

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

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة حسيبة بن بوعلي- الشلف

Université Hassiba Benbouali-Chlef

كلية الهندسة المدنية و المعمارية

Faculté de Génie Civil et d'Architecture

قسم الري

Département d'hydraulique



## PROJET FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du Diplôme de **Master en Hydraulique**

**Spécialité: Hydraulique Urbaine**

*Thème*

**GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU D'UNE  
RETENUE, APPLICATION DU MODEL WEAP POUR  
LE CAS DE BARRAGE DE SIDI YAACOUB**

**Présenté par :**

BOUGHARI Kaouther

BENDACHA Nawal

**Dirigé par:**

BENABOURA Leila

Soutenu le 18 septembre 2024 devant le jury composé de

H.Benaouda

Président

S.Abaidia

Examineur

M<sup>me</sup>L.Benaboura

Encadreur

**Année universitaire :2023/2024**

---

## *Dédicaces*

---

Merci **ALLAH** de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur d'élever mes mains vers le ciel et de dire :

<<**YA RAHMAN**>>

**EL-HAMDULILLEH** de m'avoir donné la santé, la connaissance, et la volonté pour élaborer ce modeste travail que Je dédie à ceux qui m'ont donné la vie, qui se sont sacrifiés pour mon bonheur et ma réussite, qui ont veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger, mes chers parent Mon père

"**SLIMANE** "et Ma chère maman "**FATMA**"

Qu'**ALLAH** les garde et protège A mon cher frère "**MOSTAFA**" A mes chères sœurs "**MERIEM-FATIMA-FAYZA-LAMIA-SALSABIL**"  
"pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral.

Mes nièces"**CHIRAZ - ASSINET- IHSANE - ILYES**"

A mes beaux -frère "**ISMAIL - DJILALI**" et spécialement**SAID CHOUCHA** " pour les efforts qu'il m'a fourni

A toute la famille : "**BOUGHARI** " et "**MEBAREK** "A mes amies proches "**SIHAM-RADJAA-SIHAM-WAFAA**"

A mon binôme et chère sœur **NAWAL**

A mon futur mari **B.A**

A tous ceux qui me sont chers

A tous ceux qui m'aiment

A tous ceux que j'aime.

**KAOUTHAR**

---

# Dédicaces

---

Merci **ALLAH** de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire :

<<**YA RAHMAN**>>**EL-HAMDULILLEH** de m'avoir donné la santé, connaissance, et la volonté pour élaborer ce modeste travail que Je dédie à ceux qui m'ont donné la vie, qui se sont sacrifiés pour mon bonheur et ma réussite, qui ont veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger, mes chers parents :

Mon père "**DJILALI**" et Ma chère maman "**ZOHRA**"  
Qu'**ALLAH** les garde et protège A mon cher frère "**AHMED**"

A mes chères sœurs "**IMANE-ACHWAK-SOUAD**" pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral.

A ma 2ème maman "**Naïma**"

Mes petites "**ABD EL MONAIM-LILYANE - ABRAR**" A mon beau-frère "**MOHAMED AMIN**"

A toute la famille : "**BENDACHA**" et "**CHEBIRA**"

A mes amies proches "**SIHAM-RADJAA-SIHAM-WAFAA-MIRA**"

A mon binôme et chère sœur **KAOUTHAR**

A tous ceux qui me sont chers A tous ceux qui m'aiment A tous ceux que j'aime

**NAWAL**

## *Remerciements*

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a donné sagesse et santé afin de réaliser ce modeste travail.

Nous remercions tout particulièrement Messieurs les membres du jury.

A notre encadreur **M<sup>me</sup> BENABOURA LEILA**, de nous avoir encadrés et suivis de près avec sa rigueur scientifique,

J'adresse mes remerciements aussi à notre chef de département d'hydraulique, **Mr BENAOUA**.

Nous remercions l'ensemble des enseignants du département d'Hydraulique

Aux responsables et personnel de l'**ABH, ONID, DRE** de Chlef.

A tous les étudiants qui nous ont encouragés et aidés pour la réalisation de ce modeste travail.

**KAOUTHAR ET NAWAL**

## الملخص

سد سيدي يعقوب، الذي تم تشغيله في عام 1986، بسعة تبلغ 280 مليون متر مكعب ( $Mm^3$ ) وحجم قابل للتنظيم قدره 88 مليون متر مكعب، يشكل البنية التحتية الرئيسية لتزويد ولاية الشلف بالمياه وري منطقتها الوسطى.

تم استخدام نموذج WEAP (تقييم المياه والتخطيط) في هذه الدراسة كأداة لمحاكاة وتوقع وإدارة الموارد المائية مع مراعاة العرض والطلب وكذلك جودة المياه، مع دمج تأثيرات تغير المناخ. لاستخدام فعال لهذا البرنامج، من الضروري تطبيقه على حوض تصريف معين. في هذا السياق، تم اختيار سد سيدي يعقوب (حوض وادي الارجام) في ولاية الشلف كدراسة حالة لإدارة هذه الموارد، مع تقديم إسقاطات تمتد من 2013 إلى 2060 وتحت سيناريوهات مختلفة. تكشف النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة عن عجز كبير في تغطية احتياجات المياه، سواء للشرب أو للزراعة. وتؤكد على ضرورة تبني حلول بديلة، مثل تحلية المياه وإعادة تدويرها، لتحسين إدارة الموارد المائية.

## الكلمات المفتاحية

WEAP - سد سيدي يعقوب - الطلب - عرض - إدارة الموارد المائية. -

# RESUME

Le barrage Sidi-Yacoub, mis en service en 1986, avec une capacité de 280 millions de mètres cubes ( $\text{Mm}^3$ ) et un volume régularisable de  $88 \text{ Mm}^3$ , constitue la principale infrastructure hydraulique pour l'approvisionnement en eau de la wilaya de Chlef et l'irrigation de son périmètre moyen.

Le modèle WEAP (Water Evaluation And Planning), utilisé dans cette étude, est un outil de simulation qui permet de prévoir et de gérer les ressources en eau en prenant en compte à la fois l'offre, la demande, ainsi que la qualité de l'eau, tout en intégrant les effets du changement climatique. Pour une utilisation efficace de ce logiciel, il est essentiel de l'appliquer à un bassin versant spécifique. Dans ce cadre, le Barrage Sidi-Yacoub (Bassin versant d'Oued Larjem) situé dans la wilaya de Chlef a été choisi comme cas d'étude pour la gestion de cette ressource, avec des projections qui s'étendent de 2013 à 2060 et sous différents scénarios. Les résultats obtenus dans cette étude révèlent un important déficit dans la couverture des besoins en eau, aussi bien pour l'alimentation que pour l'agriculture. Ils mettent en évidence la nécessité d'adopter des solutions alternatives, telles que le dessalement et le recyclage, pour améliorer la gestion des ressources hydriques.

**Mots clés:** Le barrage Sidi-Yacoub - WEAP - Demande - Offre - Gestion de la ressource en eau

# Abstract

The Sidi-Yacoub Dam, brought into operation in 1986, with a capacity of 280 million cubic meters ( $\text{Mm}^3$ ) and a regularizable volume of  $88 \text{ Mm}^3$ , represents the main hydraulic infrastructure for water supply to the Chlef province and irrigation of its mid-range perimeter. The WEAP (Water Evaluation And Planning) model, used in this study, is a simulation tool that allows for the prediction and management of water resources while considering supply, demand, and water quality, integrating the effects of climate change. For effective use of this software, it is essential to apply it to a specific watershed. In this context, the Sidi-Yacoub Dam (OuedLarjem watershed) located in Chlef province was selected as a case study for resource management, with projections extending from 2013 to 2060 under different scenarios.

The results obtained in this study reveal a significant deficit in meeting water demands, both for drinking and agriculture. They highlight the need to adopt alternative solutions, such as desalination and recycling, to improve water resource management.

**Keywords:** The Sidi-Yacoub dam-WEAP- Demand – Offer- water resource management

## Table des matières

Dédicaces

Remerciements

الملخص

Abstract

Résumé

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

### ***Introduction generale***

#### **Chapitre 01**

#### ***Généralité sur la Gestion Intégrée de la Ressource en eau et la gestion des barrages dans les régions semi-aride.***

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1 Introduction .....                                                       | 4  |
| 1.2 Gestion de la ressource en eaux .....                                    | 4  |
| 1.2.1 La gestion de la ressource en eau .....                                | 4  |
| 1.2.2 La gestion intégrée de la ressource en eau (gire).....                 | 5  |
| 1.3 L'importance de la gestion de la ressource en eau .....                  | 6  |
| 1.4 Caractérisation de la gestion intégrée de la ressource en eau .....      | 7  |
| 1.5 Les avantages de la gestion intègre de la ressource en eau.....          | 7  |
| 1.6 L'incapacité à gérer efficacement les ressources environnementales ..... | 8  |
| 1.7 Approches pour gestion de la ressource en eau.....                       | 8  |
| 1.8 Planification des ressources en eau .....                                | 10 |
| 1.9 Cycle de planification .....                                             | 10 |
| 1.10 Rappels sur les barrages et mode de gestion .....                       | 11 |
| 1.10.1 Types de barrages .....                                               | 12 |
| 1.10.2 Caractéristiques de gestion des barrages réservoirs.....              | 12 |

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.10.3 Les types de gestion .....                                                                                        | 13 |
| 1.10.4 Modes de gestion des barrages .....                                                                               | 14 |
| 1.10.5 Les problèmes auxquels un barrage est confronté incluent.....                                                     | 16 |
| 1.11 Caractéristique des régions semi arides .....                                                                       | 18 |
| 1.11.1 Le climat.....                                                                                                    | 18 |
| 1.11.2 origine des changements climatiques.....                                                                          | 19 |
| 1.11.3 quelle vision pour une bonne gestion des zones semi arides dans un contexte de<br>changements climatiques ? ..... | 19 |
| 1.11.4 impacts climatiques sur la ressource et l'environnement.....                                                      | 20 |
| 1.11.5 Les précipitations .....                                                                                          | 21 |
| 1.11.6 Température.....                                                                                                  | 21 |
| 1.11.7 Sols.....                                                                                                         | 22 |
| 1.11.8 L'évaporation des lacs et des barrages en Algérie.....                                                            | 22 |
| 1.11.9 Végétation .....                                                                                                  | 23 |
| 1.11.10 Activités humaines .....                                                                                         | 24 |
| 1.12 Les principaux défis liés à la gestion inefficace des ressources en eau .....                                       | 24 |
| 1.13 Organismes de gestion intégrée de la ressource en eau en Algérie .....                                              | 28 |
| 1.13.1 Principaux organismes impliqués .....                                                                             | 28 |
| 1.14 Conclusion.....                                                                                                     | 31 |

## **Chapitre 2**

### ***Présentation du logiciel WEAP***

|                                           |           |
|-------------------------------------------|-----------|
| <b>2.1 Introduction .....</b>             | <b>33</b> |
| 2.2 Description du logiciel WEAP .....    | 33        |
| 2.3 Acquisition du logiciel WEAP .....    | 34        |
| 2.4 Principaux objectifs du logiciel..... | 35        |
| 2.5 Structure du Logiciel WEAP.....       | 35        |
| 2.5.1 Cartographie .....                  | 36        |
| 2.5.2 Base de données.....                | 37        |
| 2.5.3 Présentation des résultats .....    | 38        |
| 2.5.4 Représentation graphique.....       | 38        |
| 2.5.5 Bloc-Notes.....                     | 38        |

