



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahim B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement hydro -agricole

Intitulé:

Etude d'impact du phénomène d'évaporation sur la capacité de stockage d'un barrage : cas de barrage Ain Zada bordj Bou Arreridj

Présenté par :

Khadoumi Nadjet & Messoudane Sana

Soutenu le 25 / 06 / 2023, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	M. BENSEFIA Sofiane	M_	Université de B.B.A.
Encadrant :	M. HERIZI Toufik	M_	Université de B.B.A.
Co-Encadrant :	M. /Mme.	M_	Université de B.B.A.
Examineur :	M. BIBAK Mohamed	M_	Université de B.B.A.

Année universitaire 2022/2023

Dédicace

A mes très chers parents

Aucun mot saurait exprimer ma profonde gratitude et ma sincère reconnaissance envers les deux personnes la plus chère a cœur si mes expressions.

Pourraient avoir quelque pouvoir, j'en serais profondément heureuse. Je vous dois ce que

Je suis, vos prières et vos sacrifices mont comblé tout au long de mon existence.

Espère que ce travail sera à la hauteur de vos attentes et q un mon tour ; je vous témoignerai le respecte et l'appréciation que vous méritez que dieu tout puissant vous bénisse et vous accorde santé et bien-être.

A mes très chers frères, Fauad, Badr Eddin et Khair Eddin

Vous étiez pour moi plus que des frères je ne saurais trouver une expression témoignant de ma reconnaissance et des sentiments de fraternité que je vous porte.

A mes très chères sœurs Amel et Saida

Avec toute mon affection, je vous souhaite tout le bonheur et toute la réussite ; trouvez dans ce travail, mon estime, mon amour et mon respect .que Dieu vous procure

Bonheur, sante et grand succès.

A mes amis et collègues

A tous les moments qu'on a passé ensemble, à tous nos souvenirs je vous souhait a tous longue vie pleine de bonheur et de prospérité .je vous dédie ce travail en témoignage de ma reconnaissance et de mon respect.

Pour ma petite fille et princesse yakin, pour moi.

Nadjet .K

Dédicace

Louange à dieu et prières sur l'élue bien-aimée

sa famille et ceux qui ont accompli sa foi ; loué soit dieu qui nous a permis de franchir cette étape de notre cheminement académique avec notre mémoire .celui-ci est le fruit de l'effort et fruit de l'effort et de la réussite ; grâce à lui le tout puissant .il est dédié aux personnes les plus chères ;les honorables parents qui ont veillé sur l'éducation et leurs prières ont le plus grand impact en guidant l'envahissante Recherche jusqu'à ce qu'il accoste sur cette image .

Mon mari est la joie de mes yeux ; qui était mon soutien et a facilité toutes les difficultés et ma position dans cet endroit n'aurait pas lieu sans ses encouragements continus envers moi.

À ma fleur et à mon foie ma chère fille qui a été privée de moi pendant toute la période des études.

A mes frères et ceux avec qui j'ai partagé toute ma vie ; en particulier mon frère karim vous êtes mon précieux bijou et mon précieux trésor que dieu vous protège de tout mal.

Vous mon professeur avez des mots de gratitude, d'amour que dieu vous récompense pour ce que vous avez fait en nous enseignant et vous bénisse pour votre sagesse.

A tous les membres de honorable famille, en particulier mes grand-mères que dieu prolonge leur vie.

A tous mes chers amis et à tous ceux que j'ai connus dans ma carrière universitaire en particulier les enseignants et les professeurs et à tous ceux qui ont écrit une lettre.

Sana .M

REMERCIEMENT

Au terme de la rédaction de ce mémoire remercions Dieu qui nous avoir toujours données la force de passer à travers toutes les épreuves et les découragements nous avoir aidées à mener à terme cette recherche.

Nous remercions sincèrement notre directeur de mémoire: Dr .Toufik Herizi.

Pour la gentillesse et la spontanéité avec lesquelles vous avez bien voulu diriger ce travail.

Nous avons le grand plaisir de travailler sous votre direction, et avons trouve auprès de vous le conseille et le guide qui nous a reçu en toute circonstance avec sympathie, sourire et bienveillance.

On remercier tous ceux qui ont donné la moindre de chose, tous ceux qui nous données la main, mémé d'un Simple encouragement.

Merci à tous

Table de matières

Introduction générale.....	1
➤ <i>Chapitre I- Recherche Bibliographique</i>	3
I.1- Introduction	3
I.2 - L'importance de construction des barrages dans le monde	4
I.3- Les facteurs influant sur le phénomène d'évaporation.....	5
I.4- L'estimation des pertes d'eau dans un barrage	6
I.4.1- La méthode de mesures par les évaporimètres	8
I.4.2- La méthode de pulsations.....	8
1.4.3- La méthode du bilan hydrique	9
I.4.4- La méthode du bilan thermique	9
I.4.5- La méthode de la diffusion turbulente	10
I.4.6- Le calcul de l'évaporation par les formules empirique	11
<i>Model de Romank 1961</i>	12
<i>Model de Papadakis 1972</i>	13
<i>Model de Boutautao 1995.....</i>	13
<i>Model de Xiaoliu 2016</i>	13
I.5- Rôle d'évaporation dans le bilan hydrique	13
I.6- L'impact le phénomène d'évaporation sur la capacité de stockage	14
➤ <i>Chapitre II- Présentation de la zone d'étude et analyse des données utilisées</i>	18
II.1- Introduction	18
II.2 -Présentation de la zone d'étude	18
II.3 -Situation géographique de wilaya de bordj Bou Arreridj	18

II.4 -Situation climatique	19
II.4 .1-Température	20
II.4.2 – Évaporation	20
II.4.4 – Pluviométrie	20
II.5 -Réseau hydrographique	22
II.6-Présentation de la zone de barrage Ain Zada	22
II.7 -La caractéristique du barrage Ain zada	23
II.8 -Analyse des données utilisées	24
II.8.1 -Test d'homogénéisation	25
II.8 .2 -Etude de phénomène d'évaporation à Ain Zada	26
II.8 .3- Etude de l'autocorrélation d'évaporation mensuelle au barrage d'Ain Zada	27
II.8. 4 - Analyse de la dépendance entre l'évaporation et la température de l'air et du volume d'eau	29
II.8.5 - Evaluation de la quantité évaporée	30
II.8. 6 -Estimation de volume des pertes par évaporation	30
Conclusion	33
➤ Chapitre III- Prédétermination de volume évaporé et analyse et discussion des solutions adéquat es.....	34
1- Introduction	34
2- Prédétermination d'évaporation	34
3- Validation de nouveau model et estimation des erreurs	36
4 - Les solutions agrément pour lutter contre l'évaporation	37
A- Les méthodes physiques	38
A.1- Méthodes physiques de réduction de l'évaporation qui utilisent des couvertures flottantes	38
A.2- Méthodes physiques de réduction de l'évaporation qui utilisent des couvertures suspendues	39
Méthodes chimiques pour réduction de l'évaporation	40

B- Méthode de couvertures biologiques	40
5- Notre approche adoptée pour la conservation du barrage contre le risque d'évaporation.....	43
Conclusion	43
Conclusion générale	45
Référence bibliographiques	

Liste des Tableaux

Tableau II.1- Températures moyennes mensuelles et annuelles.....	19
Tableau II.2- Les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation.....	20
Tableau II. 3- Les variations concernant les moyennes mensuelles et annuelles.....	20
Tableau II. 4- Répartition des stations météorologiques à travers la ville de B.B.A.....	20
Tableau II. 5- les moyennes mensuelles et totales annuel des précipitations	21
Tableau II. 6- Cote-surface de barrage Ain Zada	24
Tableau II. 7- Valeurs de l'évaporation mesurée, en mm au niveau du barrage Ain Zada	24
Tableau II. 8- Valeurs de température en °C au niveau de station Ain Zada	28
Tableau II.9- Les volumes mensuels mesurés du site Ain Zada en Hm ³	28
Tableau II. 10- Estimation de volume des pertes par évaporation	32
Tableau III. 1- Comparaison des résultats	37

Liste des figures

Figure II. 1- Diagramme des précipitations moyennes mensuelles	21
Figure II. 2 - Répartitions spatiale de la précipitation au niveau de la wilaya de Bordj Bou Arreridj	22
Figure II. 3- Une photo d'en haut montrant la morphologie du barrage.....	23
Figure II.4 Variation chronologique d'évaporation du plan d'eau mensuelle à Ain Zada	27
Figure II.5 - Variation mensuelle de l'évaporation du plan d'eau, à Ain Zada	27
Figure II. 6- Graphe de dépendance de l'évaporation des mois contigus	28
Figure II.7 - Relation entre valeurs de l'évaporation moyenne mensuelle calculées et mesurées ...	30
Figure II. 8- Graphe de la relation $\bar{S} = f(\bar{V})$	31
Figure II. 9- Proportion entre le volume et la lame d'eau d'évaporation au niveau du barrage	33
Figure III.1- Corrélation entre E_{vi+1} et E_{vi}	35
Figure III. 2- Les couvertures continues flottantes	38
Figure III. 3- Les couvertures flottantes modulaires	39.
Figure III.4- Technique de Toile d'ombrage contre l'effet d'évaporation	40
Figure III.5- Réduction de l'évaporation par l'injection des produits chimiques (Saggai et al., 2016).....	41
Figure III.6- Schéma pour la technique de plantes flottantes	42
Figure III.7- Schéma pour la technique de brise-vent	43

Liste d'abréviation

- N_o – Les moyennes de la valeur N
- N' – son complément de pulsation
- ρ – La densité de l'air
- u' et q' – pulsion correspondant à la vitesse du vent et l'humidité spécifique de l'air
- E_{eau} – L'évaporation de la surface de l'eau
- x – Les précipitations tombant sur la surface de l'eau
- y_1 et y_2 – l'afflux et le reflux des eaux superficielles
- g_1 et g_2 – l'afflux et le reflux des eaux souterraines
- ΔH – La variation du niveau de l'eau dans le barrage
- L – chaleur latente spécifique de la vapeur
- E – évaporation
- P – échange turbulent de chaleur entre la surface d'eau et l'air
- B – échange de chaleur entre la surface d'eau et les couches inférieures de l'eau
- E - intensité horaire de l'évaporation, en mm/h
- R - bilan de radiation (bilan de radiation = évaporation \times chaleur latente de l'évaporation + le flux de la chaleur vers le sol + le flux de la chaleur de la surface vers l'atmosphère et B (le flux de la chaleur vers le sol)
- Δt – différence des températures de l'air aux hauteurs 0.5 et 2 m, Δe - différence de la tension de vapeur d'eau aux hauteurs de 0.5 et 2 m
- ω_1 – la vitesse du vent à la hauteur de un m
- E' et e_2 – les tensions de la vapeur d'eau saturée et la pression partielle à la hauteur de 2 m
- E – lame d'eau évaporée, en mm/j
- ε_o – le coefficient dépendant de la vitesse du vent
- ETP – évaporation potentielle ($ETP = \frac{R_o}{L}$, avec R_o - bilan de radiation moyen d'une surface humide)
- L - chaleur spécifique de la vapeu

- W_1 et W_2 – réserves d'humidité dite dans la couche de un mètre du sol, au début et la fin de l'intervalle de temps choisi, pour le calcul de l'évaporation
- n – paramètre caractérisant le type de relief
- P_o – précipitations moyennes interannuelles
- E - évaporation (mm)
- t_{moy} - la température moyenne ($^{\circ}C$)
- H_R - humidité relative %
- e_s - max et e_s min- vapeur saturée pression au maximum et minimum température de l'air (Pa)
- d - nombre de jour de mois
- n - nombre de jour de mois considéré,
- D - déficit de saturation dans l'aire (mb ; millibar)
- v - vitesse de vent (m/s)
- $u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ - représente la valeur de la variable centrée réduite de Gauss correspondant à une probabilité de $1-\frac{\alpha}{2}$

- ξ - L'évaporation moyenne interannuelle
- V_{eva} - volume mensuel d'eau évaporée, en m^3

- 0,001 - coefficient de conversion
-
- $E_{v,i+1}$ - lame d'évaporation en valeur absolu du mois $i+1$, en mm
-
- $E_{(vi+1)c}$ - Evaporation calculée par le model proposé,
- $E_{(vi+1)m}$ - Evaporation mesurée dans le barrage
- V_{eva} - volume mensuel d'eau évaporée, en m^3
- 0,001 - coefficient de conversion
- E_v - la lame d'eau évaporée en mm
- \bar{S} - surface moyenne du plan d'eau, dans le barrage, durant le mois, en m^2
- \bar{V} - volume d'eau moyen du barrage, durant le mois, en m^3

- V_i - volume moyen du barrage du mois en cours i , en Hm^3
- \bar{t}_i - température moyenne de l'air du mois en cours, en $^{\circ}C$
- Δ_{Ev} - Erreur comise %
- $E_{(vi+1)c}$ - Evaporation calculée par le model proposé
- $E_{(vi+1)m}$ - Evaporation mesurée dans le barrage
- ANBT : Agence Nationale des Barrages et des
- ONM : office National de la Météorologie

Introduction générale

Introduction

Bien que l'eau couvre plus de 70% de la Terre, seulement 1% de l'eau de la Terre est disponible pour la consommation (**Aminzadeh, 2018**) ; De plus, la croissance démographique, la pollution et le réchauffement climatique exercent une pression sans précédent sur les ressources en eau disponibles de la Terre ; par conséquent, le coût de l'eau dans de nombreux pays du monde au climat aride ou semi-aride a considérablement augmenté au cours des dix dernières années. L'évaporation est l'un des processus environnementaux les plus importants qui peuvent réduire la qualité et la quantité d'eau disponible pour les usages industriels, agricoles et domestiques ; par conséquent, les pertes par évaporation deviennent un défi essentiel pour l'efficacité du stockage et de l'approvisionnement en eau et dans de nombreuses régions du globe (**Babu et al., 2010**).

L'évaporation est le processus de migration de l'eau de la surface du plan d'eau du barrage dans l'atmosphère. Puisque entre la surface d'eau et l'atmosphère il y a un échange continu de molécules d'eau dans les deux sens. La résultante de cet échange représente l'évaporation (**Saggai et al., 2015**).

La mobilisation des ressources en eau en Algérie rencontre un certain nombre de contraintes :

- L'Algérie est située dans la région semi-aride ou aride. Ce type de zone se caractérise par des températures élevées, notamment avec les récents changements climatiques auxquels le monde assiste ces derniers temps, en plus du soufflage des vents chauds du sirocco, avec la contribution des grands incendies de forêt au doublement du volume d'évaporation à des degrés record. Le décideur dans ce cas a deux choix, soit approvisionner la population en eau et consommer le volume existant sans économie. Soit en économisant l'alimentation en eau potable du barrage et en la laissant pour l'été, dans ce cas les quantités restantes sont s'exposés à des pertes par évaporation. Le décideur en Algérie n'a pas pensé à trouver des solutions efficaces pour faire face au phénomène d'évaporation. Au lieu de préserver ce qui est disponible, l'approche

directe de la technologie de dessalement de l'eau de mer a été menée, ce qui entraîne des coûts exorbitants et des répercussions sur le milieu marin.

