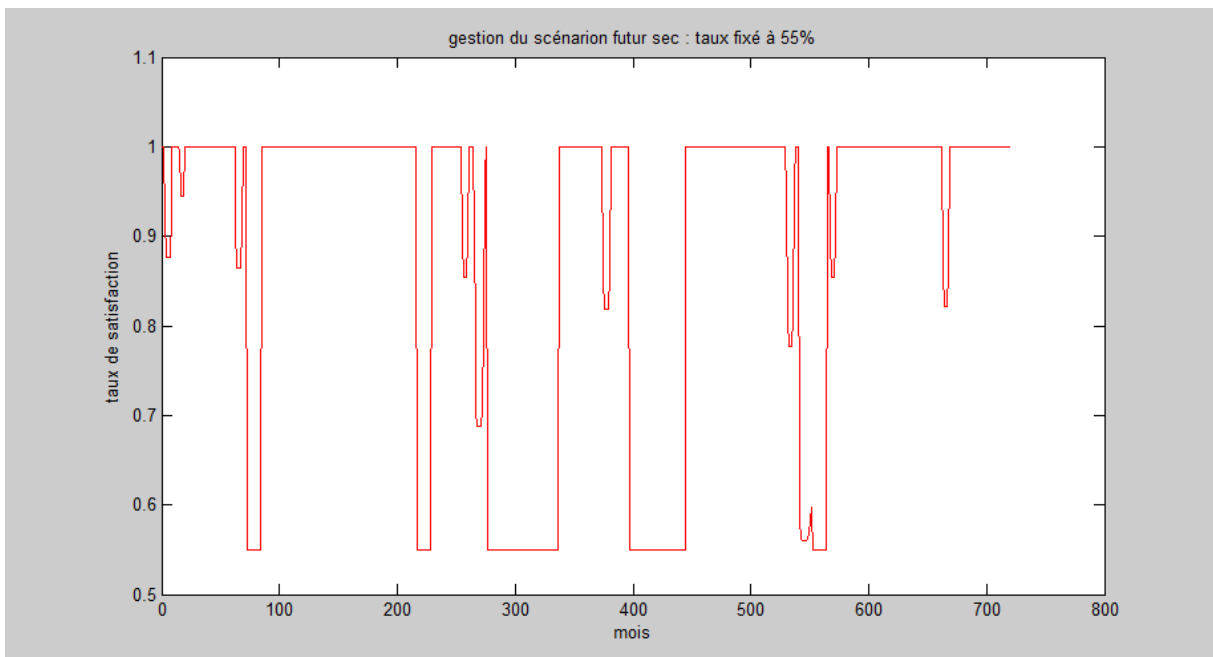


Annexe n° II.1.2 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEI

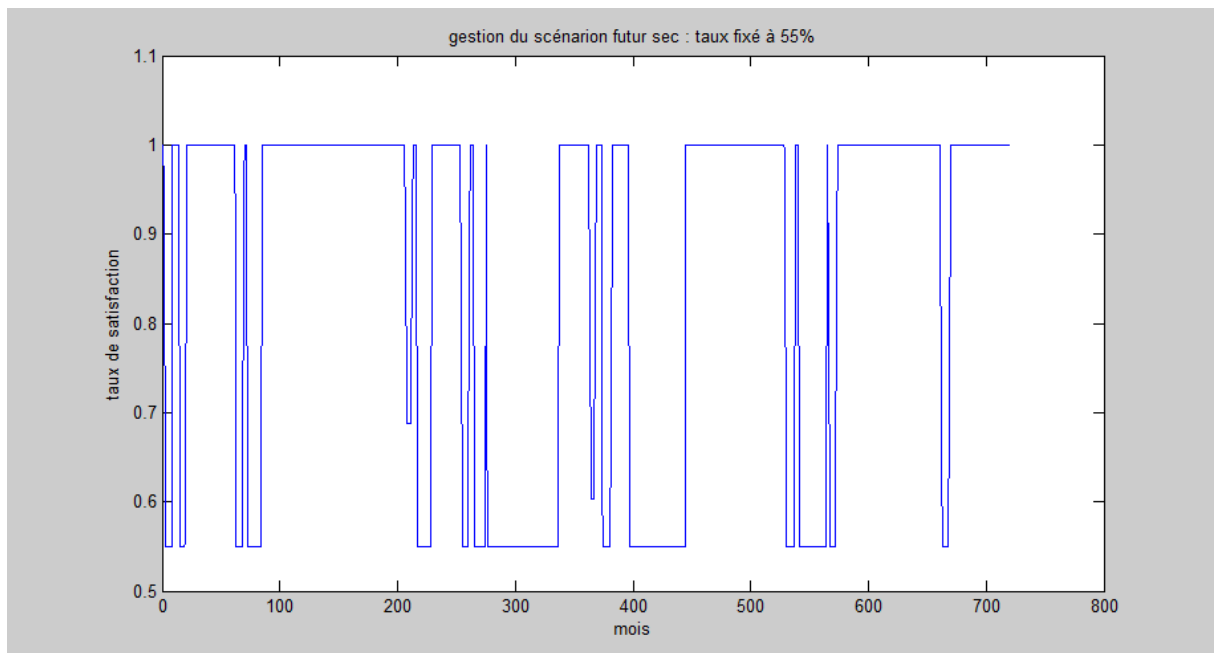


Annexe n° II.1.3 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEA