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 2.6 Fonctionnement du logiciel.....                  | 38 |
| 2.7 Données nécessaires .....                        | 40 |
| 2.7.1 Etude de l'offre et de la demande en eau ..... | 40 |
| 2.7.2 Etude de la qualité de l'eau .....             | 40 |
| 2.7.3 Etude hydrologique .....                       | 41 |
| 2.7.4 Etudes hydro-électriques.....                  | 41 |
| 2.8 les Exemples d'analyses appliquées.....          | 41 |
| 2.9 Applications WEAP dans les pays du monde .....   | 42 |
| 2.9.1 Planification des systèmes d'eau .....         | 42 |
| 2.9.2 Politique de l'eau transfrontalière .....      | 42 |
| 2.9.3 Etudes sur les changements climatiques .....   | 42 |
| 2.9.4 Flux écologiques .....                         | 42 |
| 2.9.5 Application de service d'eau dss .....         | 42 |
| 2.10 Lier WEAP à d'autres logiciels .....            | 42 |
| 2.11 Les Faits saillants de WEAP .....               | 43 |

## **Chapitre 3**

### ***Présentation de la zone étude***

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 Présentation de la zone d'étude .....                           | 45 |
| 3.2 Hydrographie.....                                               | 45 |
| 3.3 Etude des ressources en eau .....                               | 47 |
| 3.3.1 Eaux conventionnelles .....                                   | 48 |
| 3.3.2 Les ressources en eau non conventionnelles .....              | 51 |
| 3.4 Caractéristiques de la région d'étude.....                      | 52 |
| 3.4.1 Caractéristiques physiques du bassin versant oued larjem..... | 52 |
| 3.5 Etude climatique du bassin versant de l'oued sly.....           | 59 |
| 3.5.1 Pluviométrie .....                                            | 59 |
| 3.5.2 Variation mensuelle .....                                     | 59 |
| 3.5.3 Variation saisonnière .....                                   | 60 |
| 3.5.4 Variation annuelle.....                                       | 61 |
| 3.5.5 Température.....                                              | 62 |
| 3.5.6 Humidité relative .....                                       | 63 |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 3.5.7 Le Vent.....      | 63 |
| 3.5.8 Evaporation ..... | 64 |
| 3.6 Conclusion.....     | 64 |

## **Chapitre 4**

### ***Application du modèle WEAP pour le cas du barrage Sidi-Yacoub***

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 Caractéristiques de la région d'étude.....                                               | 67 |
| 4.1.1 Caractéristiques physiques du bassin versant Oued Larjem .....                         | 67 |
| 4.1.2 Caractéristiques physiques du barrage Sidi-Yacoub .....                                | 67 |
| 4.2 Modélisation sur WEAP .....                                                              | 69 |
| 4.2.1 Importation des couches.....                                                           | 70 |
| 4.2.2 Mise en place des objets.....                                                          | 70 |
| 4.2.3 Réglage des paramètres généraux.....                                                   | 71 |
| 4.2.4 Introduction des données .....                                                         | 73 |
| 4.3 Résultats de scénarios de référence .....                                                | 79 |
| 4.3.1 Evolution future de besoin en eau du site de demande .....                             | 79 |
| 4.3.2 Evaluation de la quantité d'eau disponible au niveau du barrage à l'horizon 2060 ..... | 82 |
| 4.3.3 Evolution future des pertes en eaux .....                                              | 84 |
| 4.3.4 Adéquation entre l'offre et la demande.....                                            | 87 |
| 4.4 Conclusion.....                                                                          | 89 |
| <b><i>Conclusion générale</i></b> .....                                                      | 90 |
| <b><i>Références</i></b> .....                                                               | 92 |

# Liste des figures

---

## Chapitre 1

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure (1-1):</b> Importance de la gestion des ressource.....                   | 6  |
| <b>Figure(1-2):</b> Plans de gestions Intégrée Des Ressource en Eau.....           | 11 |
| <b>Figure(1-3):</b> Organigrammegénéral de la gestion des barrages [J.MIQUEL]..... | 14 |
| <b>Figure (1-4) :</b> organigramme de ministère des ressources en eau.....         | 28 |
| <b>Figure(1-5):</b> Les cinq régions hydrographique de l'Algérie.....              | 29 |

## Chapitre 2

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure (2-1):</b> Licence d'activation du logiciel WEAP.....    | 34 |
| <b>Figure (2-2):</b> Les cinq affichages de modèle WEAP.....       | 36 |
| <b>Figure(2-3):</b> Fenêtre cartographie WEAP.....                 | 36 |
| <b>Figure(2-4):</b> Fenêtre basse de données.....                  | 37 |
| <b>Figure(2-5):</b> Organigrammedu fonctionnement du logiciel..... | 40 |

## Chapitre 3

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure (3-1) :</b> situation géographique de la zone d'étude.....                                  | 45 |
| <b>Figure (3-2) :</b> les affluents les plus importants traversant la plaine de chlef.....            | 46 |
| <b>Figure (3-3) :</b> Ressource en eau de la wilaya de Chlef.....                                     | 47 |
| <b>Figure (3-4) :</b> Localisation du bassin versant de l'Oued Sly.....                               | 53 |
| <b>Figure (3-5) :</b> Carte géologique du bassin versant de Sidi Yacoub.....                          | 54 |
| <b>Figure (3-6) :</b> Carte géologique du bassin versant de l'ouedSly (ABH-CZ,2013).....              | 55 |
| <b>Figure (3-7) :</b> Carte topographique du bassin versant de l'Oued Sly (ABH-CZ, 2013).....         | 56 |
| <b>Figure(3-8)</b> Carte de réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Sly (ABHCZ,2013).....   | 57 |
| <b>Figure(3-9) :</b> Précipitations moyennes mensuelles à la station Sidi Yacoub (2000-2013)...       | 60 |
| <b>Figure(3-10) :</b> Précipitations moyennes saisonnières de la station Sidi Yacoub (2000-2013)..... | 61 |
| <b>Figure (3-11) :</b> Précipitations annuelles de la station Sidi Yacoub (1999-2010).....            | 61 |
| <b>Figure(3-12) :</b> Températures mensuelles de la station de Sidi Yacoub (2000-2013).....           | 63 |

## Chapitre 4

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure(4-1):</b> Évolution des volumes du barrage de Sidi Yacoub de 2015 à 2021.....                    | 68 |
| <b>Figure(4-2):</b> Différente zones de la retenue définie par le modèle WEAP.....                         | 69 |
| <b>Figure(4-3):</b> schéma conceptuel pour le système d'allocation à partir du barrage de Sidi yacoub..... | 70 |

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure (4-4) :</b> Arbre des scénarios étudiés proposée (logiciel WEAP).....                                                                          | 73 |
| <b>Figure (4-5) :</b> Variation du volume de stockage-stockage initial d'eau dans le barrage (observé)du 01/09/2013 au31/08/2023.....                    | 74 |
| <b>Figure (4-6) :</b> Variation du volume d'eau dans le barrage (observé)du 01/09/2013au31/08/2023.....                                                  | 75 |
| <b>Figure (4-7):</b> Variation du volume évaporation nette dans le barrage (observé)du 01/09/2013 au31/08/2023.....                                      | 76 |
| <b>Figure (4-8) :</b> Variation du volume d'eau entrée dans le barrage (observé)du 01/09/2013 au31/08/2023.....                                          | 77 |
| <b>Figure (4-9) :</b> Variation du volume d'eau sortant du destiné à l'irrigation (observé)du 01/09/2013 au 31/08/2023.....                              | 78 |
| <b>Figure (4-10) :</b> Evolution des besoins en eau d'irrigation jusqu'en 2060 ( $Mm^3$ ) .....                                                          | 79 |
| <b>Figure (4-11) :</b> Evolution des besoins en eau domestique jusqu'en 2060 ( $Mm^3$ ).....                                                             | 80 |
| <b>Figure (4-12):</b> Evolution des besoins en eau industrielles jusqu'en 2060 ( $Mm^3$ ).....                                                           | 81 |
| <b>Figure (4-13) :</b> Evolution de la capacité de stockage du barrage à l'horizon 2060 ( $Mm^3$ ).....                                                  | 82 |
| <b>Figure (4-14) :</b> Evolution de la capacité de stockage du barrage à l'horizon 2060 à l'échelle mensuelle ( $Mm^3$ ).....                            | 83 |
| <b>Figure (4-15) :</b> Evolution de la capacité de stockage du barrage à l'horizon 2060 en période de sécheresse ( $Mm^3$ ).....                         | 83 |
| <b>Figure (4-16) :</b> Evolution de la capacité de stockage du barrage à l'horizon 2060 à l'échelle mensuelle et en période de sécheresse( $Mm^3$ )..... | 84 |
| <b>.Figure (4-17) :</b> Evolution des pertes par évaporation et fuites vers la nappe à l'horizon 2060 ( $Mm^3$ ).....                                    | 85 |
| <b>Figure (4-18) :</b> Evolution des débits de retour à l'horizon 2060 ( $Mm^3$ ).....                                                                   | 86 |
| <b>Figure(4-19):</b> La demande en eau non satisfaisante à l'horizon 2060 pour la période de référence ( $Mm^3$ ).....                                   | 86 |
| <b>Figure(4-20):</b> la demande en eau non satisfaisante à l'horizon 2060 en période de sécheresse ( $Mm^3$ ).....                                       | 87 |
| <b>Figure (4-21) :</b> Flux entrant et sortant pour le site étudié à l'horizon 2060 ( $Mm^3$ ) en période de référence.....                              | 88 |
| <b>Figure (4-22) :</b> flux entrant et sortant pour le site étudié à l'horizon 2060 en période de sécheresse ( $Mm^3$ ).....                             | 89 |

# Liste des tableaux

---

## Chapitre 3

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau (3-1) :</b> Les barrages de la wilaya de Chlef.....                                                              | 48 |
| <b>Tableau (3-2):</b> Les retenues collinaires et petit barrages de la wilaya de Chlef.....                                 | 49 |
| <b>Tableau (3-3) :</b> Prises et dérivations dans la région du Cheliff.....                                                 | 50 |
| <b>Tableau (3-4) :</b> Caractéristiques morphologique et hydrographique du bassin versant de l'Oued Sly.....                | 85 |
| <b>Tableau (3-5) :</b> Les stations pluviométriques retenues et leurs caractéristique.....                                  | 59 |
| <b>Tableau (3-6) :</b> Précipitations moyennes mensuelles et leur contribution à la pluie moyenne annuelle (1999-2010)..... | 60 |
| <b>Tableau (3-7) :</b> Températures mensuelles de la station de Sidi Yacoub (2000-2013).....                                | 62 |
| <b>Tableau (3-8) :</b> Humidité relative moyenne mensuelle à la station de Sidi Yacoub (2000-2013).....                     | 63 |
| <b>Tableau (3-9) :</b> vitesse moyenne mensuelle du vent à la station de Sidi Yacoub (2000-2013).<br>.....                  | 64 |
| <b>Tableau (3-10) :</b> Évaporations moyennes mensuelles dans la station de Sidi Yacoub (2000-2013).....                    | 64 |

## Chapitre 4

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau (4-1) :</b> Bilan du barrage Sidi Yacoub , période 2014-2023..... | 79 |
|------------------------------------------------------------------------------|----|