- Les eaux de surfaces sont caractérisées par une forte irrégularité dans le temps et dans l'espace. Il pleut beaucoup plus en hiver qu'en été, et beaucoup plus à l'est du pays qu'à l'ouest. Leur qualité physico-chimique est souvent médiocre d'après le rapport sur la rencontre nationale sur l'eau, Alger 18 et 19 Décembre 1993 (**Achi, 1993**).
- Les transports solides sont importants, ce qui pose problèmes d'envasement des barrages et des canaux, détérioration rapides des pompes (Sari Ahmed, 2002).
- Les eaux souterraines sont caractérisées par une forte minéralisation dans certaines zones de la steppe et du Sahara. Les eaux souterraines de Sahara, provenant des nappes profondes, sont chaudes (plus de 60°C parfois), ce qui nécessite leur refroidissement avant leur utilisation et qui n'est pas chose aisée. De plus, ces eaux ne se renouvellent pas, ce sont des eaux fossiles. Alors se pose la question concernant le choix difficile suivant : faut-il exploiter cette eau maintenant ou faut-il la laisser aux générations futures s'il y a partage, quel en sera le mode opératoire? (**Ladjel, 2005**).

Cette étude vise à tirer la sonnette d'alarme concernant le problème de phénomène d'évaporation et son impact sur la capacité de stockage des barrages. Contribuer à l'adoption de certaines solutions approuvées pour réduire l'impact de ce phénomène, nous prenons le barrage d'Ain Zada à Bordj Bou Arreridj comme un exemple.

Pour mener ce travail, nous l'avons organisé en trois chapitres: le premier chapitre consacré aux notions de base et aux rappels des lois de calcul d'évaporation dans un site de barrage. Le chapitre 2 est consacré pour l'évaluation de la quantité évaporé au niveau de site de barrage Ain Zada en tenant compte des mesures sur le même site. Le troisième chapitre de mémoire comporte une proposition et la validation de nouveau modèle de prédétermination de l'évaporation dans le site d'Ain Zada. Soutenue par des recherches pour une solution adéquate contre l'aléa d'évaporation par des approches adoptées dans le monde en tenant compte le coté technico-économique en considération, ce qui reflète la situation de la majorité des barrages en Algérie.

Chapitre I
Recherche Bibliographique

I.1- Introduction

Dans les calculs de régularisation de l'écoulement des oueds, réalisés avec les données d'observations hydrométéorologiques durant la période précédant, l'étude de faisabilité du barrage souvent on prend en considération seulement les pertes de l'eau par évaporation (évaporation du plan d'eau) et par filtration (**Ladjel, 2005**) ; L'eau dépensée par évaporation est considérée comme quantité d'eau soustraite du barrage. Alors que l'eau, filtrée en bief avale, est considérée comme perte d'eau, seulement pour les consommateurs utilisant l'eau du barrage. L'évaporation est un processus spécifique physique au-dessus de surface d'eau libre (océans, mer, cour d'eau) qui consiste en passage lente et progressif d'un état liquide à un état gazeux. Ce processus nécessite deux condition des bases ; un rapport d'énergie pour fournir de la chaleur pour l'évaporation, un mécanisme de transporte pour éliminer la vapeur pour la surface d'évaporation (**Penman, 1948; Meyer, 1989**) ; Pour découvrir le volume de barrage après évaporation il faut connaitre très bien que, à l'heure actuelle, l'outil informatique permet de faire des calculs numériques les plus complexes, surtout quand il s'agit des calculs répétitifs. La grande capacité de la mémoire permet des centaines voire des milliers d'opérations en un temps record. La modélisation statistique appliquée aux différentes tâches hydrologiques s'effectuait graphiquement et nécessitait un temps très important. Sur la base d'un échantillon limité d'observations hydrométriques, on peut générer des grandes séries artificielles de l'ordre de centaine ou de millier, exprimant la même loi de distribution statistique avec les mêmes paramètres, dont les valeurs sont presque du même ordre que ceux de la série de référence. Statistiquement, la nouvelle série étendue permet de montrer les durées des années successives les plus sèches, ou la température est très élevée est par conséquent des valeurs d'évaporation très importantes, que la série de référence ne peut exprimer. Ceci est très important dans les calculs de régularisation de l'écoulement. Les calculs de régularisation de l'écoulement des cours d'eau, pour un site choisi et avec des paramètres statistiques données et des pertes d'eau du barrage, donneraient directement le volume total du barrage.

I.2 - L'importance de construction des barrages dans le monde

L'histoire des civilisations anciennes a montré que leur développement a été lié à la disponibilité des ressources superficielles en eau, qui ont favorisé surtout l'irrigation des terres, les relations commerciales, toutes les industries. Les vestiges des barrages en ont témoigné, tel que le barrage Sad Mâreb au Yémen... Le vingtième siècle a été marqué par la construction massive des barrages, pour répondre aux considérables besoins socio-économiques. Ceci a motivé les scientifiques pour l'établissement d'une base scientifique, pour argumenter les études hydrologiques. La théorie de régularisation de l'écoulement s'est détachée en tant que science à part entière, pour répondre à un grand nombre de questions, relatives à la gestion économique de la ressource en eau des cours d'eau. Le problème de l'autosuffisance alimentaire agricole impose de recourir, dans plusieurs régions, à l'irrigation des terres, le plus grand consommateur de l'eau durant une saison bien déterminée. Ceci demande un haut degré de la régularisation de l'écoulement.

En Algérie, l'utilisation directe des ressources en eau, est confrontée à l'irrégularité de l'écoulement des oueds, dans le temps et dans l'espace. On distingue deux saisons une pluvieuse en hiver, une autre plus longue et sèche. D'où la nécessité de régulariser obligatoirement tout ce qui mobilisable. Ce qui va répondre à une partie seulement des besoins en eau. D'après l'expérience des pays développés, on doit maîtriser les méthodes de modélisations statistiques de l'écoulement pour les calculs de la régularisation, dans les conditions climatiques de l'Algérie.

Il faut noter, qu'à l'heure actuelle, nous sommes confrontés au manque flagrant de documentation, relatif à la modélisation statistique de l'écoulement et surtout aux calculs de régularisation de l'écoulement. Les calculs de régularisation de l'écoulement, qu'ils soient graphiques ou statistiques, s'appuient sur la modélisation statistique de l'écoulement, qui donne la possibilité d'examiner le maximum de scénarios d'exploitation. Les calculs des différents volumes du barrage sont argumentés et justifiés par le régime de son exploitation, en conformité avec les différents niveaux d'eau dans les barrages (NN, NM), en donnant une

série de valeurs de la restitution pour argumenter, sur la base des paramètres technico-économiques, les variantes du niveau normal (NN). Pour les cas de rabattement du volume utile du barrage, on est obligé de réduire la restitution (**Bouchrit, 2008**).

La collecte des données comprend les données topographiques de la cuvette du barrage, les données morphométriques du sous bassin, les données pluviométriques de la région, des données hydrométriques de sous bassins de la région et des données sur l'évaporation du plan d'eau de la région concernée. Une analyse fréquentielle de ces données, a permis l'estimation des principaux paramètres statistiques.

I.3- Les facteurs influant sur le phénomène d'évaporation

Les certains facteurs peuvent accélérer la vitesse de le processus d'évaporation c'est à dire permettre à un plus grand nombre de molécules d'eau de quitter la surface d'eau liquide, entrer dans l'atmosphère à l'état gazeux, parmi les plus importants de ces facteurs:

- **La température**

L'évaporation augmente avec l'augmentation de la température, les molécules d'eau se déplacent plus rapidement lorsque la température de l'eau augmente, cela conduit a plus de molécules qui s'échappent, des températures plus élevées car les molécules ont plus d'énergie cinétique pour transformer en vapeur, exemple l'eau bouillante s'évapore plus rapidement de eau du robinet.

- **Vent fort**

Le vent joue un rôle essentiel sur les processus d'évaporation car c'est lui qui permet, par le mélange de l'air ambiant, de remplacer au voisinage de la surface évaporant, l'aire sature par l'air plus sec.

- **La superficie d'un liquide**

La superficie d'un liquide est directement proportionnelle au taux d'évaporation ; plus la surface du liquide est grande, plus les taux d'évaporation sont élevés et vice versa.

- **Faible pression atmosphérique**

Quand la pression atmosphérique de l'air est faible, l'air pousse moins forte sur la surface de l'eau. Les molécules d'eau auront alors plus de facilité à s'arracher de l'eau pour se retrouver à l'état de vapeur.

- **Humidité relative faible**

Lorsque l'humidité relative est faible l'air est loin d'être saturé en vapeur d'eau. Dans ce cas, il est possible d'ajouter beaucoup plus de vapeur d'eau par évaporation que lorsque l'humidité relative est forte.

I.4- L'estimation des pertes d'eau dans un barrage

L'estimation des pertes d'eau du barrage constitue une partie essentielle des calculs de régularisation et revêt un intérêt méthodologique. Dans les calculs de régularisation on prend en considération les pertes de l'eau par évaporation (évaporation du plan d'eau) et les pertes par filtration pour la réalisation de bilan hydrique annuel dans un barrage. Généralement, l'analyse de l'évaporation a montré que celle-ci est soumise à une variation cyclique saisonnière. L'évaporation est proportionnelle avec la température, elle augmente durant les mois chauds et diminue durant la période hivernale. Normalement, l'évaporation et l'évapotranspiration réelle sont mesurées au niveau des stations spécialisées. Mais en absence des données de mesures, elles sont estimées par différentes méthodes et formules empiriques. Les mesures de l'évaporation du barrage, depuis sa mise en eau, ont confirmé la variation cyclique intra-annuelle. L'estimation ou l'analyse des valeurs de l'évaporation du barrage ne constitue pas la tâche à régler. Mais les calculs de régularisation de l'écoulement fluvial, nous ont obligés de chercher une approche pour pronostiquer l'évaporation moyenne, pour un pas de temps mensuel, tout en tenant compte de son caractère cyclique.

Le régime naturel de l'écoulement fluvial et le régime de la demande en eau sont toujours contradictoires. Durant la saison pluvieuse, la demande de certains secteurs est minimale. Alors que durant la saison sèche cette demande augmente considérablement. Pour garantir un approvisionnement satisfaisant et continu en eau, il s'avère indispensable de stocker l'excédent

des eaux pluviales dans un réservoir, pour le restituer plus tard, lors de la saison déficitaire. Il s'agit là de la régularisation de l'écoulement (Bouchrit, 2008).

Un type de régularisation est appelé saisonnière, car il sert à stocker les excédents en eau de la saison pluvieuse pour couvrir le déficit en eau durant la saison de l'étiage. Dans ce cas, le volume utile du barrage est constitué uniquement du volume saisonnier. Alors que la régularisation interannuelle sert à stocker les excédents en eau durant une période de quelques années humides pour couvrir le déficit en eau durant la période sèche qui suit. Ainsi, le volume utile du barrage est constitué de la somme de volume interannuel et de volume saisonnier. Chaque composante du volume utile est déterminée par différentes méthodes graphiques, analytiques et statistiques. Dans tous les cas, on a besoin des données d'observations hydrométriques fiables en qualité et en quantité. Le plus souvent, on dispose de séries d'observations (surtout sur les données d'évaporation) qui sont de l'ordre de quelques dizaines d'années seulement et qui ne présentent pas les phases caractéristiques du régime hydrologique du cours d'eau (Ladjel, 2005).

La maîtrise des différentes méthodes de régularisation de l'écoulement fluvial permet l'identification des plus grands déficits en eau à restituer, à l'échelle saisonnière ou interannuelle. Les premières approches proposées, pour résoudre cette question et faciliter la tâche aux ingénieurs concepteurs, ont été présentée sous forme de solutions graphiques.

Les calculs de régularisation interannuelle de l'écoulement, on tenant compte de phénomène d'évaporation, par les séries hydrologiques chronologiques (réelles ou artificielles), utilisent l'équation du bilan hydrique. Ils reproduisent le régime de fonctionnement proche de la réalité, surtout quand la taille de la série des observations est longue et contenant un grand nombre de périodes sèches critiques (Ladjel, 2005).

L'estimation de l'évaporation E_{eau} de la surface du plan d'eau est effectuée par différentes méthodes : pulsation, les diffusions turbulentes, les évaporimètres, le bilan hydrique et thermique et par les formules empiriques. Les méthodes fiables sont: la méthode de mesure instrumentale directe, c'est-à-dire la méthode de la mesure directe de la lame d'eau évaporée avec l'aide des évaporimètres. Pour la détermination de l'évaporation de la surface de l'eau, on

applique souvent les méthodes indirectes fondées sur l'utilisation des équations du bilan hydrique et thermiques et sur les diffusions turbulentes de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. En plus, les formules empiriques pour l'estimation de l'évaporation avec les données météorologiques, trouvent une large application dans la pratique hydrologique. Plus bas, on cite brièvement les caractéristiques des principales méthodes du calcul de l'évaporation de la surface du plan d'eau (**Savarensky, 1951**).

I.4.1- La méthode de mesures par les évaporimètres

Au niveau de chaque station météorologique, il y a différents évaporimètres: bac colorado et bac classe A. L'évaporation entre deux temps d'observations est calculée comme la différence entre les niveaux de l'eau dans l'évaporimètre aux différents instants, précédent et en cours en plus la lame des précipitations durant l'intervalle de temps entre les observations

I.4.2- La méthode de pulsations

Les flux de l'air dans l'atmosphère se caractérisent par un mouvement à caractère turbulent. Pour ce but, on utilise la proposition de Reynolds relative à la méthode de la moyenne par le temps des valeurs entrant dans l'équation. Avant de faire la moyenne, toutes les valeurs variables se présentent sous la forme de :

$$N = N_o + N' \dots\dots\dots (I. 1)$$

où:

N_o – Les moyennes de la valeur N ,

N' – son complément de pulsation .

Après l'exécution de la moyenne, avec l'observation de toutes ses propriétés, on analyse l'équation obtenue pour les conditions suivantes :

- 1) les phases du passage de la vapeur d'eau dans l'air sont absentes;
- 2) les gradients des caractéristiques de l'atmosphère dans les directions horizontales sont nulles;
- 3) en hauteur de la couche de l'atmosphère sur le sol, le flux vertical de la vapeur est

constant.

Finalement, nous obtenons l'expression pour le calcul de l'évaporation, sous la forme :

$$E = \rho \overline{u'q'} \dots\dots\dots (I.2)$$

où:

ρ – la densité de l'air,

u' et q' – pulsion correspondant à la vitesse du vent et l'humidité spécifique de l'air .

La formule (I.2) est simple. Mais son application pratique pour le calcul de l'évaporation n'a pas lieu à cause de l'absence de l'équipement très sensible pour la mesure des pulsations de l'humidité de l'air.

1.4.3- La méthode du bilan hydrique

Cette méthode utilise l'équation du bilan hydrique, établi pour l'estimation de l'évaporation, sous la forme :

$$E_{eau} = x + y_1 - y_2 + g_1 - g_2 + \Delta H \dots\dots\dots (I.3)$$

où:

E_{eau} – L'évaporation de la surface de l'eau;

x – Les précipitations tombant sur la surface de l'eau ;

y_1 et y_2 – l'afflux et le reflux des eaux superficielles;

g_1 et g_2 – l'afflux et le reflux des eaux souterraines;

ΔH – La variation du niveau de l'eau dans le barrage.

La méthode du bilan a ses limites, définies par la précision des mesures des composantes du bilan hydrique.

1.4.4- La méthode du bilan thermique

Cette méthode utilise l'équation du bilan thermique, pour la surface d'eau, sous la forme

suivante (Tchebotariov, 1975):

$$R = LE + P + B \dots\dots\dots (I. 4)$$

où:

R – bilan de radiations ;

L – chaleur latente spécifique de la vapeur ;

E – évaporation ;

P – échange turbulent de chaleur entre la surface d'eau et l'air,

B – échange de chaleur entre la surface d'eau et les couches inférieures de l'eau.