2. Pour un taux de satisfaction minimum = 55% :



Annexe n° II.2.1 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEP

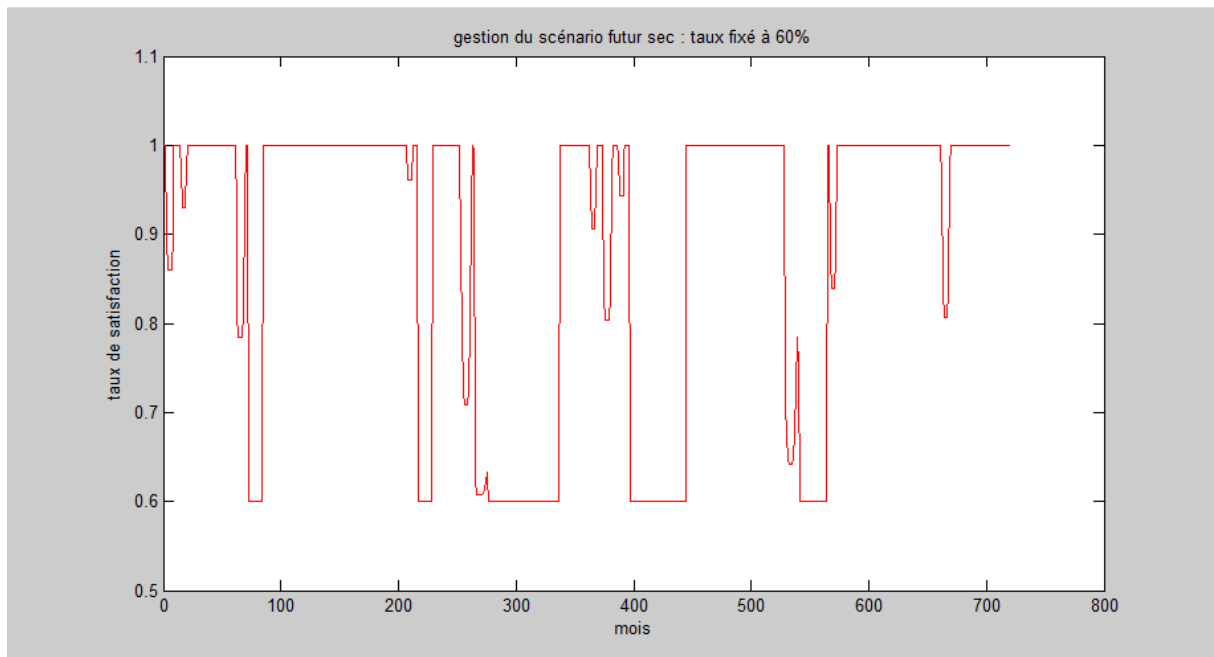


Annexe n° II.2.2 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEI

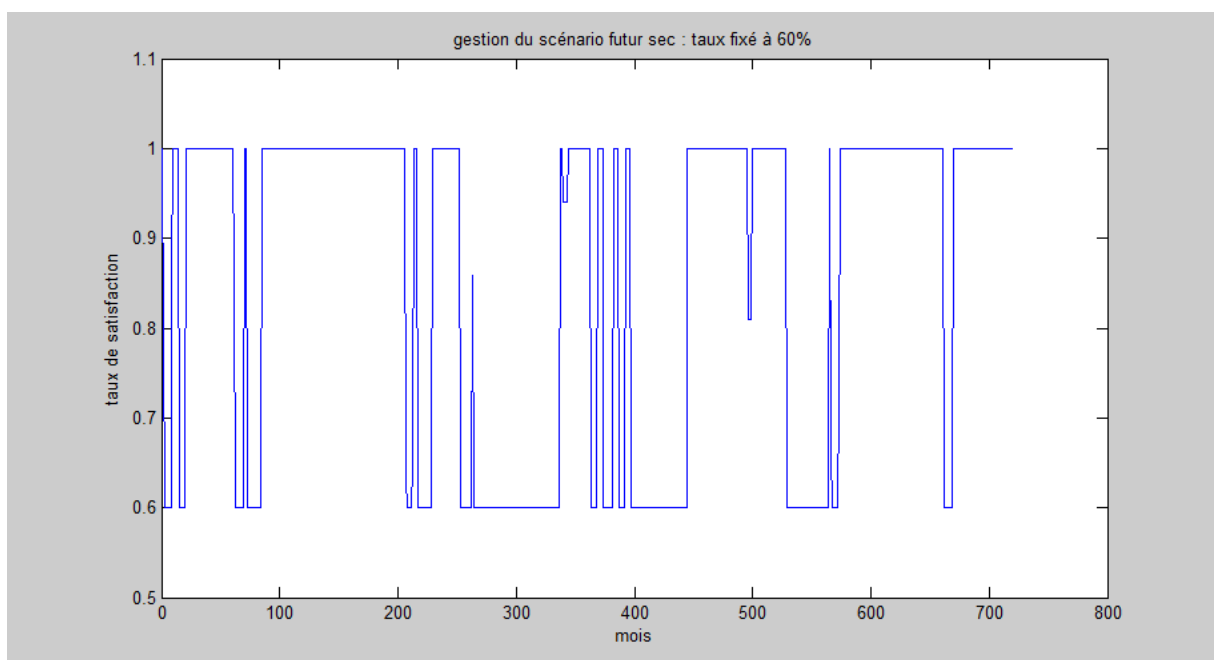


Annexe n° II.2.3 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEA

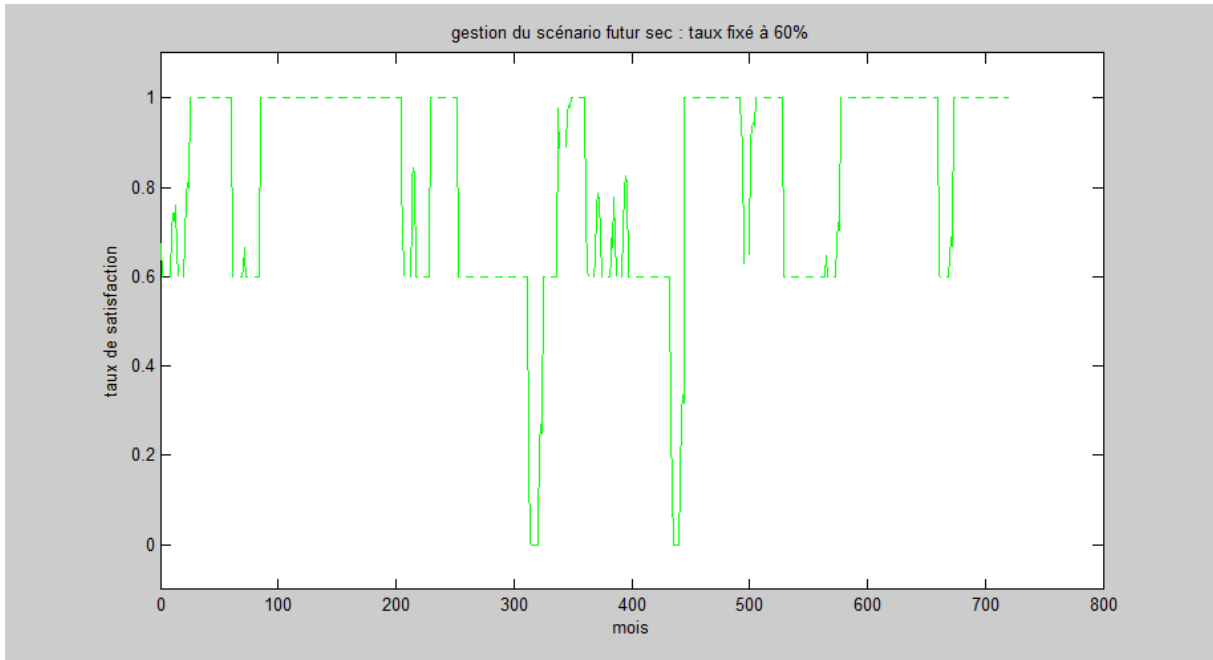
3. Pour un taux de satisfaction minimum = 60% :