# Liste d'abréviations

---

|               |                                                                     |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>ABH</b>    | : Agence de Bassin Hydraulique                                      |
| <b>ANBT</b>   | : Agence Nationale des Barrages et des Transferts                   |
| <b>ANB</b>    | : Agence Nationale des Barrages                                     |
| <b>AGID</b>   | : Agence de Gestion des Infrastructures d'Irrigation et de Drainage |
| <b>GIRE</b>   | : Gestion Intégrée des Ressources en Eau                            |
| <b>GPI</b>    | : Grand Périmètre                                                   |
| <b>DRE</b>    | : Direction des Ressources en Eau                                   |
| <b>ETP</b>    | : Evapotranspiration Potentielle                                    |
| <b>ETR</b>    | : Evapotranspiration Réelle                                         |
| <b>EPIC</b>   | : Établissement Public à caractère Industriel et Commercial         |
| <b>SEI</b>    | : Stockholm Environment Institute                                   |
| <b>ONID</b>   | : Office National d'Irrigation et Drainage                          |
| <b>WEAP</b>   | : Water Evaluation And Planning System                              |
| <b>PMC</b>    | : Périmètre du Moyen Cheliff                                        |
| <b>PMH</b>    | : Petit Moyenne Hydraulique                                         |
| <b>SPA</b>    | : Société par Actions                                               |
| <b>SDEM</b>   | : Station de Dessalement de l'Eau de Mer                            |
| <b>STEP</b>   | : Station d'Épuration des Eaux Usées                                |
| <b>OPI</b>    | : Office des Périmètres Irrigués                                    |
| <b>NO3</b>    | : Nitrates                                                          |
| <b>NO2</b>    | : Nitrites                                                          |
| <b>NH4</b>    | : Ammonium                                                          |
| <b>PO4</b>    | : Phosphates                                                        |
| <b>DBO5</b>   | : Demande Biologique en Oxygène à cinq jours                        |
| <b>DCO</b>    | : Demande Chimique en Oxygène                                       |
| <b>MO</b>     | : Matière Organique                                                 |
| <b>Unités</b> | :Unités                                                             |
| <b>Km</b>     | : Kilomètre                                                         |
| <b>Ha</b>     | : Hectare                                                           |
| <b>Hm3/a</b>  | : Hectomètre cube par an                                            |

|                       |                               |
|-----------------------|-------------------------------|
| <b>Hm<sup>3</sup></b> | : Hectomètre cube             |
| <b>l/j</b>            | : Litre par jour              |
| <b>l/hab/j</b>        | : Litre par habitant par jour |
| <b>l</b>              | : Litre                       |

## ***Introduction générale***

L'eau, souvent décrite comme "l'or bleu", représente l'élément essentiel à la vie sur Terre. Malgré sa vaste présence couvrant environ 70 % de la surface de notre planète, ses ressources sont distribuées de manière inégale dans l'espace et le temps. Cette disparité est exacerbée par les fluctuations climatiques et le changement climatique. De plus, une gestion inefficace et souvent négligée de ces ressources aggrave la situation, conduisant à une rareté croissante de l'eau. Ainsi, la question de l'eau devient non seulement un enjeu politique majeur, mais également un défi géopolitique crucial. Dans ce contexte, la gestion de l'eau devient une priorité absolue pour les années à venir. Sans une attention soutenue, la rareté de l'eau restera l'une des préoccupations principales des acteurs du développement (ANDRIANARIVONY, 2016).

L'Algérie dispose de 17 bassins-versants, qui sont les sources principales de ses ressources en eau. Ces ressources comprennent à la fois les eaux de surface et les eaux souterraines, qu'elles soient renouvelables ou non. Il convient de souligner que ces ressources sont extrêmement variables, en particulier celles qui dépendent des nappes phréatiques et sont sujettes aux fluctuations dues aux aléas climatiques. La demande croissante en eau intensifie l'exploitation de ces ressources. Ainsi, une connaissance approfondie de ces ressources en eau est essentielle pour garantir une gestion efficace. Les outils de gestion jouent un rôle crucial dans la structuration des cadres juridiques, économiques et administratifs nécessaires à cette gestion optimale (Erhard &Margat, 1979).

L'Algérie est actuellement confrontée à un stress hydrique sévère. Les différents usagers nécessiteront inévitablement des arbitrages sévères de la part des pouvoirs publics, d'autant plus que la demande en eau potable (AEP) sera multipliée par environ 2,5 en 25 ans et représentera près de 40 % des ressources mobilisées vers 2025 (PNUD, 2009).

Dans cette optique, les gestionnaires ont exploré des méthodes modernes et des techniques innovantes pour la gestion et la conservation de l'eau. Ils ont adopté diverses approches, allant de la mobilisation de toutes les ressources à la mise en œuvre de stratégies de gestion intégrée qui impliquent l'ensemble des parties prenantes. Ces approches visent à promouvoir une répartition équitable des ressources en eau. En outre, la concertation et la sensibilisation sont encouragées, tout comme l'utilisation de modèles d'aide à la décision. Ces modèles

## Introduction générale

numériques sont devenus des outils essentiels ces dernières années, permettant aux gestionnaires de mieux comprendre les comportements actuels et futurs des ressources en eau face à différentes stratégies de gestion, en se basant sur diverses hypothèses et scénarios (Daifallah, 2017).

L'objectif de cette étude, centrée sur la modélisation de la gestion des ressources en eau dans la région de Chellif, est de mettre en lumière les diverses facettes des ressources hydriques disponibles. Son but est de proposer des solutions techniques permettant une gestion efficace et productive de ces ressources à long terme.

Dans cette démarche, une analyse comparative a été réalisée entre les ressources en eau disponibles et les demandes actuelles, en tenant compte de leur évolution future selon trois scénarios distincts. Ces scénarios prennent en considération l'impact potentiel de l'augmentation des surfaces irriguées et de la croissance démographique. Cette analyse a été effectuée à l'aide du modèle WEAP dans le but d'identifier toute éventuelle pénurie en eau de la région de Chlef que pourrait connaître dans les années à venir.

Pour ce faire, ce mémoire est structuré comme suit :

- **Une introduction générale,**
- **Chapitre I :** Généralité sur la Gestion Intégrée de la Ressource en eau et la gestion des barrages dans les régions semi-aride.
- **Chapitre II :** Présentation du logiciel WEAP
- **Chapitre III :** Présentation de la zone étude
- **chapitre IV :** Application du modèle WEAP pour le cas du barrage Sidi-Yacoub
- **Une conclusion générale.**

# *Chapitre 1:*

---

GÉNÉRALITÉS SUR LA GESTION INTÉGRÉE DE LA  
RESSOURCE EN EAU ET LA GESTION DES BARRAGES  
DANS LES RÉGIONS SEMI-ARIDES

---

## **1.1 Introduction**

La pénurie d'eau est une préoccupation majeure dans de nombreux pays à travers le monde, et sa gestion efficace est une responsabilité partagée entre les gouvernants, qui ont une obligation de moyens, et chaque citoyen, qui doit adopter des comportements responsables pour garantir la durabilité de cette ressource. Au-delà de la vulnérabilité des pays en région aride et semi-aride face à des précipitations souvent insuffisantes et irrégulières à travers le temps et l'espace, la gestion des ressources en eau a longtemps été abordée de manière essentiellement sectorielle. Cependant, une prise de conscience croissante, en particulier au niveau régional, des enjeux liés à l'eau a progressivement mené à un consensus en faveur d'une approche innovante de la gestion des ressources hydriques.

## **1.2 Gestion de la ressource en eaux**

### **1.2.1 La gestion de la ressource en eau**

**La gestion de la ressource en eau** est l'ensemble des activités humaines visant à protéger, planifier, développer, distribuer et gérer de manière optimale les ressources en eau et les milieux aquatiques. Il s'agit d'une discipline complexe qui prend en compte à la fois les aspects quantitatifs (disponibilité de l'eau) et qualitatifs (qualité de l'eau).

**En d'autres termes, la gestion de l'eau consiste à :**

- **Préserver les ressources en eau:** protéger les sources d'eau, les cours d'eau, les lacs et les nappes phréatiques de la pollution et de la surexploitation.
- **Planifier l'utilisation de l'eau:** anticiper les besoins en eau, définir les priorités et mettre en place des stratégies de répartition équitable de cette ressource.
- **Développer de nouvelles sources d'eau:** rechercher et mettre en œuvre des solutions pour augmenter la quantité d'eau disponible (dessalement, récupération des eaux pluviales, etc.).
- **Distribuer l'eau:** assurer la distribution de l'eau potable aux populations et aux activités économiques.
- **Gérer les eaux usées:** collecter, traiter et évacuer les eaux usées pour préserver la qualité des milieux aquatiques.

La gestion de la ressource en eau constitue un enjeu majeur dans la vie et le développement économique, notamment en raison :

- **De la croissance démographique** : la demande en eau ne cesse d'augmenter.
- **Du changement climatique**: les événements extrêmes (sécheresses, inondations) se multiplient et perturbent le cycle de l'eau.
- **De la pollution des ressources en eau**: les activités humaines dégradent la qualité de l'eau, mettant en péril la santé humaine et les écosystèmes.

la gestion de la ressource en eau est un enjeu global qui nécessite une approche intégrée et durable.

Elle implique la coopération de nombreux acteurs : pouvoirs publics, entreprises, chercheurs, citoyens, etc.

### **1.2.2 La gestion intégrée de la ressource en eau (gire)**

La gestion de la ressource en eau en milieu semi-aride est particulièrement complexe et nécessite une approche rigoureuse et innovante en raison de la disponibilité limitée et variable de l'eau. Dans ces régions, il est crucial de maximiser l'efficacité de l'utilisation de l'eau à travers des pratiques telles que l'irrigation goutte-à-goutte, la collecte des eaux de pluie et la réutilisation des eaux usées traitées. La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) est essentielle pour coordonner les différents usages de l'eau, éviter les conflits entre secteurs et assurer une répartition équitable. Il est également important de protéger les écosystèmes aquatiques fragiles, de maintenir des débits écologiques minimums et de prévenir la surexploitation des nappes phréatiques. Les plans de gestion doivent intégrer des mesures d'adaptation au changement climatique, telles que la construction d'infrastructures résistantes aux sécheresses et la promotion de cultures moins gourmandes en eau. La participation des communautés locales dans la planification et la mise en œuvre des stratégies de gestion est cruciale pour assurer la pertinence et l'acceptation des mesures prises. En somme, la gestion de l'eau en milieu semi-aride nécessite une approche intégrée, participative et adaptable pour garantir la durabilité de cette ressource précieuse.

### 1.3 L'importance de la gestion de la ressource en eau

La gestion des ressources en eau dans les régions semi-arides revêt une importance cruciale pour plusieurs raisons :

- ✓ Tout d'abord, elle garantit la sécurité alimentaire en assurant une production agricole suffisante malgré les précipitations limitées.
- ✓ Ensuite, elle assure la sécurité hydrique en fournissant un approvisionnement fiable en eau pour les besoins humains, industriels et agricoles, réduisant ainsi les risques de pénurie.
- ✓ De plus, elle préserve les écosystèmes fragiles de ces régions, soutenant ainsi la biodiversité et le fonctionnement des zones humides et des habitats aquatiques.
- ✓ Sur le plan économique, une gestion efficace favorise le développement économique en stimulant des secteurs tels que l'agriculture, l'industrie, le tourisme et l'énergie, créant ainsi des emplois et améliorant les conditions de vie locales.
- ✓ Face aux changements climatiques, cette gestion adaptative renforce la résilience des communautés aux événements climatiques extrêmes.
- ✓ Enfin, elle contribue à la préservation des ressources naturelles en réduisant la pression exercée sur les sols, les forêts et la faune.