En utilisant la relation de Bouen, qui établit la relation entre la quantité de la chaleur, reçue par la surface d'eau à partir de l'atmosphère par l'échange turbulent et la quantité de la chaleur dépensée pour l'évaporation, nous obtenons l'équation suivante:

$$E = \frac{(R - B)}{1 + 0.64 \frac{\Delta T}{\Delta e}} \dots\dots\dots (I. 5)$$

où:

E - intensité horaire de l'évaporation, en mm/h;

R - bilan de radiation (bilan de radiation = évaporation \times chaleur latente de l'évaporation + le flux de la chaleur vers le sol + le flux de la chaleur de la surface vers l'atmosphère et B (le flux de la chaleur vers le sol);

Δt – Différence des températures de l'air aux hauteurs 0.5 et 2 m, Δe - différence de la tension de vapeur d'eau aux hauteurs de 0.5 et 2 m.

I.4.5- La méthode de la diffusion turbulente

Cette méthode est élaborée sur la base de l'utilisation de la théorie de la diffusion turbulente. L'équation pratique est exprimée comme suit:

$$E = 0.12 \omega_1 (E' - e_2) \dots\dots\dots (I. 6)$$

où:

ω_1 – la vitesse du vent à la hauteur de un m,

E' et e_2 – les tensions de la vapeur d'eau saturée et la pression partielle à la hauteur de 2 m,

E – lame d'eau évaporée, en mm/j.

I.4.6- Le calcul de l'évaporation par les formules empirique

À présent, il existe un grand nombre de formules empiriques qui ont presque la même structure, que celle proposée par Dalton en 1802:

$$E = \varepsilon_o (E' - e_2) \dots\dots\dots (I. 7)$$

ε_o – le coefficient dépendant de la vitesse du vent.

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle (*ETR*) de la surface d'un paysage donné, on utilise diverses méthodes, analogues à celles utilisées pour le calcul de l'évaporation de la surface d'eau: les méthodes de mesures instrumentales, qu'on appelle méthodes directes et les méthodes de calculs, appelées méthodes indirectes. Avec l'aide de ces méthodes, on estime l'évapotranspiration réelle (*ETR*), sans faire la distinction entre l'évaporation du sol, la transpiration (l'évaporation par les plantes) et l'évaporation de l'humidité pluviale retenue par les tiges et les feuilles. Cela s'explique, avant tout, par la complexité de leur séparation, ainsi que ces différents types d'évaporation se déroulent simultanément et dans la pratique on les considère ensemble.

L'évaporation de l'humidité d'un sol nu, sans couverture végétale, dépend de sa quantité dans le sol, de la profondeur du gisement, de la porosité du sol et de leur taille. Ces facteurs et autres définissent l'affluence de l'humidité, à l'état liquide et à l'état de vapeur, vers la surface du sol par la voie des pores.

À présent, les méthodes de calculs de l'évapotranspiration réelle de la surface de la terre, les plus utilisées, sont celles qui sont fondées sur leur relation avec l'évapotranspiration potentielle (ETP), avec les précipitations et avec d'autres éléments du bilan hydrique. Parmi ces méthodes, il faut citer, par exemple, les équations d'Ol'dekop de Schreiber (Sokolovsky,

1959), de Mezentsev (Gouchlia, 1982; Mezentseva, 1976) ; de Boudyko et d'autres auteurs (Boudiko, 1948).

M.I.Boudyko, ayant généralisé les équations de Schreiber et d'Ol'deko, a reçu l'expression suivante :

$$ETR = \sqrt{ETP P_o \left[1 - \exp\left(-\frac{ETP}{P_o}\right) \operatorname{th}\left(\frac{P_o}{ETP}\right) \right]} \dots\dots\dots (I. 8)$$

où:

P_o – précipitations moyennes interannuelles,

ETP – évaporation potentielle ($ETP = \frac{R_o}{L}$, avec R_o - bilan de radiation moyen d'une surface humide),

L - chaleur spécifique de la vapeur.

L'équation de Mezentseva, pour un intervalle de temps Δt quelconque, a la forme suivante (Mezentseva, 1976):

$$ETR = ETP \left[1 + \left(\frac{P + W_1 - W_2}{ETP} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}} \dots\dots\dots (I. 9)$$

où :

ETP – évapotranspiration potentielle;

P – précipitations,

W_1 et W_2 – réserves d'humidité dite dans la couche de un mètre du sol, au début et la fin de l'intervalle de temps choisi, pour le calcul de l'évaporation,

n – paramètre caractérisant le type de relief.

La formule de Mezentsev, pour un intervalle de temps de plusieurs années, permet de déterminer l'évapotranspiration moyenne interannuelle ETR_o s'écrit comme suit :

$$ETR_o = ETP \left[1 + \left(\frac{P_o}{ETP} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}} \dots\dots\dots (I. 9)$$

avec: P_o – précipitations moyennes interannuelles.

Model de Romank 1961

$$E = 0.0018(25 + t_{moy}) \cdot 25(100 - H_R) \dots\dots\dots (I. 10)$$

E - évaporation (mm),

t_{moy} - la température moyenne (c°),

H_R - humidité relative %.

Model de Papadakis 1972

$$E = 0.5625(es_{max} - es_{min}) \cdot (10/d) \dots\dots\dots (I. 11)$$

E - évaporation (mm),

es_{max} et es_{min} - vapeur saturée pression au maximum et minimum température de l'air (Pa),

d - nombre de jour de mois.

Model de Boutatao 1995

$$E = 0.403n \cdot D^{0.73} (1 + 0.39v) \dots\dots\dots (I. 12)$$

E - évaporation (mm),

n - nombre de jour de mois considéré,

D - déficit de saturation dans l'aire (mb ; millibar),

v - vitesse de vent (m/s).

Model de Xiaoliu 2016

Etude de l'impact du phénomène d'évaporation sur la capacité de stockage d'un barrage: cas de barrage Ain zada bordj Bou Arreridj

Khadoumi N & Messoudane S

$$E = (0.0345 + 0.002 \cdot v^{0.5} (42.6824 - 0.0122 \cdot (h_r / 100)^{1.5} (2.66 + 0.08 \cdot t_{moy})) \cdot N \dots \dots \dots (I. 13)$$

E - évaporation (mm),

v - vitesse de vent en (m/s),

h_r - humidité relative (%),

t_{moy} - la température moyenne (c°),

N - nombre de jours du mois considéré.

I.5- Rôle d'évaporation dans le bilan hydrique

L'évaporation est des composantes importantes dans l'établissement des bilans hydrique où vous contribuez:

- Calcul des capacités de production des barrages et fluviales,
- La connaissance des quantités d'eau nécessaires pour consomme l'eau potable et l'irrigation des récoltes,
- La connaissance de volume nécessaire pour des réservoirs,
- Ils contribuent à la formation du temps et du climat sur la terre,
- Conduit à l'apport humidité à l'air atmosphérique.

La mesure directe de évaporation se fait généralement au moyen du bac d'évaporation qui est contenant de section cylindrique ou carrée dont les variation du niveau d'eau mesurées à des intervalles de temps fixes (jour, semaine , mois... décade) sont un reflet l'intensité de l'évaporation.

Il peut être mesuré localement en utilisant un lysimetr ou récipient plat, carre ou circulaire de 1 à 2 mètres de dimension. Rempli d'eau sur une profondeur de 150 à 600 mm selon l'équipement standard en service dans le payé. En l'absence de mesure locale il existe également un certain nombre de formules qui permettent une évaluation plus ou moins fine des capacités d'évaporation selon les données disponibles (Barnes, 1971).

I.6- L'impact le phénomène d'évaporation sur la capacité de stockage

Etude de l'impact du phénomène d'évaporation sur la capacité de stockage d'un barrage: cas de barrage Ain zada bordj Bou Arreridj

Khadoumi N & Messoudane S

Les réservoirs d'eau rendent des nombreux services, dont le stockage d'eau, la régulation de flux, hydroélectricité. Cependant, il est exposé divers problèmes hydrauliques parmi eux évaporation intense qui menace les quantités d'eau de stockage, car le réservoir augmentent généralement la superficie du plan d'eau, cela plus est exposées à l'air et au hunier du soleil ; augmentant ainsi l'évaporation ce dernier permet d'inciter les molécules d'eau à quitter la surface de eau par conséquent des quantités considérables d'eau ont été perdues et le niveau du réservoir a diminué.

Le changement climatique fonctionne outre certains activités humaines augmente constamment le niveau de concentration de carbone et d'autres gaz à effet de serre dans la basse atmosphère. En revanche, l'atmosphère se réchauffe facilement; ce qui entraîne une augmentation de la température de surface des terres, cette augmentation a un impact direct sur le cycle hydrologique, notamment en ce qui concerne l'évaporation et le mouvement d'eau dans le monde. Alors que les températures augmentent en raison du réchauffement climatique et que le soleil se réchauffe en raison de la diminution de d'ozone, cette chaleur se propage sur les lacs, les étangs et les océans, provoquant une évaporation de l'eau à un rythme beaucoup plus rapide. De nombreux lacs bien connus qui existent depuis des milliers d'années s'assèchent ou du mois rétrécissent en raison de la hausse des températures par exemple, le lac bobo en Bolivie était le deuxième plus grand lac du pays cependant en 2015 le lac s'est complètement assèche en grand partie à cause de changement climatique. Le rapport du GIEC a indiqué une augmentation constante de la température de l'air mondial .a la fin du siècle, la terre avait déjà connu une augmentation de 0,3 à 0,3° et on s'attend à ce qu'elle augmente de 1à 3° d'ici l'an 2070. Ensuite, l'évaporation augmente également il y a alors plus de vapeur d'eau à état « liquide » disponible. Puis les évènements extrêmes deviennent plus fréquents et puissant: pluies violentes et inondation, longues périodes de sécheresse dans le même temps donc la quantité d'eau qui alimente les cours d'eau diminue dans le sol ce qui entraîne une diminution du débit des rivières et l'épuisement des nappes phréatique **(Ramsankaran, 2022)**.

La valeur de l'évaporation de l'eau n'apparaît pas souvent dans les bulletins et atlas climatique que le bureau national de météorologie publie chaque année, mais en hydrologie le

phénomène d'évaporation a une importance évidente car elle est responsable de la perte de grand volume d'eau (océans, mer, barrages, lacs) localement et globalement (**Perry et al 2009**). Dans le monde: la quantité d'eau perdue par évaporation est un élément essentiel des bilans hydrique. Chaque année environ 450 ,000 km³ de eau s'évaporent des océans et 71000 km³ supplémentaire s'évaporent de la terre, en grande parti a parti du sol et des plantes, alors que les lacs représente que 1 ,57% de la superficie terrestre mondial ils ne contribuent qu' à 2 ,37% de l'eau évapore sur la terre. Par exemple en Egypte la capacité du lacs Nasser est environ 162 milliards de m³ d'eau la perte annelle total d'eau due à l'évaporation est estime entre 12, 3 et 13 ,6 milliards de m³/an (**Weick, 2003**) ; L'Irak perd environ 61% de ses précipitations en raison d'évaporation (**Ahsan, 2011**) ; Selon apporte GOKBULAK 2006 la tuque disposait de ressources eau environ 107, 3 milliards de m³, la perte total par évaporation était estimes a 6 ,8 milliards de m³.

En Algérie: l'eau est une ressource de plus en plus précieuse la concurrence que se livrent l'agriculture industrie et l'alimentation en eau potable pour avoir accès à des disponibilités limitées en eau grève dores et déjà les efforts de développement de le pays (**Rimini, 2009**). Globalement, l'Algérie reçoit une grande quantité des pluies, surtout dans les zones côtières, par an, dont 85% s'évaporent les 15% restant soit s'écoulent dans les cours d'eau pour être stockées dans les barrages ou déversées dans la mer (**Rimini, 2010**).

Le phénomène de évaporation d'eau dans Algérie est considérables et en enregistrant annuellement des pertes de volume très élevée selon les données disponibles, le taux d'évaporation moyen en Algérie varie entre 1500 et 2000 mm par ans, cependant, il peut être beaucoup plus élevé dans certaines régions, notamment dans le Sahara ou les taux d'évaporation peuvent atteindre jusqu'à 3000 mm par ans. (Source : résumé annuelle du temps Algérie, centre climatologie national dar El-Beida).

De plus l'Algérie possède 68 barrage la capacité global de 68 des barrages est 7,1.10⁹ m³ mais la plus part de ces barrage sont soumis à une perte de capacité due essentiellement à trois phénomène à savoir les fuit d'eau avec 40.10⁶ m³/an. L'envasement avec 32.10⁶ m³/an et

évaporation environ $250.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ est remarqué que les pertes par évaporation sont les plus important et dépassent même la somme des pertes par fuit et l'envasement (**Rimini, 2010**).

En Algérie, la mesure d'évaporation est confiée aux services de l'Office National de la Météorologie (ONM) et au service de l'Agence Nationale des Ressources Hydrique (ANRH). En l'absence de données la valeur d'évaporation des masses d'eau est évaluée soit à partir des données d'observation du réservoir d'évaporation ou bien des stations météorologique.

En raison de l'évaporation, de grandes quantités d'eau sont perdues, les pays font de grands efforts pour le fournir. En d'autres termes, la valeur d'un mètre cube coûte un prix élevé, que les pays en développement tentent de fournir à leur population à un prix subventionné, comme c'est le cas en Algérie. Cependant, en raison de facteurs climatiques, les efforts s'évaporent et sont vains si des solutions réalisables ne sont pas fournies pour réduire ce phénomène croissant. Encourager la recherche scientifique et mener des études pratiques capables de répondre à de nombreuses questions comme solution à certains des problèmes chroniques dont souffre le secteur des ressources en eau. D'autant plus que le ministère chargé du secteur s'efforce d'économiser les ressources en eau en creusant plusieurs forages et en recourant au dessalement de l'eau de mer, ces efforts doivent être appréciés. Cependant, les eaux de surface dans les barrages doivent être préservées, ce qui est un gain stratégique, parallèlement à la recherche d'autres solutions. Cette étude scientifique vise à attirer l'attention. Du décideur à prendre en compte l'importance d'éviter les pertes économiques résultant du phénomène et de prévoir des enveloppes financières pour l'orienter vers d'autres aspects du développement. C'est un avantage que la population récolte à travers l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation ou l'industrie.

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude et analyse des données utilisées

II.1- Introduction

Ce chapitre consiste à présenter la zone d'étude (la situation géographique, la situation climatique). Après cela, l'analyse statistique est nécessaire pour le travail effectué. La protection des barrages contre le risque d'évaporation est nécessaire, vu que le changement climatique influe sur la capacité de stockage de notre barrage (en raison de températures record). La collecte et l'analyse des données d'évaporations sont essentielles pour une estimation correcte de la lame d'eau évaporée pendant une telle période. Le traitement de ces données permet de prédire ce risque, d'élaborer un modèle pour l'évaluation de volume évaporé, le calcul de cout de cette quantité évaporé, sur la base qu'il s'agit de pertes économiques qui peuvent être évitées en estimant leur quantité.

II.2 -Présentation de la zone d'étude

Cette présentation comporte une présentation générale pour la willaya. Où l'on considère que le barrage d'Ain Zada en est le principal bailleur de fonds avec l'eau potable, en plus d'une partie de l'eau du barrage allant vers la zone industrielle. Tout dommage à ce barrage aura un impact sur l'ensemble de la willaya. Par la suite une présentation un peu spéciale sur la zone exacte qui soumise par cette d'étude.

II.3 -Situation géographique de wilaya de bordj Bou Arreridj

La wilaya de bordj Bou Arreridj est située dans les hauts – plateaux à 300 km au est d'Alger et situe sur la route nationale RN°5 .elle comprend 34 communes réparties à travers 10 daïras .elle s'étend sur une superficie de 4115km² avec une population avoisinant les 688 295 habitants, soit une densité de 167,264 habitants /km.²

La wilaya de bordj Bou Arreridj est limitée par :

- Au nord : la wilaya de Bejaia
- Au sud : la wilaya de Msila
- À l'est : la wilaya de Sétif
- L'ouest : la wilaya de Bouira

II.4 -Situation climatique

Etude de l'impact du phénomène d'évaporation sur la capacité de stockage d'un barrage: cas de barrage Ain zada bordj Bou Arreridj.