Annexe n° II.3.1 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEP

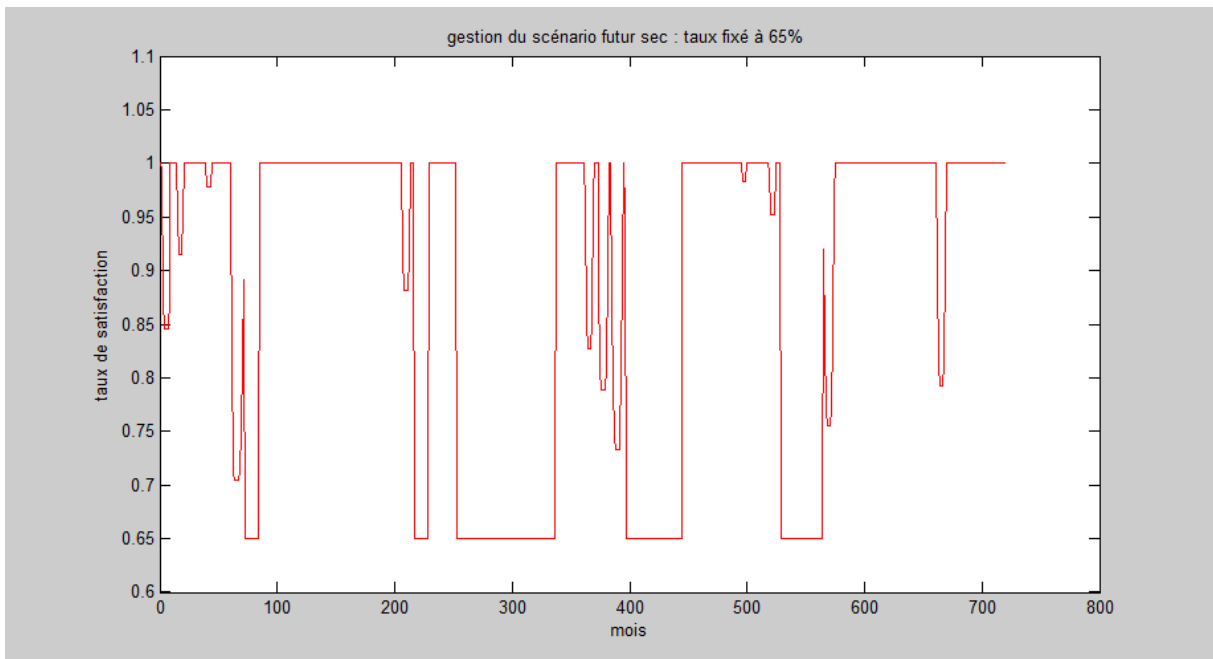


Annexe n° II.3.2 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEI

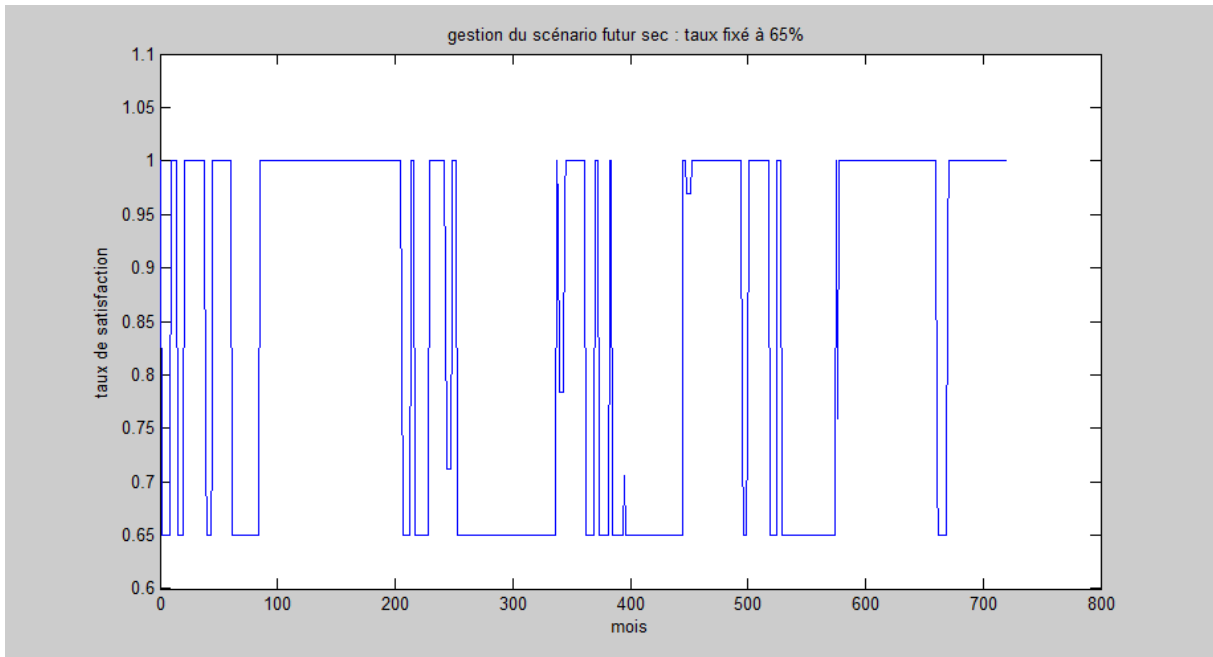


Annexe n° II.3.3 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEA

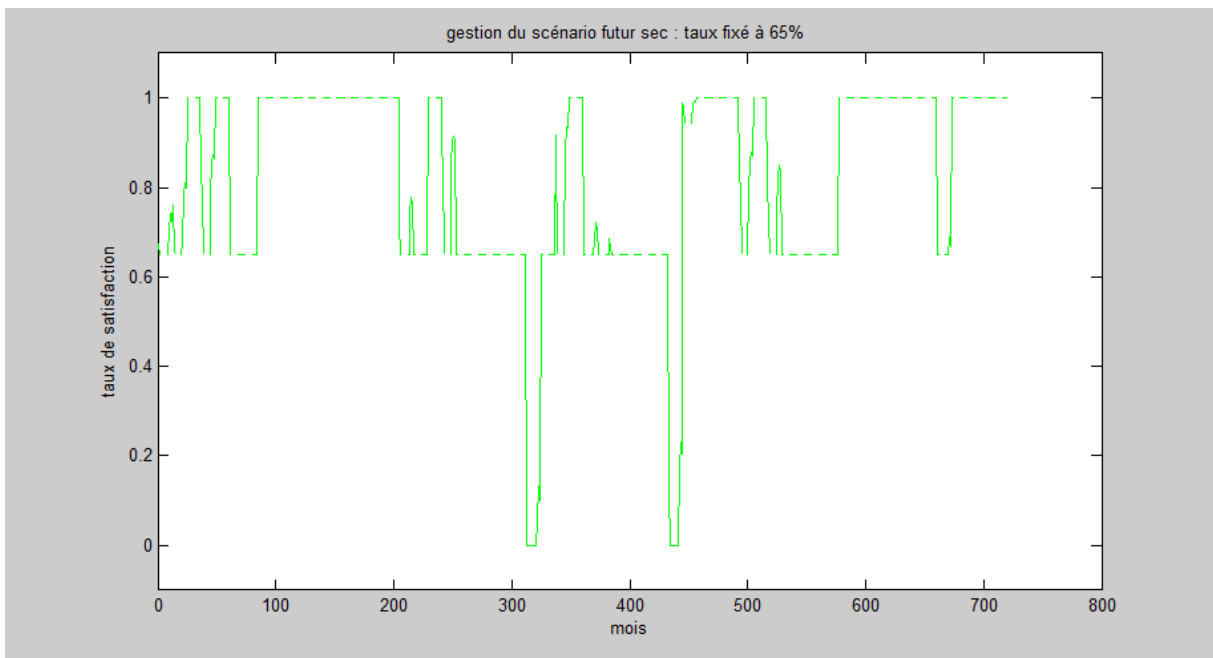
4. Pour un taux minimum fixé à 65% :