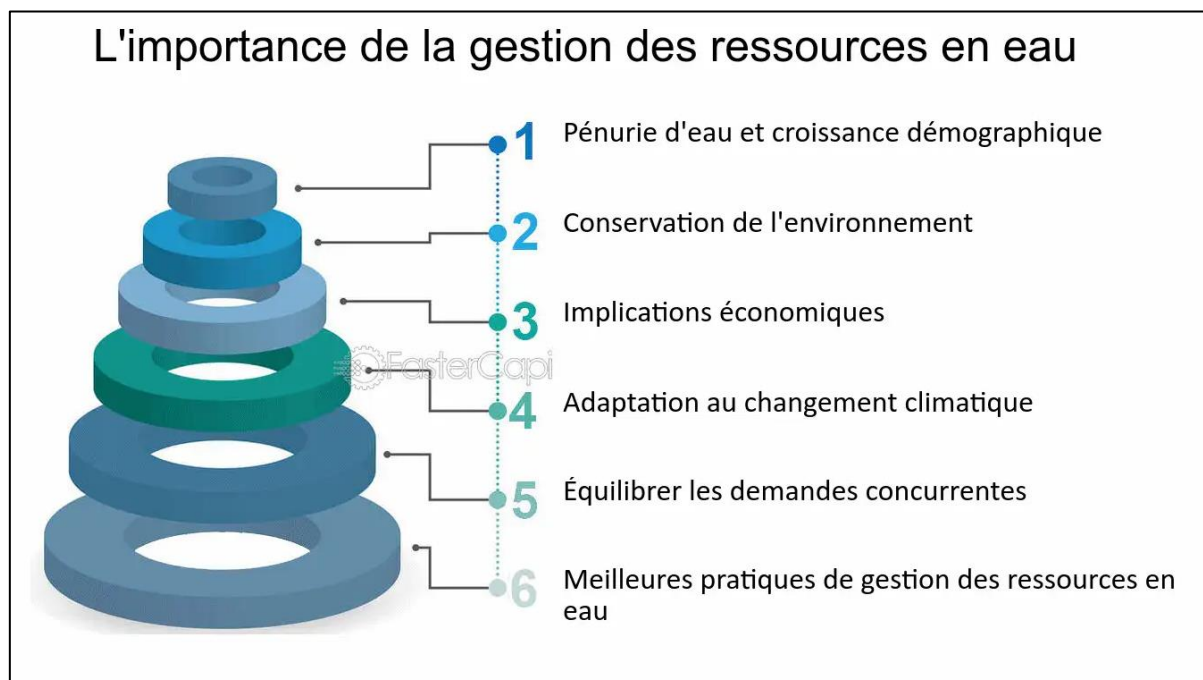


**Figure (1-1) : L'importance de la gestion des ressource en eau .**

## **1.4 Caractérisation de la gestion intégrée de la ressource en eau**

Elle se résume dans les points suivants :

- ❖ Une gestion axée sur l'unité hydrologique, telle que le bassin versant ou le sous-bassin versant.
- ❖ Un cadre de travail coordonné et partagé, favorisant la collaboration et le partenariat.
- ❖ Une démarche à long terme qui soutient le développement durable.
- ❖ Une vision intégrée tenant compte des multiples dimensions de la gestion de l'eau et des écosystèmes aquatiques, notamment environnementale, économique et sociale.
- ❖ Un processus de résolution des problèmes basé sur des connaissances scientifiques et historiques solides, ainsi que sur des données fiables.
- ❖ Une approche qui met en avant la concertation des acteurs de l'eau, la conciliation des objectifs et la coordination des moyens et des actions.
- ❖ Des organisations dotées de structures, de rôles et de pouvoirs adaptés à l'échelle du bassin versant.
- ❖ Une approche ascendante basée sur la responsabilisation et la participation des acteurs locaux et régionaux.
- ❖ Un processus d'apprentissage continu, incluant la formation des acteurs de l'eau et l'éducation du public.

## **1.5 Avantages de la gestion intègre de la ressource en eau**

La gestion efficace des ressources en eau en Algérie présente de nombreux avantages cruciaux pour le développement durable du pays. Elle permet d'assurer un approvisionnement fiable en eau potable pour la population, contribuant ainsi à la santé publique et à la qualité de vie. Une gestion optimisée favorise également l'efficacité agricole en garantissant une irrigation adéquate, ce qui améliore la production alimentaire et la sécurité alimentaire. En outre, elle aide à prévenir les conflits entre différents utilisateurs de l'eau, notamment entre les secteurs agricole, industriel et domestique. La préservation des écosystèmes aquatiques est également renforcée, ce qui maintient la biodiversité et les services écologiques. La gestion durable des ressources en eau aide à atténuer les effets des variations climatiques, comme les sécheresses, en planifiant et en mettant en place des infrastructures résilientes. Enfin, elle

permet de réduire les pertes économiques liées à la pénurie d'eau et de favoriser le développement économique en soutenant les activités industrielles et agricoles. En somme, une gestion efficace de l'eau en Algérie est essentielle pour le bien-être de la population, la protection de l'environnement et la croissance économique du pays.

En résumé, la gestion intégrée de la ressource en eau est une approche globale qui permet de concilier les enjeux environnementaux, sociaux et économiques. Elle est essentielle pour garantir un accès durable à l'eau pour tous, tout en préservant les écosystèmes aquatiques.

### **1.6 Incapacité à gérer efficacement les ressources environnementales**

L'incapacité à gérer durablement les ressources naturelles peut entraîner des conséquences graves pour la planète, la biodiversité et les sociétés humaines. Parmi les manifestations de cette incapacité figurent l'épuisement des ressources, telles que l'eau, les sols fertiles, les combustibles fossiles et les minéraux, compromettant ainsi la capacité des écosystèmes à fonctionner correctement et pouvant causer des pénuries pour les générations futures. La dégradation de l'environnement résulte également de la gestion insuffisante des activités humaines telles que l'exploitation forestière non durable, l'agriculture intensive et l'urbanisation non planifiée, entraînant la perte d'habitats, la fragmentation des paysages et la diminution de la biodiversité. Le changement climatique est également une conséquence majeure, alimenté par les émissions non contrôlées de gaz à effet de serre issues principalement de la combustion de combustibles fossiles, entraînant des impacts tels que des événements météorologiques extrêmes, des élévations du niveau de la mer et des modifications des régimes climatiques. Par ailleurs, l'absence de gestion efficace des déchets industriels, des rejets agricoles et des déchets plastiques conduit à une pollution généralisée de l'air, de l'eau et des sols, avec des conséquences néfastes sur la santé humaine, la faune et la flore, ainsi que sur les écosystèmes aquatiques et terrestres. Enfin, l'exploitation non réglementée des espèces, la destruction des habitats naturels et d'autres pratiques non durables peuvent entraîner une perte de biodiversité, affaiblissant ainsi la résilience des écosystèmes face aux changements environnementaux.

### **1.7 Approches pour gestion de la ressource en eau**

La gestion des ressources en eau est un processus complexe qui implique la planification, la régulation, la distribution et la conservation de l'eau pour répondre aux besoins des

individus, des communautés et des écosystèmes. Les méthodes de gestion des ressources en eau varient en fonction des contextes géographiques, climatiques, politiques et socio-économiques. Voici quelques-unes des principales approches de gestion des ressources en eau :

- **Planification intégrée** : La planification intégrée de l'eau prend en compte l'ensemble du cycle de l'eau, de la source à l'utilisateur final. Cela inclut la gestion des bassins versants, la protection des sources d'eau, la régulation des débits des rivières, la gestion des eaux souterraines et la distribution efficace aux usagers.
- **Législation et réglementation** : Les gouvernements élaborent des lois et des réglementations pour encadrer l'utilisation de l'eau, définir les droits d'accès, prévenir la pollution et promouvoir la conservation. Ces cadres légaux peuvent également inclure des mécanismes pour la gestion des conflits liés à l'eau.
- **Gestion des bassins versants** : Les bassins versants sont des zones géographiques délimitées par les lignes de crête où l'eau s'écoule vers une rivière, un lac ou un océan. La gestion des bassins versants implique la coordination des activités humaines, agricoles et industrielles pour maintenir la qualité de l'eau et minimiser les risques d'inondation.
- **Infrastructure hydraulique** : La construction et la maintenance d'infrastructures telles que les barrages, les canaux d'irrigation, les stations de traitement de l'eau, les réservoirs et les réseaux de distribution sont essentielles pour optimiser l'utilisation de l'eau et répondre à la demande croissante.
- **Gestion de la demande** : Encourager l'efficacité de l'utilisation de l'eau chez les utilisateurs finaux est une composante importante de la gestion des ressources en eau. Cela peut inclure l'adoption de technologies plus efficaces, la tarification de l'eau en fonction de la consommation et la sensibilisation du public à la conservation de l'eau.
- **Agriculture durable** : L'agriculture est souvent le plus gros utilisateur d'eau. Des pratiques agricoles durables, telles que l'irrigation précise, la rotation des cultures et la gestion des sols, contribuent à une utilisation plus efficace de l'eau dans ce secteur.
- **Conservation des écosystèmes aquatiques** : La protection des écosystèmes aquatiques tels que les rivières, les lacs et les zones humides est essentielle pour maintenir la biodiversité et la qualité de l'eau. Cela peut inclure des aires protégées,

des zones tampons le long des cours d'eau et des efforts pour restaurer les écosystèmes dégradés.

- **Gestion de crise :** Les plans de gestion de crise sont élaborés pour faire face aux situations d'urgence telles que les sécheresses, les inondations ou les pollutions soudaines. Ces plans comprennent souvent des mesures d'urgence, des mécanismes de réponse rapide et des stratégies d'adaptation.

## **1.8 Planification des ressources en eau**

Planifier l'aménagement et l'utilisation des eaux est une nécessité nulle part plus vitale et pressante que dans les pays situés en zone aride et semi-aride : la conscience de la rareté et parfois de la fragilité des ressources en eau, et la volonté de réduire autant que possible les freins au développement socio- économique qui peuvent en résulter conduisent les responsables politiques et administratifs de ces pays à intervenir pour que l'exploitation et l'utilisation des eaux servent le mieux l'intérêt général **et les objectifs prioritaires du développement**. Choisir des objectifs réalistes et des moyens d'intervention efficace impose de connaître la matière et les instruments de la planification des eaux : savoir ce que l'on peut faire et comment. Ce qui implique une formation adéquate des différents intervenants. Politique de l'eau, gestion de l'eau, planification de l'eau ne sont pas synonymes mais sont étroitement imbriquées : tant au plan des notions qu'elles désignent, qu'au plan des réalités qu'elles recouvrent.

## **1.9 Cycle de planification**

La planification est un processus logique qui atteint son efficacité maximale lorsqu'elle est perçue comme un cycle continu comme vous pouvez. De nombreux outils sont utilisés pour planifier la gestion de l'eau :

**Les modèles hydrologiques :** Ils permettent de simuler le comportement des systèmes hydriques et d'évaluer l'impact des différents scénarios.

**Les systèmes d'information géographique (SIG) :** Ils permettent de visualiser et d'analyser les données spatiales liées à l'eau.

**Les outils de participation :** Ils permettent d'impliquer les acteurs locaux dans le processus de décision.

En résumé, la planification de la ressource en eau est un processus complexe qui nécessite une

approche intégrée et une vision à long terme. Elle est essentielle pour garantir un accès durable à l'eau pour tous, tout en préservant les écosystèmes aquatiques.