Khadoumi N & Messoudane S

Le climat est de type continental semi-aride aux étés chauds et sec et aux hivers très froid. Cependant, il existe des contrastes pluviométriques liés à l'altitude entre les différentes régions de la wilaya alors que l'été connaît de hautes températures allant à 40 °C. Les vents les plus fréquents sont d'origine nord-ouest pendant une grande partie de l'année, tandis que les vents du sud (sirocco) sont signalés en été. Les gelées blanches sont fréquentes sur les hautes plaines qui constituent un facteur limitant de la production agricole.

Les conditions climatiques au niveau du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Les facteurs qui déterminent le climat sont:

Les précipitations avec sa distribution dans le temps et dans l'espace, l'évaporation, et la température. Les données climatiques de la wilaya sont issues de la station du météo de Bordj Bou Arreridj de coordonnées 3604 Nord 0440 Est et 955 m d'altitude. Au site considéré, le bassin versant est dominé par un climat de type aride avec des hivers froids et des étés relativement chauds et secs.

II.4 .1-Température

Les données concernant les températures relèvent toujours de la station de Bordj Bou Arreridj, les tableaux montrent des minimums moyens mensuels oscillant entre **-5.3 °C** en hiver (Février) et **18.5° C** au mois de juillet, les maximums moyens sont de 14 °C en hiver **40.2° °C** en été, l'amplitude est **26° C** environ.

Tableau .1- Températures moyennes mensuelles et annuelles (ONM)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
T_{\min}	-2.2	-5.3	0.3	-0.9	6.3	13.5	18.5	15.8	12.4	0.8	3.8	-2.9	5.01
T_{\max}	19.7	14	22.2	31	31.8	38.6	40.2	38.2	36.1	34.2	20	15.2	28.43
T_{moy}	8.75	4.35	11.25	15.05	19.05	26.05	29.35	27	24.25	17.5	11.9	6.15	16.72

L'analyse du tableau Ci –dessus nous renseigne sur:

- Une période chaude s'étalant du mois de juin au mois de septembre,
- Le mois le plus chaud étant le mois de juillet,
- Une période de froid s'étalant du mois d'octobre au mois d'avril,

- Le mois le plus froid étant le mois de février.

II.4.2 - Évaporation

On remarque que la valeur moyenne mensuelle maximale de l'évaporation est de 60 mm; tandis que la valeur moyenne mensuelle minimale de l'évaporation est de 12.4mm.

Tableau .2- Les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation(ONM)

mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Total
Evap (mm)	36.6	28.4	22.5	12.4	12.5	14.0	22.3	30.5	40.7	49.3	60	51.3	380.5

II.4.3 -Les vents:

Les vents les plus dominants sont ceux provenant du NORD – OUEST et du SUD – EST la zone connaît le SIROCCO pendant les mois de JUILLET et AOUT avec une moyenne annuelle de 15 jours. Le tableau suivant indique les variations concernant les moyennes mensuelles et annuelles.

Tableau. 3- Les variations concernant les moyennes mensuelles et annuelles (ONM)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
VIM	6.0	7.1	6.6	6.7	6.9	6.5	5.9	5.5	3.7	5.3	5.2	7.0	6.2
DIV	SN	SN	SN	SN	ESW	SN	SN	SN	SN	SN	ESW	SN	SN
FRQ	39	32	33	30	27	27	29	38	38	37	45	38	35.1

VIM- Vitesse du vent moyen en m/s,

DIV- Direction du vent,

FREQU- Fréquence moyenne mensuelle %,

II.4.4 - Pluviométrie

Les moyennes mensuelles et totales annuel des précipitations en mm sont données par le tableau suivant :

Type d'infrastructures	Nombre	Localisation
<i>Etude de l'impact du phénomène d'évaporation sur la capacité de stockage d'un barrage: cas de barrage Ain zada bordj Bou Arreridj.</i>		<i>Khadoumi N & Messoudane S</i>

Station de météorologie	01	Forêt de BOUMERGUED
Station de météorologie	01	BBA, route de Medjana

Tableau.4- Répartition des stations météorologiques à travers la ville de B.B.A

Le régime pluviométrique est irrégulier en quantité et intensité, les pluies mensuelles moyennes sont observées par la station météorologique la plus proche de coordonnées:

- Longitude : 04,67 E
- Latitude : 36,07 N
- Altitude : 928 m

Tableau. 5- les moyennes mensuelles et totales annuel des précipitations (ONM)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total Année
P(mm)	29.5	34.9	31.7	40.3	33.8	10.3	3.0	13.5	13.4	34.6	30.4	42.5	317.9

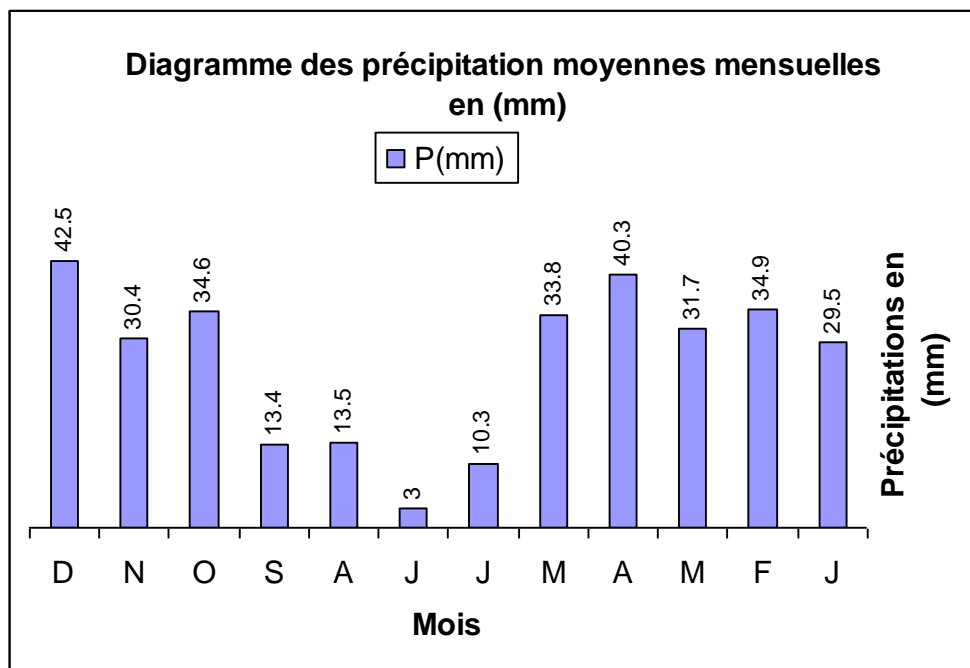


Figure.1 - Diagramme des précipitations moyennes mensuelles

D'après le diagramme la période pluvieuse est enregistrée entre le mois d'Octobre et le mois de Mai, la période estivale est caractérisée par une faible précipitation 03 mm au mois de Juillet.

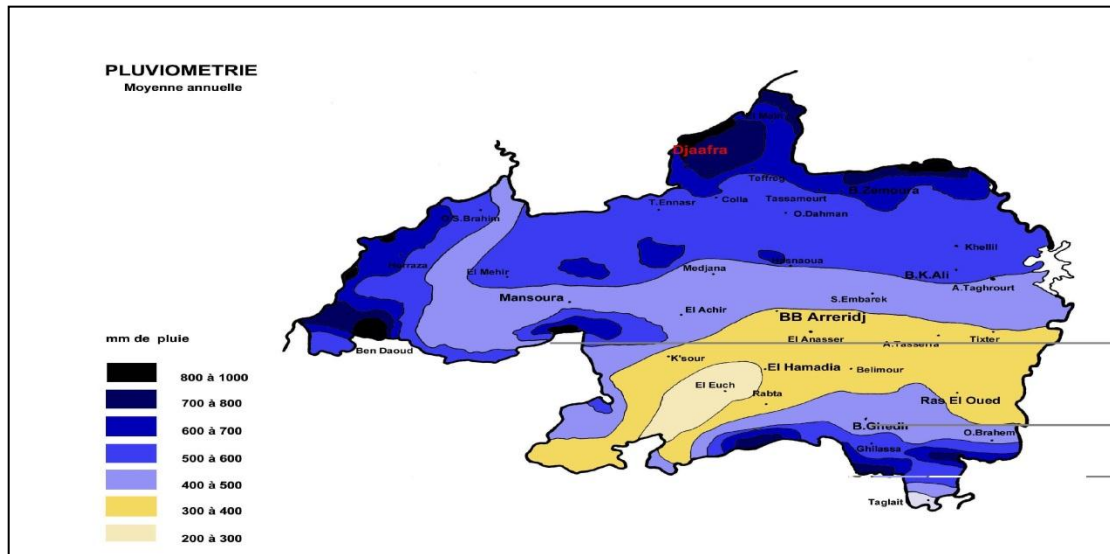


Figure. 2 - Répartitions spatiale de la précipitation au niveau de la wilaya de Bordj Bou Arreridj

II.5 -Réseau hydrographique

La wilaya est d'une importante richesse hydrographique souterraine caractérisée par d'écoulement parallèles et principaux pour l'écoulement de l'eau, et qui sont :

1. **Le bassin versant** "Soummam" : qui couvre la partie nord et couvre la moitié septentrionale de la wilaya,
2. **Le bassin versant** "chott du Honda" : il s'étend sur la moitié méridionale de la wilaya ou on trouve de nombreuses sources ayant un débit appréciable.

Les oueds: des oueds de débit et d'écoulement variable utilisés dans l'irrigation des terres agricoles telles qu'oued k'sob et oued Lakhdar.

Le barrage: le barrage Ain Zada érigé sur l'oued Boussellam barrage inter wilaya Bordj Bou Arreridj et Sétif permet d'alimenter les deux à la fois en eau potable et industrielle.

La wilaya est également classée comme hydrominéral selon la classification nationale car elle contient plusieurs sources minérales tel que la zone des Hammam El Biban commune de Mansoura et Ouled Halla.

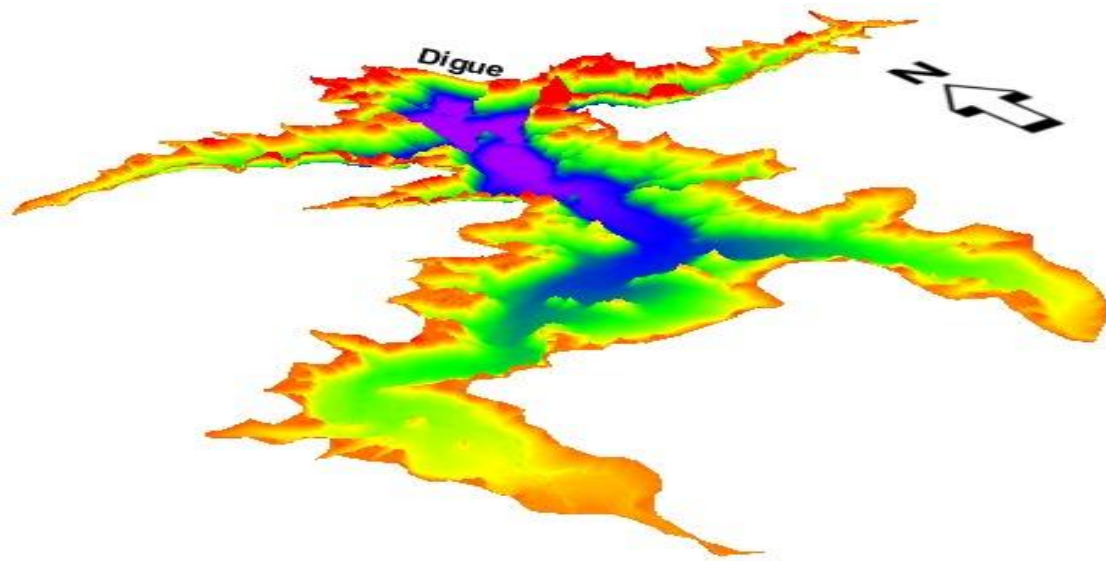
Après cet aperçu général, qui concernait la wilaya, nous passons au domaine concerné par l'étude.

II.6-Présentation de la zone de barrage Ain Zada

Le site du barrage de Ain Zada est situé à cheval sur les Wilaya de Sétif et de Bordj Bou Arreridj, mais dépend administrativement de la Wilaya de Bordj Bou Arreridj. Il est implanté dans la commune d'Ain-Taghrout sur l'Oued Boussellam (direction Sud-Nord) au niveau de la jonction avec l'Oued Ain-Taghrout à l'ouest, l'Oued Kharoua au Nord-Est et l'Oued Malah au Sud-Est. Le bassin versant drainant l'ensemble du site s'étend sur 2080 km². L'aménagement de la cuvette du barrage a nécessité la déviation de la Route Nationale n°5 qui délimite maintenant la partie sud du site. Construit entre 1982 et 1986, le but principal du barrage était de fournir de l'eau pour consommation et pour l'industrie pour la ville de Sétif et bordj Bou Arreridj.

II.7 -La caractéristique du barrage Ain zada

C'est un barrage en remblai de type en enrochement avec un noyau central en argile, il est doté d'un évacuateur de crues sans organes de réglage et d'un coursier à ciel ouvert sur l'un des cotes de la digue. Le barrage possède une capacité théorique de stockage de 121,4 millions de m³, d'une hauteur de 50 m, sa longueur du couronnement s'étend sur 700 m. Il est alimenté par un bassin versant de 2080 km² de surface.



Figur.3 - Une photo d'en haut montrant la morphologie du barrage

D'après le schéma de la Figur II.4, le barrage s'étend sur une vaste zone avec une hauteur limitée, ce qui signifie que si la surface est grande, cela rend l'eau du barrage vulnérable à l'évaporation. Il

existe des barrages de même capacité que le barrage d'Ain Zada, mais avec de grandes profondeurs et des superficies plus réduites, comme le barrage de Tilizdit dans la willaya de Bouira.