Annexe n° II.4.1 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEP

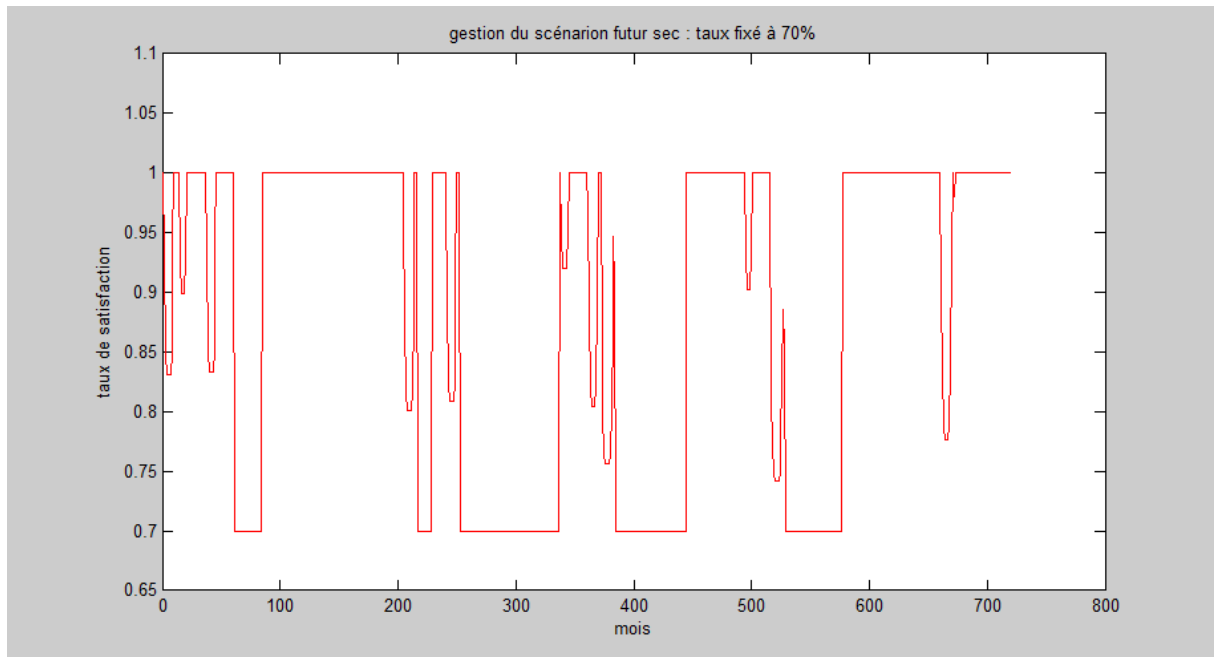


Annexe n° II.4.2 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEI

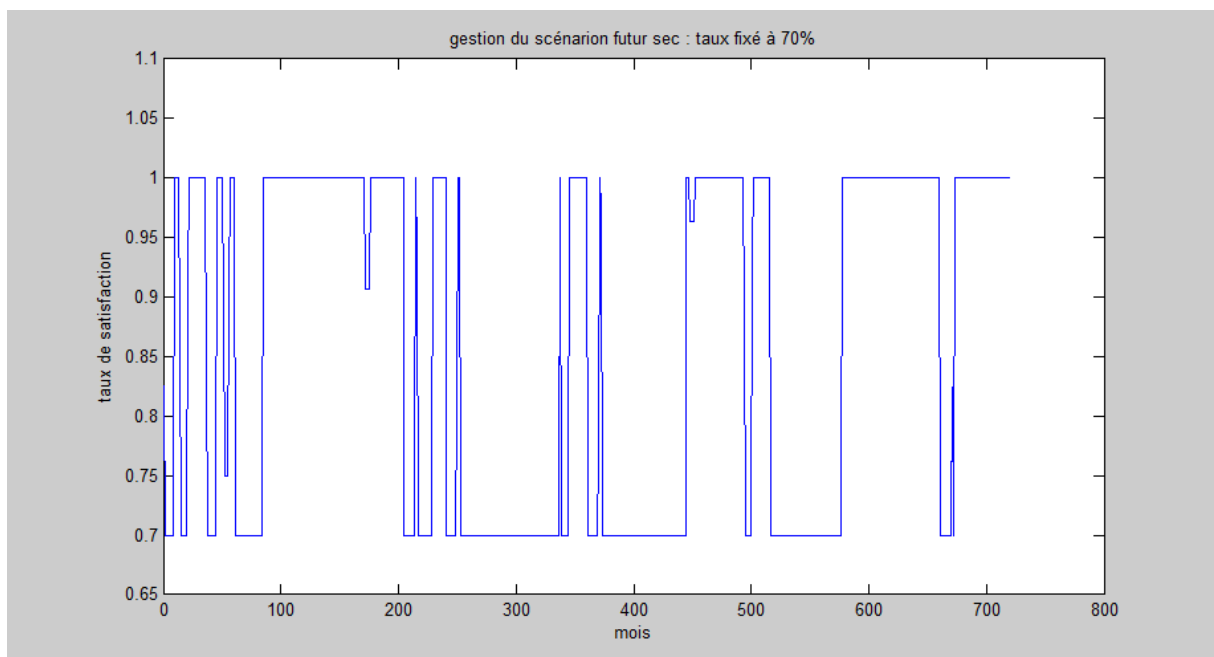


Annexe n° II.4.3 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEA

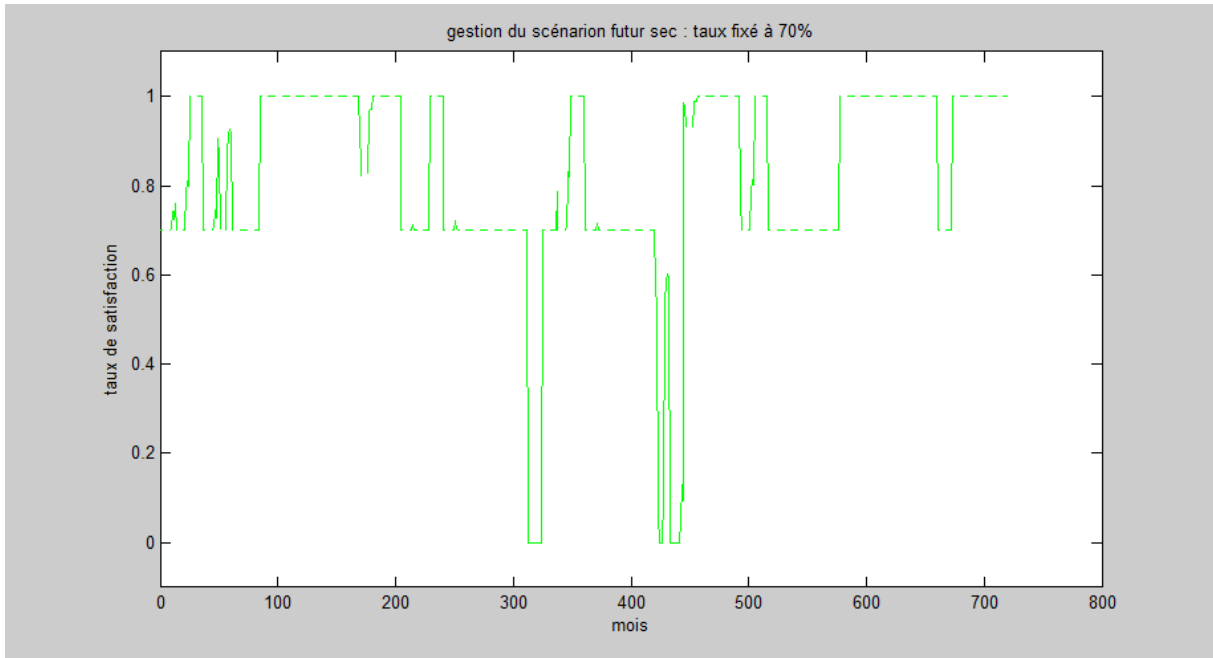
5. Pour un taux de satisfaction minimum fixé à 70%, on a :