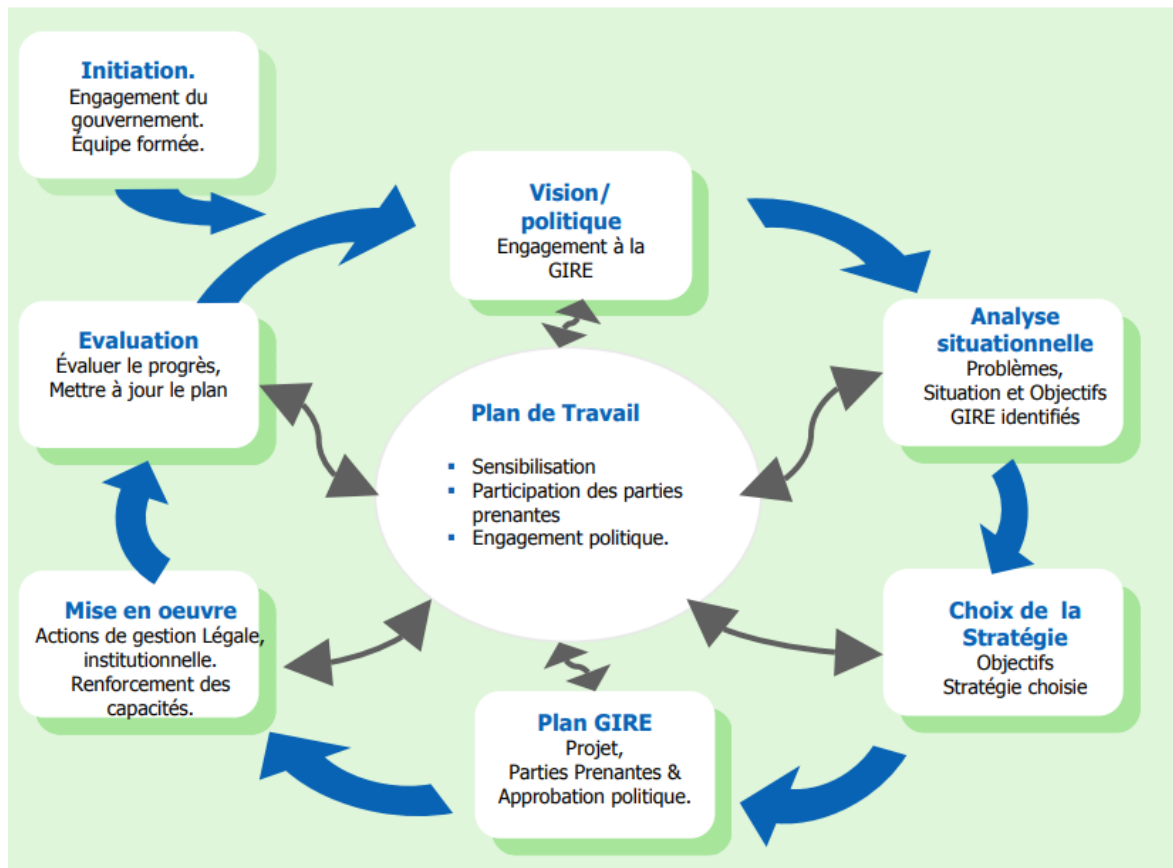


**Figure (1-2) :**Plans de gestions Intégrée Des Ressource en Eau

### 1.10 Rappels sur les barrages et mode de gestion

Les barrages jouent un rôle essentiel dans la gestion des ressources en eau, offrant une solution efficace pour la régulation et l'utilisation durable de l'eau. Ils permettent de stocker de grandes quantités d'eau dans des réservoirs, assurant ainsi une réserve fiable pour diverses utilisations telles que l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation agricole, la production d'énergie hydroélectrique et la régulation des crues. En période de sécheresse, les barrages peuvent libérer de l'eau pour maintenir les niveaux des cours d'eau et soutenir les écosystèmes aquatiques. De plus, ils contribuent à la prévention des inondations en contrôlant le débit d'eau en aval, réduisant ainsi les risques pour les populations et les infrastructures situées en zones inondables. Cependant, la construction et la gestion des barrages nécessitent une planification minutieuse pour minimiser les impacts environnementaux et sociaux, tels que la dégradation des habitats naturels et le déplacement des communautés locales.

### **1.10.1 Types de barrages**

#### **1.10.1.1 Barrages en béton**

- **Barrage-poids** : Utilise le poids du béton pour résister à la poussée de l'eau.
- **Barrage-voûte** : Courbé pour transférer la pression de l'eau vers les rives.

#### **1.10.1.2 Barrages en terre et en enrochements**

- **Barrage en remblai de terre** : Utilise des matériaux naturels compactés.
- **Barrage en enrochements** : Utilise des blocs de roche et une couche d'imperméabilisation.

### **1.10.2 Caractéristiques de gestion des barrages réservoirs**

Les grands objectifs de fonctionnement des barrages réservoirs vont permettre de définir la gestion d'un système. Ainsi, il faut bien connaître les réactions du système à son environnement afin d'en dégager les particularités. Par exemple, dans les pays arides et semi-arides, les gestionnaires et les agriculteurs doivent faire face à la conjonction de la rareté et de l'irrégularité de la ressource, ainsi qu'à la disjonction entre la période des apports en eau et celle où les besoins en eau se déclarent.

#### **1. La complexité des systèmes Dans la gestion des réservoirs d'eau**

Il existe de nombreuses incertitudes.

On les classe en 3 grands types

- 1) Les incertitudes stratégiques** : elles interviennent lors de la discussion sur l'opportunité d'un aménagement et par suite d'un investissement. Il arrive qu'on soit incapable de prédire les objectifs futurs de l'ouvrage hydraulique et d'élaborer une planification correcte qui tient compte de cette vision dynamique de définition des objectifs.
- 2) Les incertitudes physiques** : les phénomènes hydrologiques sont variables dans le temps et dans l'espace. Pour cerner l'incertitude due à la variabilité des paramètres hydrologiques. On se sert d'outils statistiques dans les modèles mathématiques de gestion de l'eau.
- 3) Les incertitudes technologiques** : A la méconnaissance des processus physiques (Relation entre la pluie et le débit qui ruisselle vers le barrage, évaluation correcte des besoins en eau, fonction de production reliant la quantité d'eau fournie à la plante et son

rendement....etc.) et économiques (Comportement de l'agriculteur face au marché, choix de cultures moins consommatrices en eau et plus rémunératrices,.....etc.), s'ajoute la nature de l'information moins disponible (information incomplète et limitée dans le temps, entachée d'erreurs. . .). Tout ceci a une conséquence directe sur les erreurs de modélisation. En effet, on peut disposer d'une série chronologique d'apports d'eau, qui est observée mais qui peut être très brève ceci entraîne une incertitude qui intervient lors de l'établissement de la fonction de répartition (ou distribution de probabilité) utilisée pour représenter les apports. Ces incertitudes technologiques sont les plus difficiles à appréhender. Les erreurs dues aux précisions de calculs sur ordinateur sont généralement faibles. Par contre, il est plus intéressant de commencer par vérifier l'adéquation entre l'algorithme de résolution et l'objectif visé ainsi que les contraintes existantes.

### **1.10.3 Les types de gestion**

On distingue deux sortes de gestions:

#### **1.10.3.1 Gestion à but unique**

La gestion des barrages réservoirs accorde une attention particulière à la satisfaction d'objectifs spécifiques tels que la production hydroélectrique. Cet objectif se distingue des autres usages des barrages par sa définition précise, qui consiste à répondre à la demande d'électricité au moindre coût, tout en prenant en compte les incertitudes futures. Un autre exemple d'objectif est le soutien d'étiage, qui repose souvent sur des quantiles de certains débits caractéristiques de l'étiage. Dans ce contexte, une défaillance est définie comme le passage du débit en dessous d'un seuil spécifique pendant une période déterminée.

#### **1.10.3.2 Gestion à buts multiples**

L'exploitation d'un barrage à buts multiples pose un problème complexe en raison du grand nombre de degrés de liberté dont dispose un gestionnaire. L'ouvrage doit en effet satisfaire simultanément plusieurs objectifs, tels que la production hydroélectrique et la régulation des crues. La question qui se pose est la suivante : comment choisir entre des objectifs non directement comparables ? Il est évident que la règle doit déterminer l'allocation des ressources, mais les critères d'évaluation de l'utilité et de la satisfaction des usagers diffèrent. Par conséquent, une formulation hiérarchique est nécessaire pour simplifier le problème.

Pour établir une gestion efficace d'un réservoir, il convient de suivre les étapes de l'organigramme suivant :

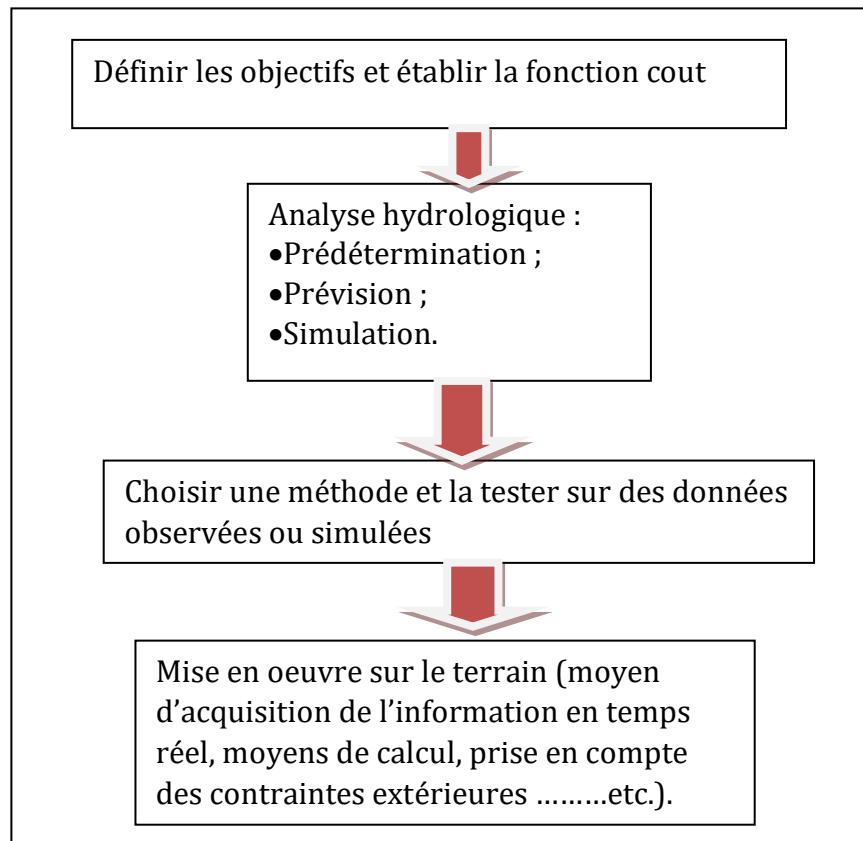


**Figure (1-3):** Organigramme général de la gestion des barrages [J.MIQUEL].

#### **1.10.4 Modes de gestion des barrages**

Afin de constituer la base d'informations nécessaires à la gestion, le suivi du bilan hydrique de chaque barrage est une tâche de plus haute importance. Suivant l'échelle temporaire, on peut rencontrer divers modes de gestion :

##### **1.10.4.1 Gestion pour des périodes normales et prédéterminées**

Les volumes d'eau stockés et les apports produits aux divers barrages sont déterminés quotidiennement à travers l'établissement de la situation hydraulique du jour et les bilans hydrauliques. En effet, la situation hydraulique journalière consiste en un support de fiche de suivi journalier. Le bilan hydrique est établi au début de chaque mois, en comptabilisant les

apports, les utilisations, les fuites et les autres pertes engendrées par l'exploitation du barrage en particulier. Les différentes données recueillies à partir des bilans sont utilisées pour faire des simulations, des comparaisons, des études statistiques, hydrologiques...etc

#### **1.10.4.2Gestion des retenues en période difficile**

Les risques d'insuffisance ou d'abondance d'eau, qui sont deux phénomènes courants du climat du pays, nécessitent une gestion intra et inter annuelle permettant la conservation du surplus hydrique pendant les années excédentaires et son utilisation pendant les années de sécheresse. Des modes spécifiques de gestion sont à développer selon les circonstances.

#### **1.10.4.3Gestion des retenues en période de sécheresse**

Pendant les périodes de sécheresse, la gestion des barrages est repérée depuis le stock résiduel dans les retenues en début d'année hydrologique. A partir des bilans annuels, les services d'exploitation des barrages affichent les stocks disponibles au début de l'année hydrologique. Ces stocks doivent permettre la satisfaction des besoins globaux annuels, tout en gardant un stock de sécurité, ils sont confrontés aux prévisions des besoins des principales utilisations (Eau potable, Irrigation, Industrie, Recharge des nappes ...etc). Pour garantir la fonction de la régularisation interannuelle, la gestion des barrages tient compte de la mise à disposition, en permanence, du stock de report, pour se prémunir contre les sécheresses prévisibles. Du cas où les stocks de sécurité ne pourraient pas être assurés dès le début de l'année hydrologique, les besoins de la campagne d'été sont retenus provisoirement et seront maintenus ou diminués en périodes de fortes précipitations selon les apports enregistrés dans les retenues des barrages durant la période.