Pour une bien illustration de Shéma de la Figur II.4, le tableau suivant indique cote-surface de ce barrage suivant les documents de l'Agence Nationale des Barrages et des Transferts (A. N. B. T.):

Tableau.6- Cote-surface de barrage Ain Zada(ANBT)

Paramètre	Cote 855.00 m	Cote 864.20 m
Surface en ha	1140.67	1919.97
Volume en Hm^3	121.40	261.20

II.8 -Analyse des données utilisées

L'analyse fréquentielle, de l'évaporation dans les barrages, consiste à déterminer les principaux paramètres statistiques de la série, en utilisant les méthodes adéquates appliquées en hydrologie de l'ingénieur. Les phénomènes hydrologiques sont les résultats de divers facteurs qui varient continuellement dans le temps et dans l'espace, c'est-à-dire qu'ils ont un caractère probabiliste. Ceci ne contredit pas leur déterminisme physique. L'aspect aléatoire est dû au grand nombre de causes, dont chacune ne peut être considérée que d'une position probabiliste. Notre série d'évaporation (d'après les documents de l'Agence Nationale des Barrages et des Transferts (A. N. B. T.)) est représentée dans le tableau (7)

Tableau. 7- Valeurs de l'évaporation mesurée, en mm au niveau du barrage Ain Zada (ANBT)

n°	Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
1	1987	224	133	47,9	41,2	51,0	31,8	103	141	134	221	254	331
2	1988	225	132	46,9	39,9	44,0	64,9	95,2	122	151	217	301	372
3	1989	214	158	62,4	19,5	31,0	57,9	130	147	185	189	306	282
4	1990	162	101	60,0	52,6	32,0	53,7	91,0	116	154	269	292	247
5	1991	218	137	51,3	22,6	30,0	40	104	102	155	224	230	309
6	1992	205	132	55,2	34,7	35,0	54,4	83,6	115	153	230	238	279
7	1993	212	116	52,5	33,9	29,0	35,7	70,8	131	190	303	332	311
8	1994	192	153	57,0	27,5	37,0	66	109	140	286	341	412	412
9	1995	232	86,2	54,6	29,8	21,0	67,9	87,0	133	212	240	340	288
10	1996	212	114	86,8	56,5	51,0	35,2	104	113	141	166	320	321
11	1997	186	107	73,1	64,9	45,0	63,8	102	127	226	345	344	327
12	1998	217	85,7	49,5	34,6	28,0	38,6	86,8	124	153	263	351	313
13	1999	238	95,1	55,0	23,4	47,0	38,5	88,4	160	235	299	315	420
14	2000	252	143	60,9	34,2	29,0	61,6	114	155	215	270	364	343
15	2001	221	81,7	74,6	44,0	62,0	57,1	140	135	193	198	355	330

16	2002	220	151	58,0	28,4	36,0	60,4	110	164	237	313	338	278
17	2003	193	147	77,9	34,7	36,0	36,2	89,3	109	173	263	339	295
18	2004	185	66,0	56,4	23,9	31,0	68,1	102	101	123	207	315	265
19	2005	171	124	39,2	27,9	26,0	37,4	96,2	114	212	266	323	291
20	2006	152	96,7	50,6	25,0	25,0	39,1	106	148	169	309	307	257
21	2007	158	159	59,3	26,3	37,0	49,7	74,1	98,1	167	277	310	294
22	2008	174	108	47,4	22,3	36,0	57,5	85,4	139	167	231	306	269
23	2009	166	82,3	51,9	25,6	28,0	46,2	83,0	96,7	164	259	324	278
24	2010	131	96,8	52,4	36,9	40,0	55,7	90,4	106	148	217	295	263

II.8.1 -Test d'homogénéisation

Définition

Pour bien saisir le besoin réel d'avoir accès à des séries climatiques homogènes, il faut comprendre la définition de l'homogénéité. Une série climatique est homogène par rapport à une série voisine lorsque le ratio ou la différence entre les deux séries est distribué aléatoirement autour d'une ligne horizontale sans sauts ni tendances. Dans le cas contraire, la série comprend une ou plusieurs inhomogénéités. Le terme 'inhomogénéités' définit les variations non naturelles qui sont causées par des modifications dans les réseaux d'observations. La plupart des enregistrements climatiques contiennent différents types d'inhomogénéités.

Test de Wilcoxon

C'est le test le plus puissant des tests non paramétriques.

Test de Wilcoxon ou Test des rangs

Avant de faire l'extension, il convient de tester si la série corrigée appartient à la même population que la série de référence. Le test de Wilcoxon est le plus puissant des tests non paramétriques.

Rappel: Soient 2 variables aléatoires Y et X , représentant respectivement 2 séries de précipitations annuelles de taille N_1 et N_2 . Y étant la série à étudier et X étant la série de base avec $N_2 > N_1$. Si l'échantillon Y est issu de la même population que l'échantillon X , l'échantillon nouveau $Y \cup X$ est également issu de la même population. De ce fait, on classe les éléments de ce nouvel échantillon $Y \cup X$ par ordre croissant et on attribue à chacune des valeurs le rang qu'elle occupe dans cette nouvelle série. (Si une valeur se répète plusieurs fois, il faut lui associer le rang moyen qu'elle détermine).

On calcule les quantités W_Y et W_X :

W_Y représente la somme des rangs de Y et c'est celle qui nous intéresse et est égale à:

$$W_Y = \sum_{i=1}^n rang_Y = 1+3+4+...+13+17+...+n$$

La condition c'est que: $N_1 \leq N_2$

L'hypothèse nulle est vérifiée si:

$$W_{min} < W_x < W_{max}$$

Avec-

$$W_x = \sum_{i=1}^{n-1} rang_x = 2+5+...+12+14+15+16+...+n-1 \dots\dots\dots(II. 1)$$

$$W_{min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1) \cdot N_1 - 1}{2} - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \dots\dots\dots(II. 2)$$

$$W_{Max} = (N_1 + N_2 + 1) N_1 - W_{min} \dots\dots\dots(II. 3)$$

Avec-

$u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ - représente la valeur de la variable centrée réduite de Gauss correspondant à une probabilité de $1 - \frac{\alpha}{2}$

L'hypothèse d'homogénéité est acceptée si l'égalité suivante est vérifiée: $W_{min} < W_x < W_{max}$.
Chose qui a été vérifié, à ce moment-là, on peut dire que la série est homogène.

II.8 .2 -Etude de phénomène d'évaporation à Ain Zada

L'analyse graphique (Figure .4), de la variation chronologique de l'évaporation du plan d'eau,

montre que ce phénomène est cyclique, l'évaporation est minimale durant les mois froids et maximale durant les mois chauds.

L'évaporation mensuelle moyenne interannuelle est estimée à 148 mm. La valeur moyenne maximale (317 mm) est celle du mois de juillet et la valeur moyenne minimale (33.8 mm) est celle du mois de décembre.

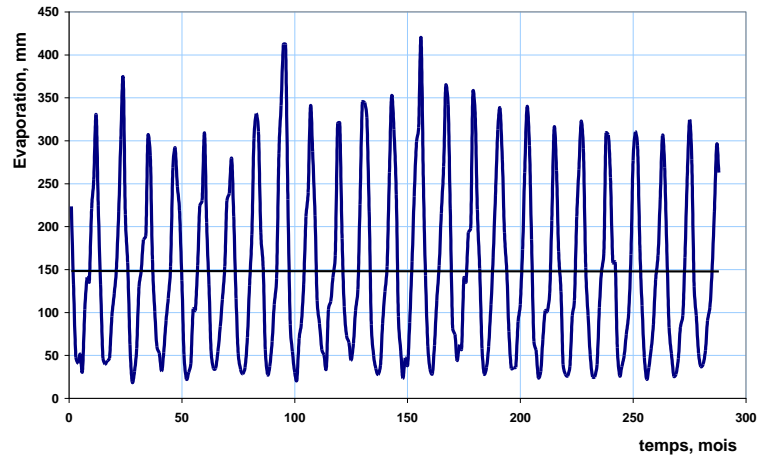


Figure .4 - Variation chronologique d'évaporation du plan d'eau mensuelle à Ain Zada.

Durant les sept mois : octobre, novembre, décembre, janvier, février mars et avril, l'évaporation mensuelle est inférieure à l'évaporation mensuelle moyenne interannuelle (148 mm). Leur somme est 519 mm et représente 29.2 % de l'évaporation moyenne interannuelle. Alors que durant les cinq autres mois : mai, juin, juillet, aout et septembre, l'évaporation mensuelle est supérieure à l'évaporation mensuelle moyenne interannuelle (148 mm). La somme de l'évaporation est 1259 mm et représente 70.8 % de l'évaporation moyenne interannuelle.

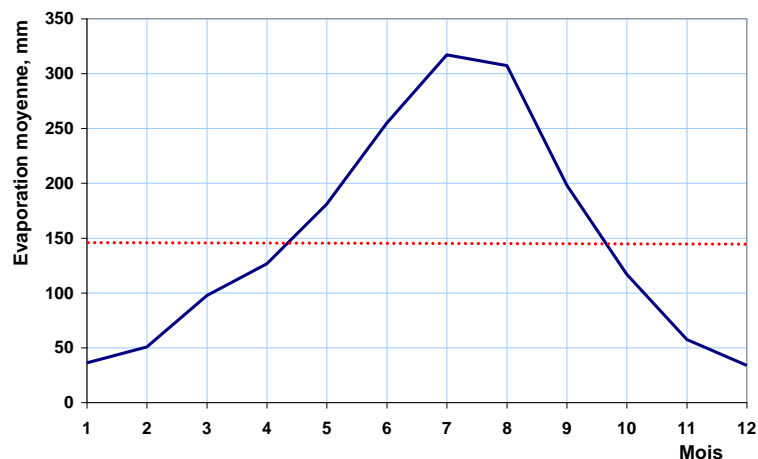


Figure .5 - Variation mensuelle de l'évaporation du plan d'eau, à Ain Zada.

II.8 .3- Etude de l'autocorrélation d'évaporation mensuelle au barrage d'Ain Zada

En admettant que l'évaporation du plan d'eau mesurée par l'évaporémètre est identique à celle du plan d'eau du barrage, pour des conditions météorologiques bien définies, et considérant l'inertie

thermique de la masse d'eau dans le barrage, il y a une dépendance entre les évaporations des mois successives. Analyse graphique (Figure .5) de l'autocorrélation de l'évaporation mensuelle, pour toute la durée des observations, a montré l'existence d'une autocorrélation, avec un coefficient de l'ordre de 0,8. Néanmoins, la dispersion des points sur le graphe, reste quand même très importante. D'où, il faut chercher l'influence d'autres facteurs.

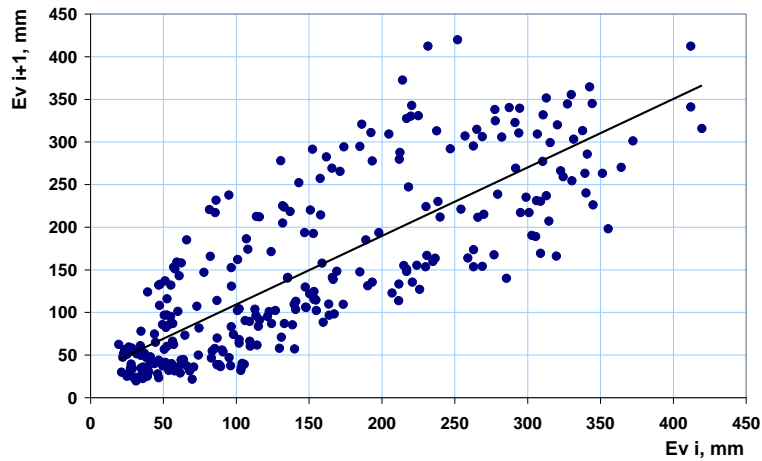


Figure. 6- Graphe de dépendance de l'évaporation des mois contigus

Parmi les paramètres qui ont une influence sur l'évaporation du plan d'eau, il y a la température de l'air et le volume d'eau (exprimé en termes de surface). Pour cela nous indiquons les valeurs de ces deux paramètres, d'après les documents de l'Agence Nationale des Barrages et des Transferts (A. N. B. T. de Ain Zada, dans les deux tableaux suivants:

Tableau.8- Valeurs de température en °C au niveau de station Ain Zada (ANBT)

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
1988	26,6	23,3	14,8	8,9	11,4	11,7	14	19,5	24,4	28,6	35	34
1989	27	21,7	16,8	13,6	10	11,8	17	16,1	23,7	26,7	33	33,4
1990	26,1	23,1	13,8	7,9	9,3	17,1	16	16,2	21,1	31,1	31	31
1991	27,8	18,7	13,8	9,6	10,1	9,3	14	14,8	19,5	28,6	34	33
1992	29,1	20,9	17	10,8	8,9	11,8	13	15,9	22,1	24,9	30	33,2
1993	26,2	21,9	13,5	11,5	11,1	9,4	14	17,7	23,8	31,8	34	33,6
1994	26,8	20	16,8	12,2	10	12,3	18	16	28	30,2	35	36,1
1995	26	22	15,8	12,5	8,9	14,9	13	16,9	25	28,9	24	31,6
1996	25,2	20,5	16,1	12,4	11,6	9,2	14	16,8	21,6	26	32	32,8

Tableau.9- Les volumes mensuels mesurés du site Ain Zada en Hm³(ANBT)

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------	------

1987	87,1	85,8	86,4	86,8	87,3	87,3	87,5	86,9	86,3	84,7	82,6	80,3
1988	79,1	77,5	77,2	85,8	91,6	97,4	101,0	104,5	104,5	105,4	103,6	101,3
1989	100,7	99,6	98,8	98,2	98,2	97,6	97,1	96,7	98,4	97,1	95,2	95,3
1990	94,1	92,9	94,8	96,9	98,8	101,1	108	111	111,2	114,5	110,6	106,6
1991	104,6	105,2	104,6	104,4	104,8	105,1	105,5	113,7	116,5	116,4	114,4	110,4
1992	107,5	105,3	104,3	106,3	117,9	124,1	124,9	123,7	122,4	118,8	113,2	108,3
1993	104,9	101,7	100,5	100,0	99,2	100,4	98,8	96,3	92,8	88,0	84,0	80,0
1994	80,5	88,8	86,9	84,9	99,2	106,6	116,8	117,3	114,5	112,4	107,1	102,3
1995	100,1	98,4	96,1	94,7	94,7	101,7	108,9	109,4	111,6	110,8	106,0	101,2
1996	97,7	95,3	93,2	92,4	91,4	89,9	87,1	84,5	81,4	77,4	73,3	69,7
1997	68,3	66,1	65,3	65,9	65,0	65,2	64,6	63,4	65,9	63,2	59,5	55,7
1998	64,1	62,2	62,5	62,2	74,3	88,7	92,1	90,8	87,6	80,6	80,0	75,5
1999	77,8	75,8	73,9	75,5	74,7	72,8	70,6	74,7	68,1	71,6	67,5	63,5
2000	62,3	60,2	57,7	57,0	57,6	60,6	58,7	56,2	53,7	50,3	46,6	43,0
2001	43,7	40,8	38,5	36,1	34,0	32,2	30,6	28,9	27,0	25,3	23,8	23,1
2002	21,3	19,7	23,6	41,9	74,3	101,4	107,7	125,3	124,6	123,1	118,9	116,4
2003	115,5	116,3	114,9	119,2	125,6	125,0	124,6	124,8	125,1	123,2	119,0	115,2
2004	109,2	106,4	106,0	107,8	122,0	123,3	121,9	121,8	119,7	116,4	112,9	108,6
2005	105,7	103,1	103,2	105,2	109,3	117,2	119,8	118,5	121,3	118,0	113,4	109
2006	110,4	107,1	104,2	103,5	101,9	100,6	105,0	113,0	114,0	111,0	101,0	102,0
2007	102,0	100,0	98,0	96,0	95,0	93,0	94,0	94,0	93,0	90,0	87,0	85,0
2008	83,7	82,9	82,1	82,5	98,5	108,0	116,0	122,0	120,0	116,0	111,0	107
2009	105,0	102,0	100,0	99,8	99,4	98,6	99,8	99,0	97,3	95,4	90,7	87,0

Après avoir collecté suffisamment de données pour les valeurs de volume du barrage ainsi que les valeurs de température, nous pouvons faire une analyse de la dépendance entre l'évaporation et la température de l'air et du volume d'eau.

II.8. 4 - Analyse de la dépendance entre l'évaporation et la température de l'air et du volume d'eau

L'évaporation du plan d'eau est l'échange de la vapeur d'eau à partir de la surface en contact avec l'atmosphère, Elle dépend du bilan thermique de la couche superficielle et de l'inertie thermique de la masse d'eau dans le barrage, exprimée par son volume. On considère que la température de l'air peut être considérée comme l'indice du bilan thermique, Pour l'intervalle du temps égal à un mois, nous considérons les valeurs moyennes.

L'analyse graphique de la dépendance de l'évaporation $E_{v,mens}$ avec la température moyenne t_{moyen} et le volume d'eau moyen dans le barrage V_{moyen} , a permis d'établissement de l'équation de la régression multiple suivante:

$$E_{v,mens} = 12.4t_{moyen} + 0,00000309 V_{moyen} - 389 \dots\dots\dots (3)$$

Cette dépendance est vérifiée avec un coefficient de régression multiple $r = 0,99$, Elle est vraisemblance, puisque la valeur d'erreur relative moyenne est de l'ordre de 14,9%.