Annexe n° II.5.1 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEP

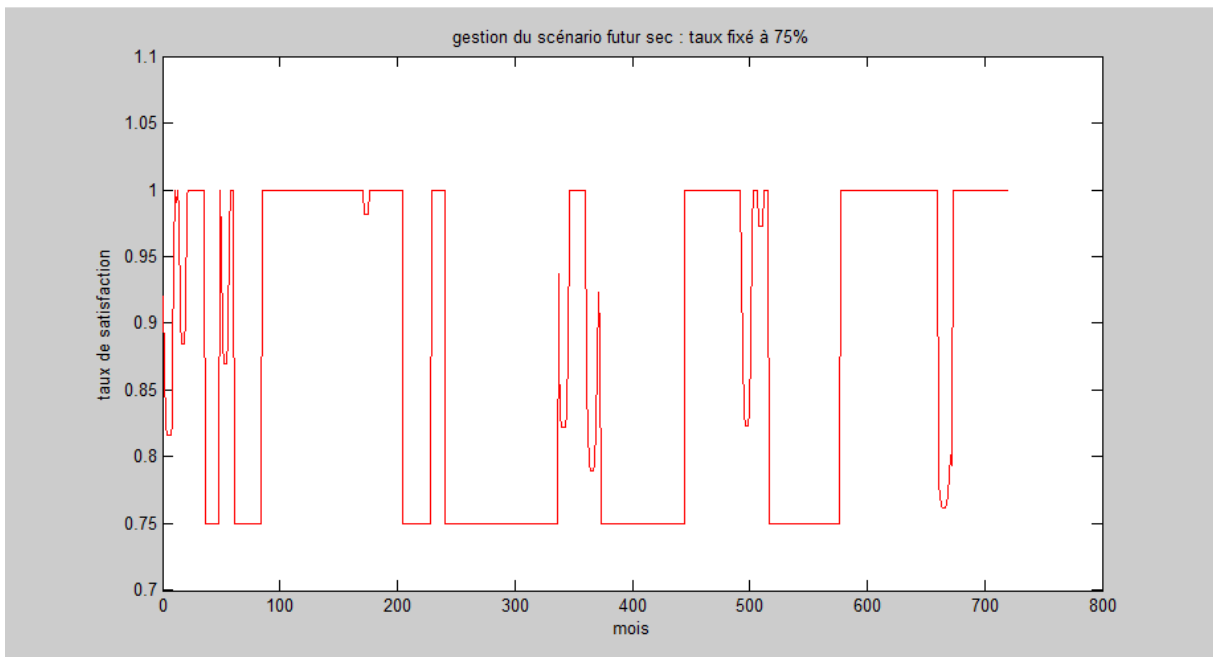


Annexe n° II.5.2 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEI

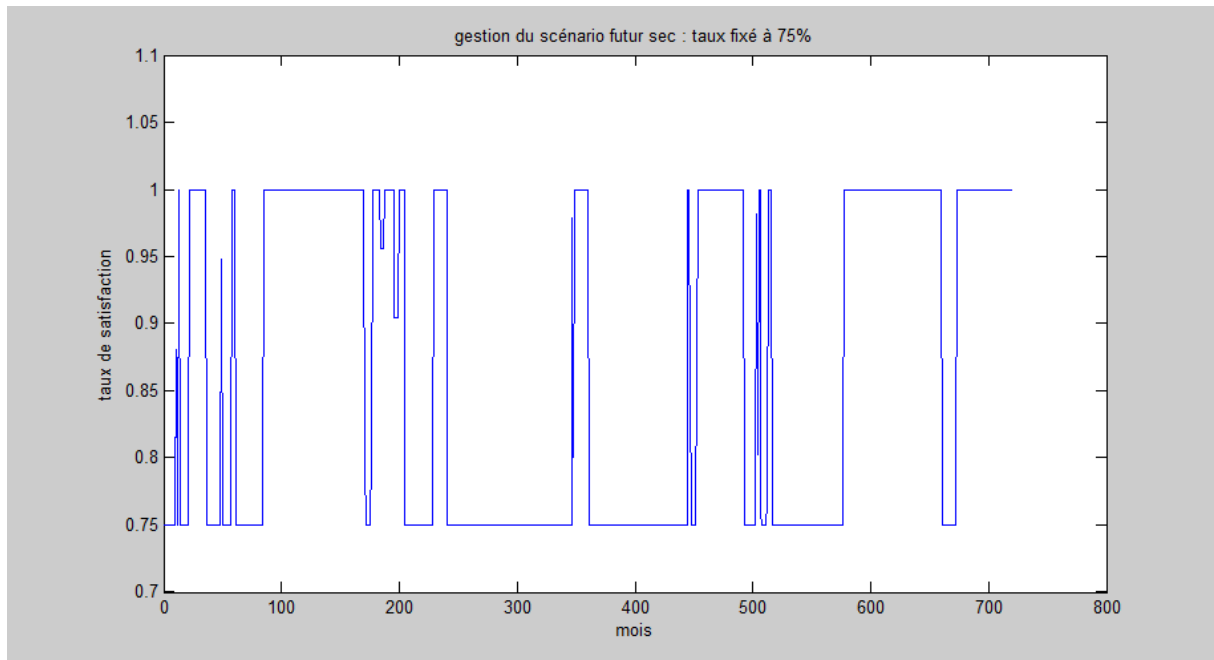


Annexe n° II.5.3 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEA

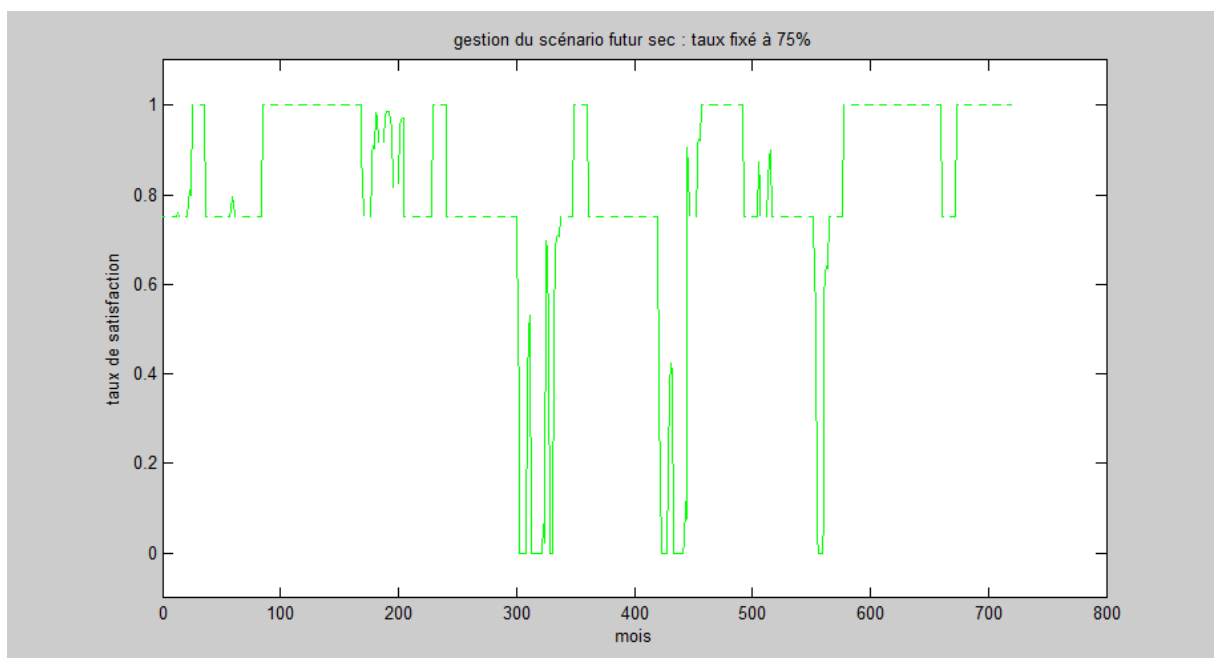
6. Pour un taux de satisfaction minimum fixé à 75% :