#### **1.10.4.4Gestion des barrages en périodes humides (gestion d'abondance)**

Durant les périodes humides, des pertes de volume d'eau importantes peuvent être générées par déversements, et des lâchers non maîtrisés peuvent causer des dégâts importants au niveau des rives. La maîtrise de la gestion des ressources supplémentaires pourrait être un élément de base pour une gestion plus fructueuse des eaux de surface. Pendant les périodes humides, les probabilités de pluies sont importantes, les températures sont relativement fraîches et les besoins en eau d'irrigation sont relativement réduits. En conséquence, la gestion de la demande est fortement tributaire de la pluviométrie et la gestion des barrages est complètement différente dans ces circonstances de celle suivie en périodes normales. Dans ce

cas il est demandé aux services d'exploitation des barrages d'intensifier les opérations de turbinage afin de produire un maximum d'énergie électrique supplémentaire si le barrage est destiné pour la production d'énergie.

#### **1.10.4.5 Gestion des Crues Durant la crue**

Les lâches seront réalisés par l'ouverture des vannes, connues aussi par l'opération de la porte (gate). Pour le cas des réservoirs exposés aux crues subites, cette situation présente beaucoup de défis, parce que des décisions importantes doivent être prises sous pression et dans un contexte incertain. Le délai pour la prise de décision est extrêmement court. Les informations disponibles sont généralement rares, et la prévisibilité de la situation hydrométéorologique est très limitée. La signification des décisions de l'opération de porte peut être très importante, depuis que les propriétés en l'aval, les vies humaines ou même le barrage lui-même peuvent être perdus, avec des conséquences désastreuses (Mediero, 2007). Avec l'évolution de l'informatique et la création des outils performants, plusieurs techniques mathématiques ont été développées, dans le cadre de protéger les barrages contre les inondations. Les approches basées sur les techniques d'intelligence artificielle (I.A) semblent être prometteuses pour la gestion des réservoirs en période des crues (Karaboga et al, 2004).

#### **1.10.5 Les enjeux auxquels un barrage fait face**

Pour une bonne gestion il faut connaître les problèmes du barrage.

##### **1.10.5.1 Envasement**

Le taux d'envasement, qui correspond à la quantité de sédiments transportés dans un volume d'eau, est un indicateur crucial de la longévité d'un barrage. Pour lutter contre l'envasement, diverses méthodes sont employées, parmi lesquelles :

- Reboisement du bassin versant : Cette méthode consiste à planter des arbres et des végétations pour stabiliser le sol et réduire l'érosion, diminuant ainsi la quantité de sédiments qui se retrouvent dans les cours d'eau et, finalement, dans le barrage.
- Seuil de rétention : Les seuils de rétention sont construits pour retenir les sédiments en amont, permettant leur dépôt avant qu'ils n'atteignent le barrage principal. Cela réduit la charge sédimentaire qui arrive au barrage.

- Gabionnage : L'utilisation de gabions, des cages en fil de fer remplies de pierres, permet de stabiliser les berges des rivières et de prévenir les éboulements. Cette technique contribue à réduire l'érosion des berges et le transport de sédiments vers le barrage.

Ces pratiques sont essentielles pour prolonger la durée de vie des barrages et maintenir leur capacité de stockage.

#### **1.10.5.2 Sécheresse**

La gestion des ressources en eau pendant les périodes de sécheresse nécessite la mise en œuvre de mesures appropriées pour faire face aux pénuries. Voici quelques-unes des stratégies clés recommandées :

- **Limitier le turbinage au seul besoin agricole ou AEP** : Éviter les turbinages exclusifs afin de conserver l'eau pour les usages agricoles essentiels et l'approvisionnement en eau potable (AEP).
- **Réduire les superficies à irriguer en printemps ou en été** : Restreindre les zones d'irrigation pendant les saisons de forte demande pour économiser l'eau.
- **Réduire les dotations à l'hectare** : Diminuer les quantités d'eau allouées par hectare pour encourager une utilisation plus efficace et durable des ressources en eau.
- **Assurer la sauvegarde et le maintien de l'arbo-culture** : Prioriser la protection et la survie des cultures arboricoles, qui sont souvent des investissements à long terme pour les agriculteurs.
- **Encourager le recours au pompage à partir des eaux souterraines** : Promouvoir l'utilisation des ressources en eau souterraine pour compléter les besoins en surface, tout en veillant à une gestion durable de ces ressources.
- **Appliquer des réductions allant jusqu'à 25% pour les dotations d'AEP** : Imposer des réductions de consommation d'eau pouvant atteindre 25% pour l'approvisionnement en eau potable afin de conserver les réserves disponibles.
- **Campagne de sensibilisation pour l'économie de l'eau** : Mettre en place des campagnes de sensibilisation pour éduquer la population sur l'importance de l'économie de l'eau et promouvoir des pratiques de consommation responsables.

### 1.10.5.3 Les crues

Lors des périodes de crue, une surveillance permanente de la situation au niveau des stations hydrologiques en amont du barrage est essentielle. Cela permet de prendre les mesures nécessaires pour gérer les volumes d'eau excédentaires et prévenir les risques associés. Les dispositions typiquement prises incluent :

- **Turbinage des volumes supplémentaires** : Augmenter le turbinage pour gérer les volumes d'eau excédentaires et réduire la pression sur le barrage.
- **Vidange du fond pour minimiser les envasements** : Effectuer la vidange des sédiments accumulés au fond du réservoir pour prévenir l'envasement et maintenir la capacité de stockage.
- **Ouverture des évacuateurs de crue pour baisser la pointe de la crue** : Utiliser les évacuateurs de crue pour relâcher de manière contrôlée les excès d'eau, réduisant ainsi les risques de dépassement de la capacité du barrage.

Ces actions sont cruciales pour garantir la sécurité et l'efficacité des barrages pendant les événements de crue, en protégeant les infrastructures et les communautés en aval.

## 1.11 Caractéristique des régions semi arides

### 1.11.1 Le climat

Le climat semi-aride ou climat semi-désertique, encore appelé climat subdésertique, est un climat caractérisé par des précipitations qui sont, certaines années, insuffisantes pour y maintenir les cultures et où l'évaporation excède souvent les précipitations.

Il s'agit donc d'un climat moins aride que le **climat désertique**, avec une saison sèche s'étendant sur la plus grande partie de l'année et une saison « humide », avec de faibles précipitations (pluviométrie comprise entre 200 et 400 mm/an). Selon la classification de Köppen(Kottek et al. 2006), ce climat peut être qualifié de semi-aride chaud (Köppen: *BSh*) ou alors semi-aride continental (Köppen: *BSk*).

La plupart des régions arides sont situées au-dessous des zones de haute pression dans lesquelles un système frontal porteur de pluie ne peut que rarement pénétrer. En conséquence, ces régions connaissent une pluviosité faible et clairsemée, extrêmement variable selon les

saisons et selon les années. La pluie tombe peu fréquemment, en orages isolés qui peuvent provoquer des crues dans les réseaux fluviaux asséchés.

### **1.11.2 origine des changements climatiques**

Les principales causes des changements sont tous les facteurs pouvant provoquer l'augmentation de la concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cette augmentation de la concentration engendre la destruction de la couche d'ozone qui entraîne des modifications de l'intensité du rayonnement solaire atteignant la surface terrestre d'où le réchauffement de la terre.

([Http://www.ec.gc.ca/Adaptationnrcan.gc.ca/perspective/water\\_1\\_f.php](http://www.ec.gc.ca/Adaptationnrcan.gc.ca/perspective/water_1_f.php)).

Ce phénomène de réchauffement lié au problème de couches d'ozone dû à l'énorme production mondiale de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) de la terre influe sur les différents facteurs climatiques (température, vent,,,) et sur les différents termes du bilan hydrique [Evapotranspiration (ETP/ETR), Précipitation (P), Ruissellement (R), Infiltration (I)]. On peut citer à titre d'exemples :

- Les variations de la teneur en aérosols
- la pollution de l'air due à la circulation automobile, les industries, les feux de brousse, les bois de chauffe, les déchets.,
- les changements de la réflectivité de la surface de la terre. D'autres sont liées aux activités humaines.

Depuis le début de l'ère industrielle, les émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols perturbent significativement le bilan radiatif de l'atmosphère. On observe un accroissement sensible des concentrations atmosphériques en gaz carbonique, en méthane et en oxyde nitreux ; le taux de CO<sub>2</sub> est passé de 280 ppm à près de 380 ppm.

Ces variations dépassent largement celles observées au cours des 400 000 dernières années, lorsque les cycles biogéochimiques ne subissaient que des variations naturelles.

### **1.11.3 quelle vision pour une bonne gestion des zones semi arides dans un contexte de changements climatiques ?**

Anticiper les impacts de changements climatiques sur les économies et les populations est d'une importance primordiale. En 2015, Gaye et al ont analysé, à partir de modèles spécifiques, l'évolution passée et future de la pluviométrie et de la température au Sénégal et

leurs impacts probables sur les activités économiques et sur les politiques de résilience .

D'après les scénarios moyens et forts (RCP4.5 et RCP8.5) du cinquième rapport du GIEC, les pluies seront légèrement en baisse sur l'ensemble du territoire tandis que les températures seront en hausse. Ces deux tendances exerceront généralement un déficit sur la disponibilité des ressources en eau et les secteurs qui leur sont connexes.

La forte augmentation de la température au Sénégal entrainerait une forte évapotranspiration qui, combinée à un déficit en pluviométrie, va avoir un impact sur les ressources en eau et sur l'agriculture. Par conséquent, les secteurs connexes aux ressources en eau tels que l'agriculture, l'élevage, la pêche, les écosystèmes, seront aussi fortement impactés par ces probables situations climatiques. Cette hausse de la température et ce déficit pluviométrique ont été aussi trouvés sur cette partie du Sahel par les travaux de Diallo et al., (2012)

#### **1.11.4 impacts climatiques sur la ressource et l'environnement**

Le lien entre le changement climatique et ses effets sur les ressources en eau s'établit à travers les extrêmes climatiques tels que sécheresses, orages violents, inondations etc. Le changement climatique pourra impacter les ressources en eau à travers la quantité, la variabilité, la période, la forme et l'intensité des précipitations (ADAMS & PECK, 2008).

Cela est/sera véritablement un gros problème en Afrique où la collecte des données ne se fait pratiquement plus depuis environ vingt ans dans de nombreux pays, et de plus, même si les données peuvent exister, les utilisateurs finaux n'en disposent pas, ce qui est un danger pour la conduite de leurs activités. Dans ce sens, la vulnérabilité et l'adaptabilité des communautés locales aux demandes d'eau en Afrique (humide, sèche, semi-aride ou aride) sont d'actualité de par les défis sociaux et économiques qu'elles soulèvent. En 2003, 850 millions d'individus dans le monde ont été victimes de l'insécurité alimentaire, parmi lesquels 60% vivent en Asie du sud et en Afrique sub-saharienne.

Dans les régions où les ressources en eau sont limitées, la moindre perturbation d'un seul compartiment du cycle hydrologique peut avoir des répercussions majeures sur l'ensemble du cycle et sur la disponibilité en eau pour les différents usages qu'en ont les populations. Les perturbations peuvent être d'origine climatique ou anthropique, concerner les eaux souterraines ou les eaux de surface, ou l'environnement via l'érosion et les états de surface. Les impacts sur la ressource en eau concernent tous les domaines d'activité, depuis l'approvisionnement en eau potable jusqu'à l'irrigation, mais également la santé. Les nappes

La recharge des nappes est intimement liée à la qualité des précipitations. La baisse des pluies enregistrée dans de nombreux pays arides et semi-arides depuis plusieurs décennies est le plus souvent associée à une baisse du niveau des eaux souterraines. Mais la pression anthropique semble être un facteur plus important encore : la surexploitation des eaux souterraines provoque une dégradation de la qualité des eaux, comme le montrent Ben Hamouda et al. dans leur étude de l'aquifère de la côte orientale du cap Bon en Tunisie, qui connaît une dégradation de la qualité de ses eaux, du fait de la surexploitation de la nappe et du développement de l'irrigation. Ben Ammar et al., sur la base d'une étude géochimique qui permet d'étudier l'évolution de la recharge, attribuent à une surexploitation locale des ressources et à la construction de barrages la diminution de la recharge de la nappe phréatique de la plaine de Kairouan depuis plusieurs décennies.