En comparant les valeurs d'évaporation moyenne calculées et mesurées, le graphe (Figure 7) de cette dépendance, avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 0,99, montre que cette approche est relativement concluante.

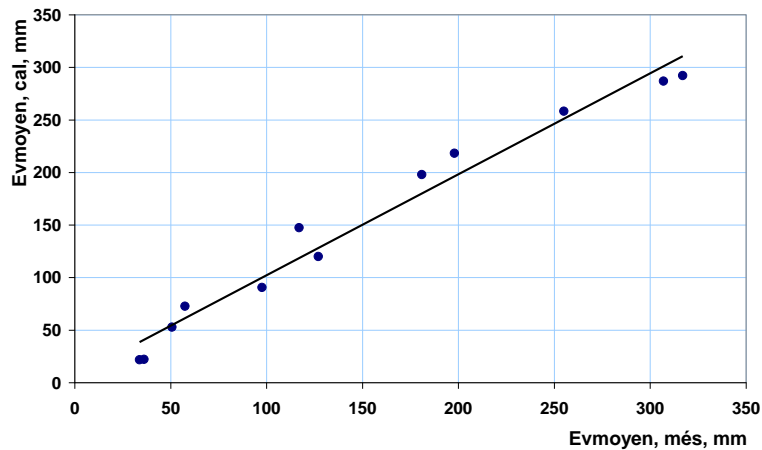


Figure.7 - Relation entre valeurs de l'évaporation moyenne mensuelle calculées et mesurées

II.8.5 - Evaluation de la quantité évaporée

Dont le but d'évalué le volume d'eau évaporé, il faut appliquer la formule 4.13, la transformation de la lame évaporée $E_{v,mens}$ en terme volume $V_{v,mens}$ est obligatoire, pour estimer l'ampleur des pertes résultant du phénomène d'évaporation, pour cela il faut exprimer la surface en fonction de volume pour l'exploitation des données de volume.

II.8. 6 -Estimation de volume des pertes par évaporation

Le volume mensuel des pertes d'eau, par évaporation, est calculé par la relation 4:

$$V_{eva} = 0,001 \times E_v \times \bar{S} \dots\dots\dots (4)$$

où:

V_{eva} - volume mensuel d'eau évaporée, en m^3 ,

0,001 - coefficient de conversion,

E_v - la lame d'eau évaporée en mm,

\bar{S} - surface moyenne du plan d'eau, dans le barrage, durant le mois, en m^2 .

Utilisant le levé bathymétrique de barrage, la corrélation existe ($R^2 = 0,99$) entre la surface et le volume de barrage est illustrée dans la Figure 8, cette bonne corrélation nous a permis de déduire une relation entre les deux valeurs.

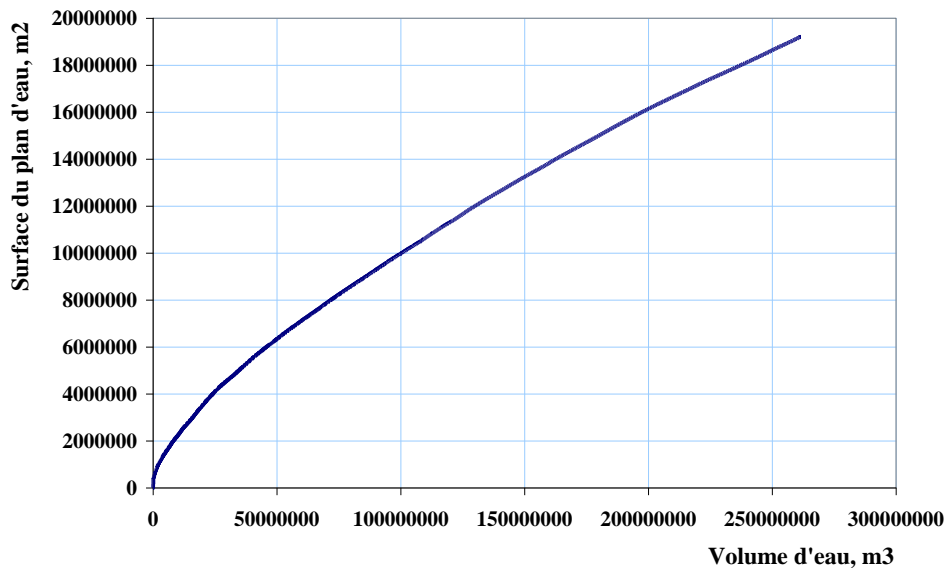


Figure. 8- Graphe de la relation $\bar{S} = f(\bar{V})$

La surface moyenne du plan d'eau est liée avec le volume moyen du barrage (Figure .8), est exprimée par une relation sous forme d'une équation de cinquième degré suivante:

$$\bar{S} = 5 \times 10^{-35} \bar{V}^5 - 4 \times 10^{-26} \bar{V}^4 + 10^{-17} \bar{V}^3 - 10^{-9} \bar{V}^2 + 0,1586 \bar{V} + 780190 \dots\dots\dots (II.6)$$

où-

\bar{S} - surface moyenne du plan d'eau du barrage, durant le mois, en m^2 ,

\bar{V} - volume d'eau moyen du barrage, durant le mois, en m^3 .

L'utilisation des formules (4), et (5) donne le volume mensuel évaporé au niveau de barrage Ain Zada, les résultats de calcul sont représentés dans le tableau II. 10 :

Tableau. 10- Estimation de volume des pertes par évaporation

n°	Mois	E_v en mm	V_{mens} de barrage en Hm^3	V_{eva} en m^3
1	Septembre	198	88056522	2316289
2	Octobre	117	86656522	1345582
3	Novembre	58	85769565	656132
4	Décembre	34	87086957	390418
5	Janvier	36	91943478	438274
6	Février	51	95556522	638755
7	Mars	98	97434783	1253089
8	Avril	127	98973913	1646378
9	Mai	181	98126087	2336103
10	Juin	255	96069565	3225316
11	Juillet	317	92230435	3866273
12	Aout	307	88973913	3622721

Le coût réel d'un mètre cube d'eau potable en Algérie, selon les déclarations faites par le directeur général de la Société Algérienne Des Eaux au journal An-Nahar le 12.09.2018, est d'au moins soixante dinars (60 DA). D'après le tableau précédent, le volume moyen d'eau perdu par évaporation par mois est de **1.811.277 m^3** . Le coût mensuel moyen de cette perte, calculé par le prix réel, est de 108.676.647 DA, et que le coût annuel moyen de cette perte est de 1.304.119.761 DA.

D'un autre côté, cette quantité perdue peut garantir l'approvisionnement d'une ville comme Bordj Bou Arreridj en eau potable pendant deux mois consécutifs.

Pour mieux comprendre la situation, notons la proportionnalité directe logique entre les mois les plus chauds et la quantité d'eau perdue par évaporation. Cette proportionnalité atteint son ampleur

croissante jusqu'au mois de juillet, où le volume d'évaporation maximal atteint quatre millions de mètres cubes, comme le montre par la courbe graphique dans la figure suivante.

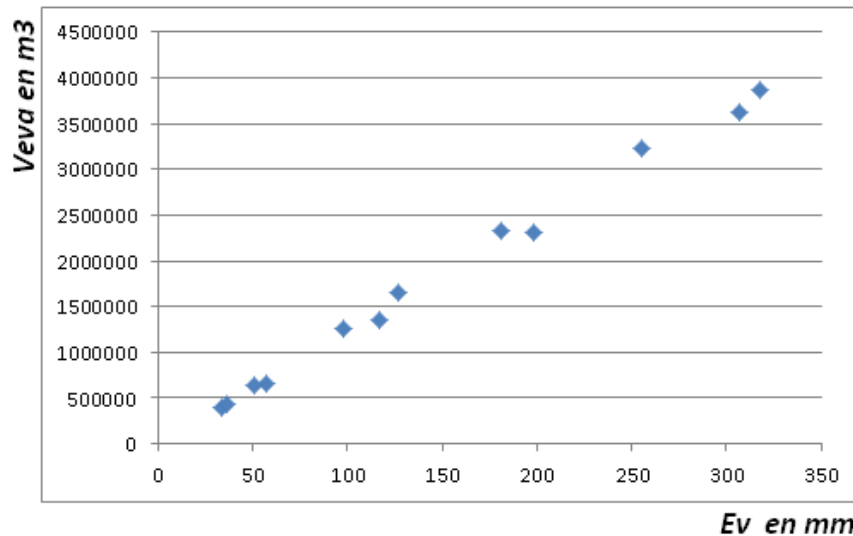


Figure. 9- Proportion entre le volume et la lame d'eau d'évaporation au niveau du barrage

Le coût élevé de cette perte (surtout au mois de juillet) pour le trésor public nous fait prendre les précautions nécessaires, au moins, pour réduire cette hémorragie.

Conclusion

Ce chapitre comprend une analyse des principales caractéristiques hydrologiques (évaporation, température, volume d'eau) qui ont implicitement interféré dans la mise en évidence de lutté contre l'évaporation au niveau de barrage Ain Zada. La série d'évaporation a été ajustée par différentes lois de probabilité pour vérifier son homogénéité. Nous avons également, à travers ce chapitre, identifié les principaux facteurs qui contribuent au phénomène d'évaporation, où les relations entre l'évaporation d'une part, le volume (exprimé par surface) et la température ont été discutées d'autre part. Trouver cette relation nous a permis de calculer le volume d'eau évaporée mensuellement et annuellement et de calculer le coût de ces pertes importantes. Anticiper ce phénomène et déterminer ses quantités avant qu'il ne se produise est nécessaire en créant un modèle prenant en compte toutes les caractéristiques du barrage telles que la capacité, la superficie, la température et la morphologie du barrage. C'est ce que nous essaierons d'inclure dans le chapitre suivant.

Chapitre III

*Prédétermination de volume évaporé et analyse
et discussion des solutions adéquates*

III .1- Introduction

Depuis son indépendance, l'Algérie a eu recours à la mise en place d'infrastructures dans tous les domaines de la vie, notamment ceux liés à la sûreté hydrique, au développement durable des secteurs agricole et industriel, à l'aménagement des villes et à leur approvisionnement en eau potable, en lançant d'immenses projets de construction de barrages et des retenues collinaires. Ces grands efforts doivent encore élaborer une feuille de route pour l'état d'urgence afin de faire face à la grave pénurie d'eau qui frappe l'Afrique du Nord depuis près de dix ans, causée par les changements climatiques auxquels le monde assiste en raison du réchauffement climatique. Cette carte signifie la réalisation d'un système d'alerte précoce en reliant les barrages situés dans les zones côtières avec leurs homologues dans les régions de l'intérieur pour améliorer les ressources en eau dans les zones moins pluvieuses, en particulier dans les hautes plateaux, dans ce que nous appelons la réalisation de grands transferts. D'autre part, lancer des études sérieuses et réalisables pour identifier des sites pour la construction de nouveaux barrages et pour renforcer la capacité à collecter la plus grande quantité d'eau possible en prévision de sécheresses prolongées. Le décideur en Algérie doit garder à l'esprit les conditions climatiques qui prévalent en Algérie, car elle est déjà située dans des régions arides ou semi-arides, indépendamment du changement climatique, ce qui a exacerbé le problème de la rareté des précipitations. La hausse des températures à un rythme record a entraîné une augmentation du phénomène d'évaporation, ce qui implique de prendre des mesures préventives pour réduire le phénomène et protéger la ressource en eau stockée au sein de cette carte proposée.

III .2- Prédétermination d'évaporation

Une perte de volume très élevée est enregistrée annuellement. Le phénomène de l'évaporation des lacs de barrages en Algérie est considérable. Notre barrage est équipé d'un bac Colorado, installé à proximité de la retenue. Ce bac permet aux techniciens de prendre des mesures journalières de l'évaporation. Il est intéressant de constater que durant la période 1992-2002, la quantité évaporée représente la moitié du volume consommé par l'irrigation, l'alimentation en eau potable et l'industrie, ce qui est considérable. La valeur maximale de l'évaporation enregistrée a été de 350 millions de m³ d'eau durant l'année 1992/1993 par contre, la valeur

minimale avoisine les 100 millions de m^3 mesurée en 2001/2002 (REMINI, 2005). La moyenne annuelle de l'évaporation est de 250 millions de m^3 pour les 39 barrages d'une capacité totale de 3,8 milliards de m^3 , soit une perte moyenne annuelle de 6,5 % de la capacité totale. Le volume total d'eau perdue durant dix années d'exploitations (1992-2002) avoisine la valeur de 2,5 milliards de m^3 (Remini, 2005).

A travers notre revue des recherches bibliographiques (voir le premier chapitre), nous avons constaté que la majorité des modèles proposés, sinon tous, dépendent d'une part de la complexité (quantité des données et la difficulté à les obtenir) et qu'ils ne sont pas basé sur la prédiction, car ils utilisent des données existantes pour trouver un phénomène dans le même intervalle de temps et avec des erreurs qui dépassent parfois 50%. Ce sont les choses que nous avons essayé d'éviter en proposant le nouveau modèle.

D'après l'analyse de l'évaporation dans le chapitre II, on peut remarquer qu'il y a une corrélation attirant l'attention entre l'évaporation de mois actuel E_{vi} et le mois suivant E_{vi+1} . La figure suivante montre cette dépendance.

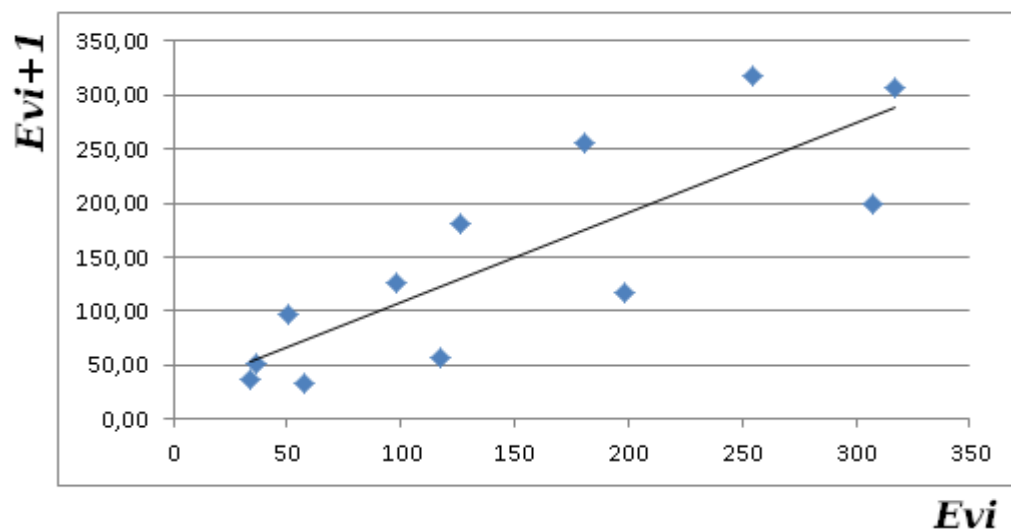


Figure.1- Corrélation entre E_{vi+1} et E_{vi}

Cette corrélation entre ces deux valeurs exige la recherche d'une relation entre les deux parties ($E_{vi+1} = f(E_{vi})$), d'autre terme, une relation de prédétermination pour déduire la valeur d'évaporation des mois futures en fonction des mois actuels en tenant compte directement les données des mois actuels représenté par le volume (surface) et la température. Par la

connaissance d'évaporation actuelle E_{vi} on peut trouver E_{vi+1} (évaporation du mois futurs). Le terme E_{vi} (évaporation mesurée de mois actuel) est exprimé dans le chapitre II en fonction de volume moyen de barrage V de le mois en cours et la température moyenne t de même mois que le volume V , d'où on peut transférerait cette dépendance direct sous la forme

$E_{vi+1} = f(V_i, t_i)$. L'expression suivante présente le terme E_{vi+1} :

$$E_{v,i+1} = | 12,56V_i + 9,67t_i - 1207,95 | \dots\dots\dots (1)$$

où:

$E_{v,i+1}$ - lame d'évaporation en valeur absolu du mois $i+1$, en mm,

V_i - volume moyen du barrage du mois en cours i , en Hm^3 ,

t_i - température moyenne de l'air du mois en cours, en $^{\circ}C$,

III .3- Validation de nouveau model et estimation des erreurs

Pour connaître l'efficacité du modèle proposé, nous avons calculé la valeur absolue de la hauteur d'évaporation future sur la base des données du volume moyen et de la température moyenne. Après cela, nous avons comparé l'évaporation calculée avec celle mesurée, afin de connaître le degré d'erreur commis lorsque nous nous appliquons le model de l'équation (.1), appliquant la formule suivante:

$$\Delta_{Ev} = \left| \frac{E_{vi+1c} - E_{vi+1m}}{E_{vi+1m}} \right| \times 100 \dots\dots\dots (.2)$$

Avec-

Δ_{Ev} - *Errer comise* %

$E_{(vi+1)c}$ - Evaporation calculée par le model proposé,

$E_{(vi+1)m}$ - Evaporation mesurée dans le barrage (données de ANBT).