Annexe n° II.6.1 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEP



Annexe n° II.6.2 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEI



Annexe n° II.6.3 : Evolution des taux de satisfaction mensuels du secteur de l'AEA

Liste des figures

Figure n° I.1 : Définition de la période de gestion.....	6
Figure n° I.2 : Stratégie à adopter en fonction de V et Ap.....	10
Figure n° I.3 : Règles de gestion empirique.....	12
Figure n° I.4 : Evolution de la demande en eau industrielle.....	18
Figure n° I.5 : Processus d'optimisation selon Asimow [Balachandran, 1993].....	20
Figure n° II.1 : Présentation de la zone d'étude.....	22
Figure n° II.2. : Variation de la pluie mensuelle.....	25
Figure n° II.3. : Moyenne mensuelle interannuelle de la pluie.....	26
Figure n° II.4 : Apports passés au barrage de la CHEFFIA.....	27
Figure n° II.5 : Apports mensuels moyens au barrage.....	28
Figure n° III.1 : Comparaison entre les apports, la demande et 60% de la demande.....	40
Figure n° III.2. : Comparaison entre les apports, la demande et 65% de la demande.....	40
Figure n° III.3 : Comparaison entre les apports, la demande et 70% de la demande.....	41
Figure n° III.4 : Structure du modèle.....	42
Figure n° III.5 : Allocation annuelle historique pour l'AEP.....	44
Figure n° III.6 : Allocation annuelle historique pour l'irrigation.....	45
Figure n° III.7 : Allocation annuelle historique pour l'industrie.....	45
Figure n° III.8 : Etapes de calcul du programme.....	52
Figure n° IV.1 : Gestion de l'historique pour les trois secteurs confondus avec taux minimum = 50%.....	57
Figure n° IV.2 : Gestion de l'historique pour les trois secteurs confondus avec taux minimum = 52%.....	60
Figure n° IV.3 : Gestion de l'historique pour les trois secteurs confondus avec taux minimum = 60%.....	62

Figure n° IV.4 : Gestion de l'historique pour les trois secteurs confondus avec taux minimum = 65%.....	64
Figure n° IV.5 : Gestion de l'historique pour les trois secteurs confondus avec taux minimum = 70%.....	66
Figure n° IV.6 : Gestion de l'historique pour les trois secteurs confondus avec taux minimum = 75%.....	68
Figure n° IV.7 : représentation du scénario futur.....	71
Figure n° IV.7 : Gestion du scénario futur pour les trois secteurs confondus avec taux minimum = 50%.....	72
Figure n° IV.8 : Evolution des taux de satisfaction lors de la gestion du scénario futur avec taux minimum = 55%.....	74
Figure n° IV.9 : Evolution des taux de satisfaction lors de la gestion du scénario futur avec taux minimum = 60%.....	76
Figure n° IV.10 : Evolution des taux de satisfaction lors de la gestion du scénario futur avec taux minimum = 65%.....	78
Figure n° IV.11 : Evolution des taux de satisfaction lors de la gestion du scénario futur avec taux minimum = 70%.....	80
Figure n° IV.12 : Evolution des taux de satisfaction lors de la gestion du scénario futur avec taux minimum = 75%.....	82

Liste des tableaux

Tableau n° II.1 : Apports moyens annuels des principaux oueds.....	24
Tableau n°II.2 : Représentation des valeurs des crues.....	26
Tableau n°II.3 : Caractéristiques statistiques de l'évaporation mensuelle.....	29
Tableau n° II.4 : Evaporation mensuelle majorée.....	30
Tableau n° II.5 : Caractéristiques du barrage de la CHEFFIA.....	34
Tableau n° II.6 : Caractéristiques hydrologiques du barrage.....	34
Tableau n° II.7 : Caractéristiques des ouvrages de prise du barrage de la CHEFFIA.....	36
Tableau n° IV.1 : Résumé des résultats pour l'historique.....	70
Tableau n° IV.2 : Taux de satisfaction moyen par secteur.....	70
Tableau n° IV.3 : Résumé des résultats pour le scénario futur.....	83
Tableau n° IV.4 : Taux de satisfaction par secteur	84
Tableau n° IV.5 : Taux de satisfaction du secteur de l'AEP.....	84
Tableau n° IV.6 : évolution des taux de satisfaction de l'AEI en fonction du taux minimum fixé.....	85
Tableau n° IV.7 : évolution des taux de satisfaction de l'AEA en fonction du taux minimum fixé.....	85