#### **1.11.5 Les précipitations**

- Des niveaux de précipitation insuffisants peuvent entraîner une diminution des réserves d'eau dans les lacs, les rivières et les aquifères souterrains, ce qui peut conduire à une pénurie d'eau pour les usages domestiques, agricoles, industriels et environnementaux.
- Les périodes de faibles précipitations prolongées peuvent conduire à des sécheresses, affectant les ressources en eau, l'agriculture, la sécurité alimentaire, la biodiversité et la santé humaine.
- Les faibles niveaux de précipitation entraînent souvent une diminution des débits des cours d'eau, ce qui peut affecter la navigation, la production d'énergie hydroélectrique, la qualité de l'eau et les écosystèmes aquatiques.
- Les nappes phréatiques souterraines peuvent subir une baisse de leur niveau en raison de la diminution des infiltrations d'eau de pluie, ce qui affecte la disponibilité de l'eau pour l'irrigation et les usages domestiques.

#### **1.11.6 Température**

Les températures dans les régions semi-arides présentent une grande amplitude thermique, marquée par des étés extrêmement chauds et des hivers relativement doux à froids. Pendant la saison estivale, les températures peuvent atteindre ou dépasser 40°C, créant des conditions de chaleur intense qui accentuent l'évaporation et exacerbent le déficit hydrique déjà présent en raison des faibles précipitations. Ces températures élevées imposent un stress considérable sur la végétation et les systèmes agricoles.

En revanche, les hivers peuvent varier en fonction de la latitude et de l'altitude de la région. Dans certaines zones semi-arides, les températures hivernales restent relativement douces, alors que dans d'autres, elles peuvent descendre suffisamment pour occasionner des gelées nocturnes. Cette variation saisonnière des températures influe sur les cycles de croissance des plantes et sur la gestion des ressources en eau. Les températures nocturnes, en particulier, peuvent chuter de manière significative, offrant un certain répit à la chaleur diurne et permettant à certaines espèces végétales de survivre dans des conditions autrement inhospitalières. La grande amplitude thermique diurne et saisonnière est une caractéristique clé du climat des régions semi-arides, influençant fortement les écosystèmes et les activités humaines.

### **1.11.7 Sols**

Les sols des régions semi-arides présentent des caractéristiques distinctives qui influent sur leur fertilité et leur capacité à soutenir la vie végétale. Typiquement, ces sols sont pauvres en matière organique et en nutriments essentiels, ce qui les rend souvent peu propices à l'agriculture intensive sans apports externes de fertilisants. Leur texture est généralement sableuse ou limoneuse, avec une faible capacité de rétention d'eau. Cette caractéristique rend les sols semi-arides sensibles à l'érosion éolienne et hydrique, surtout en l'absence de couverture végétale adéquate pour les protéger.

L'érosion peut être exacerbée par les précipitations irrégulières et parfois intenses, qui entraînent le lessivage des nutriments et la dégradation progressive des sols. En conséquence, les sols des régions semi-arides peuvent devenir compacts et stériles, limitant leur capacité à soutenir la croissance des plantes.

### **1.11.8 L'évaporation des lacs et des barrages en Algérie**

Les experts algériens ont proposé une série de suggestions dans le but de sauvegarder les ressources mobilisées actuellement, tout en tentant de les augmenter au maximum. parmi les suggestions:

l'entretien des barrages actuels (lutter contre l'envasement, les fuites et l'évaporation), sauvegarder la capacité actuelle, lutter contre les fuites dans les réseaux de distribution, rechercher d'autres sources d'eau, construire de nouveaux barrages et des retenues collinaires, dessaler des eaux de mère réutiliser des eaux usée traitées.

La réalisation des barrages et des retenues collinaires est l'une des suggestions les plus adoptées en Algérie pour assurer un taux de satisfaction.

Avec un nombre de barrages et de retenues collinaires aussi important l'Algérie se situe au premier rang dans le monde arabe et occupe la deuxième place en Afrique, après l'Afrique du sud (Reminiet al. 2005).

Selon Terra (2013), l'Algérie possède 68 barrages, et 463 retenues collinaires. La capacité globale des 68 barrages est de  $7,1 \times 10^9 \text{ m}^3$  (Terra, 2013). Mais la plupart de ces barrages sont soumis à une perte de capacité due essentiellement à trois phénomènes, à savoir : Les fuites d'eau qui touchent une vingtaine de barrages (avec  $40 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ ), l'envasement qui affecte une cinquantaine de barrages (avec  $32 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ ), et l'évaporation (environ  $250 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ ) (Remini et al. 2010).

Il est remarqué que les pertes par évaporation sont les plus importantes et dépassent même la somme des pertes par fuites et par envasement ( $72 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ ).

Pour mieux comprendre l'ampleur du phénomène de l'évaporation en Algérie, Reminiet al. 2005) ont constaté 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. Selon le même auteur, dans la zone saharienne, le volume évaporé dépasse même la quantité d'eau destinée à l'alimentation en eau potable et l'irrigation durant la même période (1992–2002).

### **1.11.9 Végétation**

#### **➤ Type de végétation**

- Végétation clairsemée et adaptée à la sécheresse, incluant des graminées, des arbustes résistants à la sécheresse comme les acacias, et des cactus.
- Adaptations telles que des feuilles réduites ou cireuses, des racines profondes et des mécanismes de stockage d'eau.

#### **➤ Biodiversité**

- La biodiversité peut être riche mais composée d'espèces hautement spécialisées et adaptées aux conditions de stress hydrique.

#### **➤ Hydrologie**

## 1. Sources d'eau

- Les rivières peuvent être saisonnières (oueds) et les nappes phréatiques peuvent être profondes et peu rechargées.
- Usage fréquent de puits pour accéder à l'eau souterraine.

### 1.11.10 Activités humaines

#### ➤ Agriculture

- Pratiques agricoles adaptées, souvent axées sur des cultures résistantes à la sécheresse comme le mil, le sorgho et le cactus.
- Techniques d'irrigation limitées et économes en eau, telles que l'irrigation goutte-à-goutte.

#### ➤ Élevage

- Prédominance de l'élevage extensif, souvent nomade ou semi-nomade, avec des espèces animales adaptées comme les chèvres, moutons et chameaux.

### 1.12 Principaux défis liés à la gestion inefficace des ressources en eau

L'eau étant un élément central de tous les écosystèmes, une gestion inadéquate de cette ressource a des répercussions directes et indirectes sur l'environnement., les conséquences de cette insuffisance sont multiples et complexes :

#### 1.12.1 Impacts directs

- **Dégradation de la qualité de l'eau**
  - **Pollution:** L'agriculture intensive, l'industrialisation et les rejets urbains non traités polluent les cours d'eau, les nappes phréatiques et les zones côtières.
  - **Eutrophisation:** L'excès de nutriments (azote, phosphore) provenant de l'agriculture et des eaux usées provoque la prolifération d'algues, entraînant une dégradation de la qualité de l'eau et une diminution de la biodiversité.
  - **Salinisation:** L'irrigation excessive et l'intrusion d'eau de mer peuvent saliniser les sols et les eaux souterraines, rendant les terres impropres à la culture.
- **Épuisement des ressources en eau**

- **Assèchement des cours d'eau et des zones humides:** La surexploitation des ressources en eau peut entraîner l'assèchement de cours d'eau et de zones humides, habitats essentiels pour de nombreuses espèces.
- **Baisse des nappes phréatiques:** Le pompage excessif des nappes phréatiques peut entraîner leur épuisement et provoquer des affaissements de terrain.

### 1.12.2 Impacts indirect

- **Perte de biodiversité**
  - **Disparition d'espèces :** La dégradation des habitats aquatiques entraîne la disparition de nombreuses espèces de poissons, d'oiseaux et d'autres organismes.
  - **Déséquilibre des écosystèmes:** La modification des régimes hydrologiques perturbe les équilibres écologiques et peut entraîner des invasions d'espèces exotiques.
- **Dégradation des sols**
  - **Érosion:** La diminution de la couverture végétale due à la sécheresse ou à la surexploitation des ressources en eau favorise l'érosion des sols.
  - **Salinisation:** Comme mentionné précédemment, la salinisation des sols réduit leur fertilité et limite les possibilités d'utilisation agricole.
- **Désertification:** La combinaison de la sécheresse, de la surexploitation des ressources en eau et de pratiques agricoles non durables peut accélérer le processus de désertification.
- **Changement climatique:** La gestion inadéquate de l'eau peut amplifier les effets du changement climatique en réduisant la capacité des écosystèmes à s'adapter.

En conclusion, l'insuffisance de la gestion de l'eau a des conséquences considérables sur l'environnement, avec des impacts qui se répercutent sur la biodiversité, la qualité des sols, le climat et les activités humaines. Pour faire face à ces défis, il est essentiel de mettre en œuvre des politiques de gestion de l'eau durables, intégrant les dimensions sociales, économiques et environnementales.

#### ➤ **Les concurrence pour les ressources en eau**

Les usages domestiques, agricoles, industriels et environnementaux rivalisent pour l'accès à l'eau. Par exemple, l'agriculture est souvent le plus gros consommateur d'eau dans de nombreuses régions, ce qui peut entraîner des tensions avec les usages urbains ou industriels. Dans de nombreuses régions, les agriculteurs, les industries, les municipalités et les écosystèmes naturels se disputent l'accès à des ressources en eau limitées.

Les bassins versants transfrontaliers et les aquifères partagés peuvent être des sources de tensions entre différents pays ou régions, en particulier dans les zones où l'eau est rare et où la demande dépasse l'offre.

Avec l'augmentation de la population mondiale et le développement économique, la demande en eau ne cesse de croître. Cette demande future entre en concurrence avec les besoins actuels, ce qui rend la gestion durable des ressources en eau encore plus cruciale.

#### ➤ **Pénurie d'eau**

La pénurie d'eau, temporaire ou structurelle, résulte d'une insuffisance quantitative et/ou qualitative de la ressource hydrique disponible par rapport à la demande. Son étude participe à la réflexion pour une meilleure répartition et préservation de l'eau, réflexion essentielle quand il s'agit de traiter du développement durable des sociétés. Les tensions inhérentes à la diversité des usages en font une question empreinte de complexité et de conflictualité. La connaissance à la fois des écosystèmes et de leur gestion, des conflits et des risques, et de l'évolution des arbitrages de plus en plus dépendants de régulations collectives, sous-tend l'action.

L'eau manque pour les besoins vitaux, chaque jour, inexorablement ; ailleurs, les usages sont couverts dans leur diversité, voire leur futilité, à partir des réseaux qui font circuler l'eau dans l'espace et assurent sa distribution de façon sécurisée et en quantité suffisante. Les données sur l'état des ressources mondiales attestent de l'abondance (1 400 millions de km<sup>3</sup> d'eau dans l'hydrosphère) mais aussi de l'inégale répartition de l'eau douce et des problèmes croissants d'accessibilité à l'eau potable, que ce soit à l'échelle planétaire ou régionale (Diop, Rekacewicz, 2003). Au cours du XX<sup>e</sup>es., l'explosion démographique, le développement économique, l'industrialisation d'une partie du monde et l'expansion de l'agriculture irriguée ont amené les impacts sur le cycle de l'eau à un niveau qui n'est plus négligeable.

Les pressions humaines sur les ressources en eau connaissent elles aussi une inégale distribution.