À travers le tableau n° nous avons illustré les résultats de calcule de cette comparaison:

Tableau.1- Comparaison des résultats

Mois E_{vi}	Mois E_{vi+1}	Valeurs de $(E_{vi+1})_m$	V en Hm^3	t en $^{\circ}C$	$(E_{vi+1})_c$	Δ_{Ev} %
<i>Septembre</i>	<i>Octobre</i>	117	88	27	157	34
<i>Octobre</i>	<i>Novembre</i>	58	87	21	87	51
<i>Novembre</i>	<i>Décembre</i>	34	86	15	18	47
<i>Décembre</i>	<i>Janvier</i>	36	87	11	7	80
<i>Janvier</i>	<i>Février</i>	51	92	10	45	11
<i>Février</i>	<i>Mars</i>	98	96	12	108	10
<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	127	97	15	159	25
<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	181	99	17	196	8
<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	255	98	23	249	2
<i>Juin</i>	<i>Juillet</i>	317	96	29	275	13
<i>Juillet</i>	<i>Aout</i>	307	92	32	260	15
<i>Aout</i>	<i>Septembre</i>	198	89	33	230	16

L'erreur type moyenne commise lors de l'application de ce modèle est de 26 %, ce qui est généralement acceptable pour prédire le phénomène. Là où le phénomène d'évaporation reste à approfondir, avec des modèles plus simples loin d'être complexes, comme c'est actuellement le cas dans les recherches bibliographiques, tout en réduisant les valeurs d'erreur pour arriver à des modèles plus précis.

III .4 - Les solutions agréent pour lutter contre l'évaporation

Il existe plusieurs méthodes physiques, chimiques et biologiques pour réduire l'évaporation des surfaces d'eau, sachant que chaque méthode a des avantages et des inconvénients, ce qui nous aide à choisir la méthode appropriée pour le barrage d'Ain Zada dans willaya de Bordj Bou Arreridj.

A- Les méthodes physiques

Parmi les méthodes physiques utilisées, pour réduire le phénomène d'évaporation, on peut citer méthodes de réduction de l'évaporation qui utilisent des couvertures flottantes, les méthodes qui utilisent des couvertures suspendues et celles par injection de bulles d'air dans

l'eau (panache de bulles), le troisième type de ces méthodes est peu courant, et c'est ce qui nous a fait le mentionner ici sans le détailler plus tard (Yao et al., 2010).

A.1- Méthodes physiques de réduction de l'évaporation qui utilisent des couvertures flottantes

Généralement les couvertures continues flottantes constituent une barrière imperméable qui flotte à la surface de l'eau pour la réduction d'évaporation. Le polystyrène, la mousse et la cire ont été testés comme matériaux utilisés pour la fabrication de couvertures continues flottantes, mais le plastique polyéthylène s'est avéré être le matériau le plus acceptable et le plus durable pour les couvertures de ce type (Craig, 2005).



Figure. 2- Les couvertures continues flottantes

Contrairement aux couvertures flottantes continues, les couvertures flottantes modulaires sont des unités individuelles qui peuvent flotter librement et ne recouvrent pas complètement la surface de l'eau ; par conséquent, ils augmentent le transfert d'oxygène dissous à travers les espaces ouverts formés entre eux (Baldwin, 2010) ; Les aqua-caps et les boules d'ombrage sont des exemples de couvertures modulaires flottantes utilisées.



Figure .3- Les couvertures flottantes modulaires

Une étude a été réalisée à l'échelle du laboratoire pour estimer l'efficacité des éléments flottants à réduire les pertes par évaporation des réservoirs d'eau. Ils utilisaient deux petits bassins, couverts et découverts. Le bassin couvert était un réservoir d'eau de forme carrée d'une superficie de $1,44 \text{ m}^2$ et d'une profondeur de $0,16 \text{ m}$ tandis que les disques flottants étaient des disques en polystyrène de couleur noire et blanche de $0,2 \text{ m}$ de diamètre et de $0,02 \text{ m}$ d'épaisseur qui couvraient 91% de la surface de l'eau. L'influence du vent et du rayonnement à ondes courtes sur les taux d'évaporation de la surface de l'eau a été prise en compte en utilisant une soufflerie en amont et quatre sources lumineuses. Les résultats ont montré que l'évaporation du réservoir couvert était réduite d'environ 80% par rapport à la surface d'eau non couverte. Cependant, les changements de couleur de la couverture n'ont pas modifié de manière significative le taux d'évaporation (Aminzadeh et al., 2018).

A.2- Méthodes physiques de réduction de l'évaporation qui utilisent des couvertures suspendues

Toile d'ombrage- Les toiles d'ombrage sont des structures suspendues installées sur des surfaces d'eau avec des poteaux de support et des câbles en acier. Cette couverture réduit l'action du vent et bloque le rayonnement solaire entrant, par conséquent, elle réduit les taux d'évaporation des surfaces d'eau (Baldwin, 2010). La toile d'ombrage est économiquement utilisée pour les petits réservoirs d'une superficie inférieure à 10 hectares. Le principal inconvénient de cette méthode est le coût d'investissement relativement élevé pour la

construction, mais cela a maintenant été dépassé en Malaisie grâce à une nouvelle machine à tricoter les toiles d'ombrage, qui produira des rouleaux plus larges et, par conséquent, réduira le nombre de câbles installés (**Craig, 2005**).



Figure.4- Technique de Toile d'ombrage contre l'effet d'évaporation

Une étude réalisée dans des conditions estivales dans le sud de l'Espagne (pour estimer l'efficacité des filets d'ombrage à réduire l'évaporation des surfaces d'eau libres. Ils ont testé 2 réservoirs d'eau, l'un découvert et l'autre recouvert de différents types de couvercles d'ombrage. Il a été montré que les couvertures d'ombrage entraînaient une diminution de l'évaporation de 50 %. Cette étude a montré qu'il existe certaines exigences qui influent sur le choix du matériau de la toile d'ombrage, telles que sa couleur, sa porosité et sa capacité à améliorer la condensation (**Martínez et al., 2006**).

B- Méthodes chimiques pour réduction de l'évaporation

Cette méthode repose sur l'utilisation de produits chimiques capables de former un film mince de l'ordre de 2 microns à la surface de l'eau. Les premières expériences avec cette méthode ont été faites en Australie dans les années 1950 (**Barnes 2008, McJannet et al., 2008**) . et les taux de réduction de l'évaporation étaient de l'ordre de 10 à 40 % et même de 50 %. Les valeurs de taux de réduction signalées dépendent de plusieurs facteurs liés à la taille du plan d'eau et aux conditions météorologiques, au produit chimique. Parmi les produits chimiques, l'hexadécanol et l'octadécanol sont les plus largement utilisés en raison de leur vitesse de

diffusion élevée et de leur résistance à l'évaporation. Ces deux alcools, selon Wiltzius (1965), à longue chaîne ne sont pas toxiques et ne présentent aucun danger pour la santé humaine (Saggai et al. 2016).

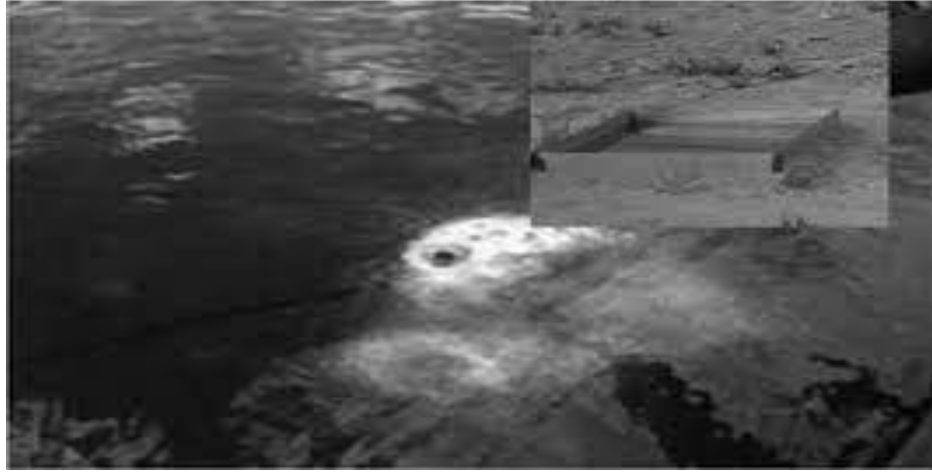


Figure .5- Réduction de l'évaporation par l'injection des produits chimiques (Saggai et al., 2016).

C- Méthode de couvertures biologiques

Parmi les méthodes utilisées dans les couvertures biologiques il y a deux techniques couramment utilisées, l'une s'appelle plantes flottantes et l'autre connue comme brise-vent:

C.1- Plantes flottantes- Les plantes aquatiques flottantes telles que le nénuphar, la petite lentille d'eau, la grande lentille d'eau et la farine d'eau peuvent réduire l'évaporation des réservoirs d'eau en empêchant la connexion entre l'air et la couche limite de l'eau.

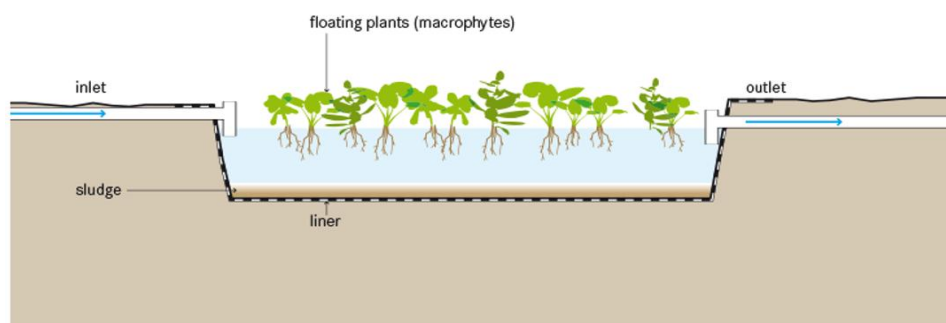


Figure.6- Schéma pour la technique de plantes flottantes

Des études en Thaïlande ont montré que les lentilles d'eau peuvent réduire l'évaporation jusqu'à 10 %. Cependant, toutes les plantes aquatiques ne réduisent pas efficacement les taux d'évaporation. Pour l'instant, le lotus d'eau et la jacinthe d'eau ont de larges feuilles étendues qui augmentent la surface de transport et les taux d'évaporation. De plus, certaines plantes aquatiques peuvent affecter la qualité de l'eau et la dynamique de la flore naturelle, par conséquent, des recherches sur l'efficacité de l'utilisation des plantes aquatiques doivent être menées avant de les utiliser dans un réservoir d'eau (Elba, 2017).

C.2- Brise-vent- Le vent est l'un des facteurs les plus importants qui affectent le taux d'évaporation des surfaces d'eau. La plantation d'arbres perpendiculaires à la direction du vent est une méthode efficace pour réduire les pertes par évaporation.

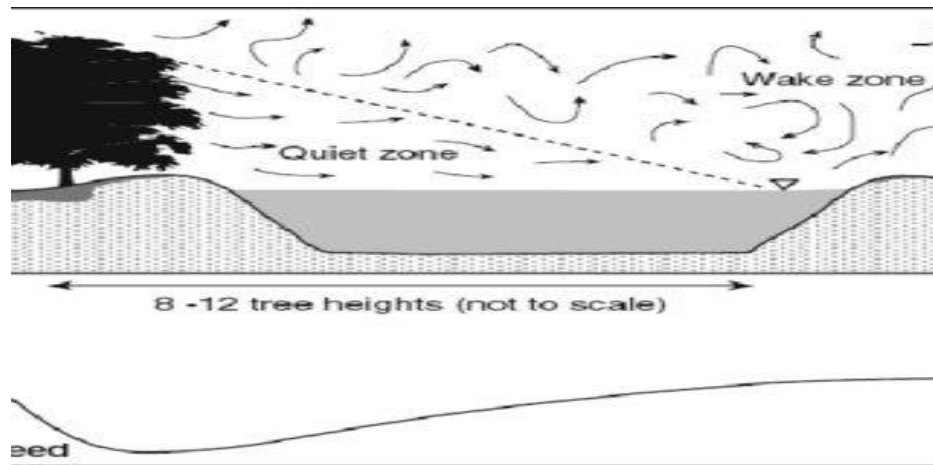


Figure .7- Schéma pour la technique de brise-vent

Une étude, qui a été menée sur le barrage de Wivenhoe dans le Queensland en Australie, a montré que les brise-vent, constitués de « brise-vent » arborés, réduisent la vitesse du vent de 80 % sur une distance de 5 m fois la hauteur de l'arbre (H). Les résultats ont également montré que les réductions annuelles de l'évaporation de 2,5, 3,6 et 5,6 % peuvent être atteintes pour des brise-vent de 20, 30 et 40 m de hauteur respectivement. Ces pourcentages ont été estimés encore plus faibles, à 1,1, 2,0 et 3,8 % à 60 % de l'approvisionnement total. Cependant, les brise-vent ne sont efficaces que pour les réservoirs de petite taille et ne sont pas utiles dans les grands réservoirs (Helfer et al., 2009).

III .5- Notre approche adoptée pour la conservation du barrage contre le risque d'évaporation

En fin comme conclusions, on peut critiquer ces méthodes en soulignant les avantages et les inconvénients comme suit:

- A- Pour les méthodes physiques malgré que la réduction de l'évaporation peuvent économiser un grand pourcentage d'eau (plus de 70 %), même si les coûts de maintenance ne sont pas chers, mais leurs coûts d'investissement sont élevés.
- B- Les méthodes chimiques de réduction de l'évaporation ne sont pas efficaces du tout, surtout en présence de vagues fortes ou hautes à l'intérieur du barrage, ce qui entraîne la perte de l'efficacité du produit chimique. Indépendamment de cet aspect, cette méthode n'est pas efficace à des températures élevées, et son rendement à des températures normales est modeste.
- C- La méthode des couvertures biologiques reste rare et l'ampleur de son rendement est inconnue. Cependant, l'eau puisée et utilisée pour la transpiration par les plantes doit être prise en compte pour estimer l'efficacité de leur utilisation à des fins de réduction de l'évaporation.

Pour la solution la plus adéquate pour le site Ain Zada, on opte pour la méthode de séparation physique utilisant les couvertures flottantes modulaires. Cette technique est utilisée par des pays similaires à l'Algérie comme le sud de l'Espagne et l'Australie malgré que leurs coûts d'investissement sont élevés, mais de point de vue rendement sont très efficaces. Cette technologie permet un échange d'air avec la surface de l'eau, ce qui conduit à ce que la surface du barrage reste en état de ventilation, ce qui est important car cela facilite le traitement de l'eau destinée à la consommation et évite la formation de couches fermentescibles.

Conclusion

Avec les risques croissants du réchauffement climatique, qui est clairement visible et les effets désastreux qui en découlent représentés par les incendies de forêt, en plus des inondations massives qui ont affligé de nombreux pays, il est devenu nécessaire et certain de trouver des alternatives réelles et efficaces pour lutter contre ces effets. En ce qui concerne l'effet des températures élevées, qui ont entraîné une augmentation du phénomène

d'évaporation, notant que le site du barrage d'Ain Zada, qui est concerné par cette étude, s'étend sur une vaste zone, chose qui a aggravé la situation, ce qui nous a incités à proposer un modèle prospectif pour estimer le volume d'eau perdu par évaporation, qui prend en compte la taille moyenne du barrage en plus de la température moyenne. Le modèle offre une grande efficacité pour prédire le volume évaporé avant qu'il ne se produise. Au final, pour que le sujet de l'étude soit plus réaliste, nous avons présenté une discussion sur les types de méthodes utilisées pour réduire l'effet de l'évaporation sur la capacité de stockage du barrage Ain Zada. Nous avons trouvé que de séparation physique utilisant les couvertures flottantes modulaires est la solution la plus adéquate de notre site.

Conclusion générale

Conclusion générale

Outre les nombreux obstacles qui entravent la mobilisation des ressources en eau pour notre pays, principalement représentés par la rareté des ressources en eau, en raison du manque de précipitations, en plus la rareté des ouvrages de stockage et de l'envasement des barrages. Le phénomène d'évaporation est considéré comme l'un des obstacles les plus importants qui posent un défi au stockage de l'eau dans les barrages. Les températures que le pays a connues ces derniers temps ont grandement contribué à l'augmentation d'évaporation à des niveaux record au niveau de Barrage Ain Zada. Dans notre effort pour rectifier ce phénomène et réduire ses effets sur la capacité de stockage du barrage, au début de cette étude, nous avons collecté des données liées au phénomène représenté dans la série d'évaporation qui ont été mesurées sur place, en plus des valeurs de température pour la zone concernée par l'étude, et nous avons également pris les valeurs de volume du barrage à travers plusieurs années. Toutes ces données ont fait l'objet d'études et d'analyses dans le but de les utiliser ultérieurement pour trouver le volume annuel d'évaporation et d'évaluer les pertes économiques qui en résultent.

Quant à la deuxième étape, qui consiste à anticiper le phénomène dans le cadre de la solution avant qu'il ne se produise, dont l'un des résultats a été de trouver un modèle permettant d'utiliser les données disponibles à un moment et à une période spécifiques pour déterminer le volume d'évaporation pour la prochaine période. Le modèle proposé utilise le volume moyen au niveau du barrage et la température moyenne de même durée que le volume mesuré. Le modèle proposé a donné des résultats acceptables à cet égard.

Dans le but de rendre cette étude efficace et pratique, nous sommes passés à la troisième étape en discutant des solutions proposées afin que nous puissions faire une comparaison et déterminer la solution appropriée qui prend en compte les aspects techniques et économiques, qui peuvent être projetées sur le cas en Algérie, pour réduire le phénomène d'évaporation.

De nombreuses méthodes ont été testées et développées dans le monde entier pour économiser l'eau du processus d'évaporation. Notre étude présente un état des lieux des travaux de recherche publiés dans ce domaine depuis l'année 2018 dans lequel il était axé sur les aspects physiques, chimiques et biologiques.

Pour les méthodes de réduction de l'évaporation des surfaces d'eau. Les principales caractéristiques, ainsi que les avantages et les inconvénients de chaque méthode sont indiqués. Parmi ces techniques utilisées pour réduire l'évaporation figurent les méthodes physiques qui utilisent des couvertures flottantes ou suspendues et permettent d'économiser un grand pourcentage d'eau (entre 70 et 95%). De plus, les produits chimiques sont actuellement largement utilisés pour réduire l'évaporation de l'eau, tels que WaterSavr, et peuvent économiser relativement peu d'eau (entre 20 et 40%). Les méthodes biologiques telles que les plantes flottantes, les brise-vent et les feuilles de palmier peuvent fournir une diminution significative du volume d'évaporation mais elles ont certaines restrictions sur leurs utilisations. Nous avons choisi la méthode de séparation physique utilisant les couvertures flottantes modulaires comme une solution au niveau de site Ain Zada. Il reste à noter que le phénomène a fait l'objet de plusieurs études et expérimentations, comme nous l'avons évoqué dans la recherche bibliographique. Ce qui est remarquable, c'est que la plupart des modèles proposés se caractérisent par la complexité, en plus de cela ils nécessitent des données qui sont difficiles à atteindre. D'autre part, ce que l'on reproche aux modèles existants, c'est l'absence de l'aspect prédictif du phénomène pour le déterminer dans la période à venir, avec son enregistrement d'erreurs pouvant dépasser 50% dans de nombreux cas. Pour notre part, nous avons essayé d'éviter tous ces défauts à travers le modèle proposé. Ce phénomène nécessite encore des efforts plus profonds et plus importants pour l'éviter tout en fournissant des solutions plus efficaces avec des modèles plus précis, que nous adopterons dans nos recherches à la future.

Référence bibliographique

Référence bibliographique

- Abdelwaheb Sari Ahmed – Bilan hydraulique de l’Algérie - Cours initiation a l’hydrologie de surface – Edition distribution Houma – 2002.
- Achi, K- Les ressources en eau de l’Algérie, Donnée, Observation et perspectives dans le rapport sur la rencontre nationale sur l’eau, Alger 18 et 19 Décembre 1993.
- Ahsan, A. *et al.* (2011) “Evaporation phenomenon inside a solar still: From water surface to humid air,” *Evaporation, Condensation and Heat transfer* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.5772/19921>.
- Barnes, G. T. & Quickenden, TI 1971, "Résistance à l'évaporation théorique d'un réseau hexagonal de molécules monocouches », *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 37, p. 581-4.
- Barnes, G.T., 2008. Le potentiel des monocouches pour réduire l'évaporation de l'eau des grands réservoirs d'eau. *Agricultural Water Management*, 95 (4), 339–353. doi:10.1016/j.agwat.2007.12.003
- Boudiko M. I- L'évaporation dans les conditions naturelles. *Guidrométéoizdat*, 1948.
- E. Elba, Stratégies de protection et de gestion durable de l'environnement ou le plus haut barrage d'Assouan en Égypte compte tenu du changement climatique, *disserta verlag*, Hambourg, page 36 (2017)
- F. Helfer, H. Zhang, C. Lemckert, *Evaporation Reduction by Windbreaks: Overview, Modeling and Efficiency*, Urban Water Security Research Alliance, rapport technique n° 16 (2009)
- Gouchlia A. V. et Mezentsev V. S. Les recherches du bilan hydrique. *Vicha Chkola*, 1982.
- H. Baldwin, *Évaluation des couvertures rigides flottantes sur les grands stockages d'eau*, Urban Water Security Research Alliance, technical report No. 27, (2010)
- I.P. Craig, *Perte d'eau de stockage due à l'évaporation - une revue de la littérature*. NCEA publication, University of Southern Queensland, Australia (2005)
- Ladjel Mahmoud- Contribution à la méthode de régularisation de l’écoulement en des oueds. 2^{ème} Séminaire National sur l’Eau et l’Environnement ‘2SN2E’, 12 et 13 Novembre 2005, Béchar.[20]- Lapparent, *Abr. géol.*, 1886, p. 47).
- Ladjel Mahmoud- Contribution à la méthode de régularisation de l’écoulement en des oueds. 2^{ème} Séminaire National sur l’Eau et l’Environnement ‘2SN2E’, 12 et 13 Novembre 2005, Béchar. [20]- Lapparent, *Abr. géol.*, 1886, p. 47.

- l'eau 84, 229-239 (2006)
- M. Aminzadeh, P. Lehmann, and D. Or, J. Hydrol. Earth Syst. Sci. **22**, 4015–4032 (2018)
- M. Aminzadeh, P. Lehmann, and D. Or, J. Hydrol. Earth Syst. Sci. **22**, 4015–4032 (2018)
- McJannet, D., Barnes, G.T., M. Aminzadeh, 2008. Réduction de l'évaporation par les monocouches: panorama, modélisation et efficacité. Technical Report no. 6. Queensland: Urban Water Security Research Alliance.
- MEYER, J.W. (1989) "Foreword," *New Citizens for a New Society*, pp. xv-xviii. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-036461-2.50006-8>.
- Mezentsseva V. S . les calculs du bilan hydrique. Omsk, 1976
- P. Babu, H. S. Eikaas, A. Price, D. Verlee, *Reduction of Evaporative Losses from Tropical Reservoirs using an Environmentally Safe Organic Monolayer*, proceeding of Conference of Singapore International Water Week, at Singapore, (2010).
- Penman, H.L. (1948) "Physics in agriculture," *Journal of Scientific Instruments*, 25(12), pp. 425–432. Available at: <https://doi.org/10.1088/0950-7671/25/12/326>.
- Ramsankaran, R.A.A.J. and Eldho, T.I. (2022) "Sequential Enkf assimilation of sensitive soil moisture observations to improve streamflow estimation." Available at: <https://doi.org/10.22541/essoar.167214394.40529740/v1>.
- Remini, B., Achour, B. and Kechad, R. (2010) "La foggara en algérie : Un Patrimoine Hydraulique mondial," 23(2), pp. 105–117. Available at: <https://doi.org/10.7202/039903ar>.
- Remini, B., Leduc, C. and Hallouche, W. (2009) "Évolution des grands barrages en régions arides : Quelques exemples algériens," *Sécheresse*, 20(1), pp. 096–103. Available at: <https://doi.org/10.1684/sec.2009.0172>.
- Rouissat Bouchrit- la gestion des ressources en eau en Algérie : situation, défis et apport de l'approche systémique- journée mondiale de l'eau, Tlemcen, 2008.
- S. saggai, D. Boutoutaou and O. E. Bachi, *IJETAE* **5**, 1 (2015)
- Savarensky A. D. Régularisation de l'écoulement fluvial par les barrages. M. Edition A. S. de l'URSS, 1951.
- Sofiane Saggai, Djamel Boutoutaou & Mohamed Lakhdar Saker (2016). Réduction de l'évaporation des eaux dans les barrages: une stratégie pour augmenter les stockages de

l'eau dans les régions arides algériennes, *Hydrological Sciences Journal*, 61:8, 1548-1554, DOI: 10.1080/02626667.2014.988156

- Sokolovsky D. L. L'écoulement fluvial. Guirométéoizdat, Leningrad, 1959
- Tchebotariov A. I- *Hydrologie général.Guidrométéoizdat, Leningrad, 1975*
- V. Martínez Alvarez, A. Baille, J.M. Molina Martínez, M.M. Gonza'lez-Real, J. Agric. Gestion de
- Weick, P. 2003, Instrumentation Assessment for Evaporation from Dams *Bachelor of Engineering Research Project Dissertation, Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, Toowoomba, Australia.*
- Wiltzius, W.J., 1965. Évaluation de l'influence des films monomoléculaires d'alcool à longue chaîne sur les insectes, les poissons et la faune. (contract no. 14-06- D-3777). US Bureau of Reclamation
- X. Yao, H. Zhang, C. Lemckert, A. Brook, P. Schouten, *Réduction de l'évaporation par les couvertures suspendues et flottantes : aperçu, modélisation et efficacité, rapport technique No. 28* (2010)

ملخص- ظاهرة التبخر ظاهرة شائعة يتم دراستها في سياق الدورة الهيدرولوجية والتي اكتسبت أهمية في الجزائر والعالم بعد تغير المناخ في السنوات الأخيرة. وقد تم تسجيل أهم مظاهر هذا التغير المناخي في الارتفاع الحاد في درجات الحرارة ، خاصة في المناطق شبه القاحلة. أدت الزيادة الملحوظة في درجات الحرارة إلى انخفاض في السعة التخزينية للسدود المخصصة للري أو إمدادات مياه الشرب ، بسبب زيادة التبخر على أسطح هذه الخزانات ، نتيجة لا محالة من ارتفاع درجات الحرارة. هذه الدراسة عبارة عن رصد وتوقع لتأثير هذه الظاهرة على السعة التخزينية لسدودنا ، وقد اتخذ سد عين زادة بولاية برج بوعريش نموذجا لهذه الظاهرة ، من خلال قياسات التبخر من الماء. الجسم والحجم الحالي للسد وسلسلة درجات الحرارة. العلاقة الموجودة بين هذه المعلمات (الحجم ، السطح ، درجة الحرارة) تجعل من الممكن العثور على هذا التنبؤ كمؤشر على انخفاض سعة التخزين. يعد هذا البحث أيضا حافزا لضرورة اتخاذ تدابير لتقليل التأثير وإيجاد حلول لهذه الظاهرة ، حيث أن مصادر المياه المخزنة تمثل الأمن المائي لأي بلد

الكلمات المفتاحية: التبخر ، الحرارة ، التغير المناخي ، الفقد ، السد ، سعة التخزين

Abstract- The phenomenon of evaporation, is a common phenomenon that is studied in the context of the global hydrological cycle, which has gained importance in Algeria and in the world after climate change in recent years. The most important manifestation of this change in climate has been recorded in the sharp increase in temperature degrees, especially in semi-arid areas. The increase in temperature observed has led to a decrease in the storage capacity of dams intended for irrigation or drinking water supply, due to the increase in evaporation on the surfaces of these reservoirs, a consequence inevitable from rising temperatures. This study is a monitoring and forecasting of the impact of this phenomenon on the storage capacity of our dams, the Ain Zada dam in the wilaya of Bordj Bou Arreridj was taken as a model for this phenomenon, through measurements on evaporation from the water body, the existing volume of the dam and the temperature series. The relationship that exists between these parameters (volume, surface, temperature) makes it possible to find this forecast as an indication of the reduction in storage capacity. This research is also an incentive for the need to take measures to reduce the impact and find solutions of this phenomenon, since stored water sources represent the water security of any country.

Keywords: evaporation, temperature, climate change, loss, dam, storage capacity.

Résumé- Le phénomène d'évaporation, est un phénomène courant qui est étudié dans le cadre du cycle hydrologique global, qui a pris de l'importance en Algérie et dans le monde après le changement climatique ces dernières années. La manifestation la plus importante de ce changement en climat a été enregistrée dans la forte augmentation de degrés des températures, surtout dans les zones semi-aride. L'augmentation de la température observée a entraîné une diminution de la capacité de stockage des barrages destinés à l'irrigation ou à l'alimentation en eau potable, en raison de l'augmentation de l'évaporation sur les surfaces de ces réservoirs, conséquence inévitable de l'augmentation des températures. Cette étude est un suivi et prévision de l'impact de ce phénomène sur la capacité de stockage de nos barrages, le barrage d'Ain Zada dans la willaya de Bordj Bou Arreridj a été pris comme modèle pour ce phénomène, à travers des mesures sur l'évaporation du plan d'eau, le volume existe du barrage et la série de température. La relation qui existe entre ces paramètres (volume, surface, température) permet de trouver cette prévision comme indication sur la diminution de capacité de stockage. Cette recherche est également une incitation à la nécessité de prendre des mesures pour réduire l'impact et trouvé des solutions de ce phénomène, étant donné que les sources d'eau stockées représentent la sureté hydrique de tout pays.

Mots clés : évaporation, température, changement climatique, perte, barrage, capacité de stockage.