➤ **Impacts climatiques sur la ressource et l'environnement**

Le lien entre le changement climatique et ses effets sur les ressources en eau s'établit à travers les extrêmes climatiques tels que sécheresses, orages violents, inondations etc. Le changement climatique pourra impacter les ressources en eau à travers la quantité, la variabilité, la période, la forme et l'intensité des précipitations (ADAMS & PECK, 2008). Cela est/sera véritablement un gros problème en Afrique où la collecte des données ne se fait pratiquement plus depuis environ vingt ans dans de nombreux pays, et de plus, même si les données peuvent exister, les utilisateurs finaux n'en disposent pas, ce qui est un danger pour la conduite de leurs activités. Dans ce sens, la vulnérabilité et l'adaptabilité des communautés locales aux demandes d'eau en Afrique (humide, sèche, semi-aride ou aride) sont d'actualité de par les défis sociaux et économiques qu'elles soulèvent. En 2003, 850 millions d'individus dans le monde ont été victimes de l'insécurité alimentaire, parmi lesquels 60% vivent en Asie du sud et en Afrique sub-saharienne.

Dans les régions où les ressources en eau sont limitées, la moindre perturbation d'un seul compartiment du cycle hydrologique peut avoir des répercussions majeures sur l'ensemble du cycle et sur la disponibilité en eau pour les différents usages qu'en ont les populations. Les perturbations peuvent être d'origine climatique ou anthropique, concerner les eaux souterraines ou les eaux de surface, ou l'environnement via l'érosion et les états de surface. Les impacts sur la ressource en eau concernent tous les domaines d'activité, depuis l'approvisionnement en eau potable jusqu'à l'irrigation, mais également la santé. Les nappes La recharge des nappes est intimement liée à la qualité des précipitations. La baisse des pluies enregistrée dans de nombreux pays arides et semi-arides depuis plusieurs décennies est le plus souvent associée à une baisse du niveau des eaux souterraines. Mais la pression anthropique semble être un facteur plus important encore : la surexploitation des eaux souterraines provoque une dégradation de la qualité des eaux, comme le montrent Ben Hamouda et al. dans leur étude de l'aquifère de la côte orientale du cap Bon en Tunisie, qui connaît une dégradation de la qualité de ses eaux, du fait de la surexploitation de la nappe et du développement de l'irrigation. Ben Ammar et al., sur la base d'une étude géochimique qui permet d'étudier l'évolution de la recharge, attribuent à une surexploitation locale des

ressources et à la construction de barrages la diminution de la recharge de la nappe phréatique de la plaine de Kairouan depuis plusieurs décennies.

## **1.13 Organismes de gestion intégrée de la ressource en eau en Algérie**

### **1.13.1 Principaux organismes impliqués**

#### **1.13.1.1 Ministère des ressources en eau**

Le "Ministère des Ressources en Eau" est chargé de la gestion, de la préservation et du développement des ressources hydriques d'un pays. Il élabore des politiques pour une utilisation durable de l'eau, supervise les infrastructures liées à l'eau, établit des règlements pour protéger les ressources et coordonne les interventions en cas de crises comme les sécheresses ou les inondations. En outre, il collabore avec des partenaires internationaux pour gérer les ressources en eau partagées de manière durable.

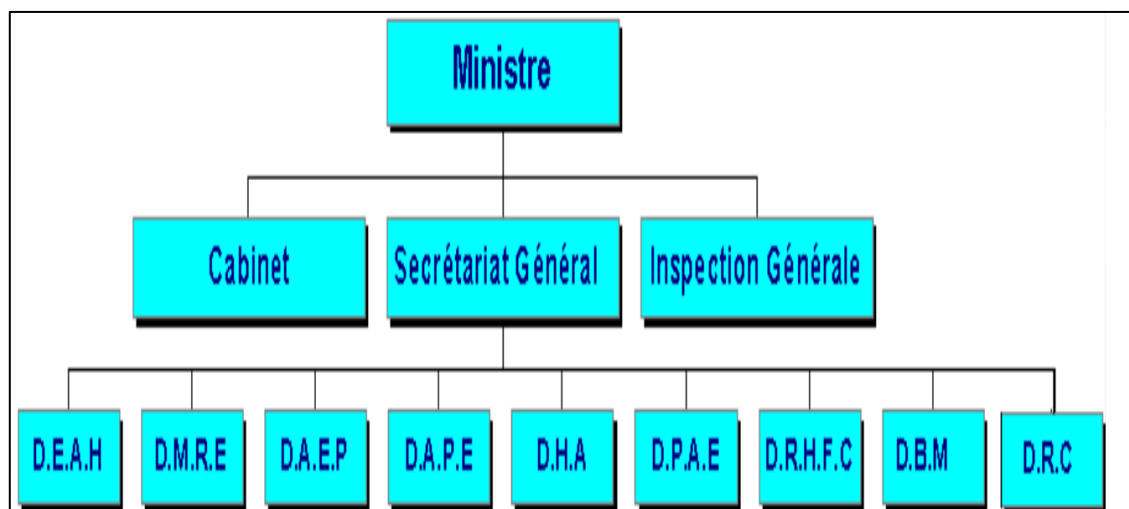


**Figure (1-4) :**organigramme de ministère des ressources en eau

**D.E.A.H:** Direction des Etudes et des Aménagements Hydrauliques

**D.P.A.E:** Direction de la Planification et des Affaires Économiques

**D.M.R.E:** Direction de la Mobilisation des Ressources en Eau

**D.A.E.P:** Direction de l'Alimentation en Eau Potable

**D.A.P.E:** Direction de l'Assainissement et de la Protection de l'Environnement

**D.H.A:** Direction de l'Hydraulique Agricole

**D.R.H.F.C:** Direction des Ressources Humaines, de la Formation et de la Coopération

**D.B.M:** Direction du Budget, et des Moyens

**D.R.C:** Direction de la Réglementation et du Contentieux

#### **1.13.1.2 Agences de bassins hydrographiques**

Les agences de bassins hydrographiques sont responsables de la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle des bassins versants. Elles planifient et coordonnent les politiques de gestion de l'eau, en s'adaptant aux spécificités locales. Ces agences collaborent avec divers acteurs pour garantir une utilisation durable des ressources, surveillent la qualité de l'eau, protègent contre les risques comme les inondations, et favorisent la coopération entre les parties prenantes du bassin.

Le territoire de l'Algérie a été divisé en 1996 en 5 bassins hydrographiques :

- Constantinois - Seybouse- Mellègue.
- Algérois- Hodna - Soumam.
- **Cheliff - Zahrez.**
- Oranie - Chott - Chergui.
- Sahara.

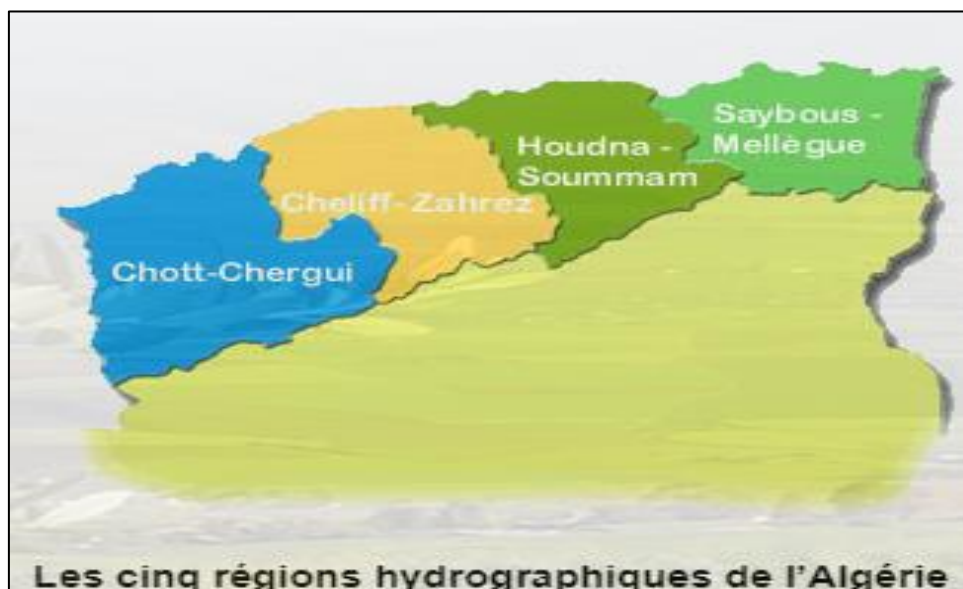


**Figure (1-5) : les cinq régions hydrographiques de l'Algérie.**

#### **1.13.1.3 Office National de l'Assainissement (ONA)**

L'Office National de l'Assainissement (ONA) est une institution publique responsable de la gestion des systèmes d'assainissement. Il assure la collecte, le traitement et l'évacuation des eaux usées pour protéger l'environnement et la santé publique. L'ONA planifie et met en œuvre des infrastructures d'assainissement, surveille la qualité des services, et collabore avec les autorités locales pour garantir un assainissement efficace et durable.

#### **1.13.1.4 Office National de l'Irrigation et du Drainage (ONID)**

L'Office National de l'Irrigation et du Drainage (ONID) est chargé de gérer et développer les systèmes d'irrigation et de drainage. Il planifie, conçoit, et entretient les infrastructures pour une irrigation efficace et un drainage adéquat, collaborant avec les agriculteurs et les autorités locales pour optimiser l'utilisation de l'eau, améliorer la productivité agricole, et prévenir les inondations et la salinisation des sols.

#### **1.13.1.5 Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT)**

L'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) est chargée de gérer, construire et entretenir les barrages et infrastructures de transfert d'eau. Elle assure la sécurité des barrages, optimise la distribution de l'eau entre les régions, et joue un rôle clé dans la planification des projets hydrauliques et la régulation des cours d'eau. L'ANBT contribue également à la prévention des risques liés à l'eau, comme les inondations, en collaborant avec diverses parties pour garantir une gestion durable des ressources en eau.

#### **1.13.1.6 Algérienne des Eaux (ADE)**

L'Algérienne des Eaux (ADE) est une entreprise publique qui gère la distribution et la commercialisation de l'eau potable en Algérie. Elle veille à l'approvisionnement en eau des ménages, des entreprises et des institutions publiques, tout en garantissant la qualité et la disponibilité de cette ressource. L'ADE entretient les réseaux de distribution, gère la facturation, et intervient lors de problèmes ou urgences liés à l'eau. Elle travaille également avec les autorités locales pour améliorer les infrastructures et répondre aux besoins croissants en eau potable dans le pays.

#### **1.13.1.7 Comités de bassin**

Les comités de bassin sont des instances consultatives qui rassemblent divers acteurs, tels que les représentants locaux, les usagers de l'eau, les associations environnementales et les services de l'État, pour gérer les ressources en eau d'un bassin versant. Leur rôle est d'élaborer et de mettre en œuvre des politiques de gestion de l'eau en tenant compte des besoins de toutes les parties prenantes. Ils coordonnent les actions pour préserver et répartir équitablement les ressources en eau, tout en gérant les risques hydrologiques.

#### **1.13.1.8 Coordination et collaboration**

La coordination et la collaboration sont vitales pour une gestion réussie des projets. Elles nécessitent la coopération entre différentes parties prenantes pour aligner les efforts, partager les informations et atteindre des objectifs communs. Une coordination efficace améliore la communication, minimise les conflits et optimise les ressources, tandis que la collaboration renforce l'engagement et la cohésion. Ensemble, elles sont essentielles au succès des initiatives collectives

### **1.14 Conclusion**

En conclusion, la gestion des ressources en eau dans les régions semi-arides nécessite des stratégies innovantes et adaptées, parmi lesquelles les barrages jouent un rôle crucial. Ces infrastructures permettent de stocker l'eau pendant les périodes de précipitations irrégulières et de la redistribuer de manière contrôlée durant les périodes de sécheresse. Les barrages contribuent également à la régulation des crues, à l'irrigation agricole, à l'approvisionnement en eau potable et à la production d'énergie hydroélectrique. Cependant, leur construction et leur gestion doivent être soigneusement planifiées pour minimiser les impacts environnementaux et sociaux, tels que la perturbation des écosystèmes aquatiques et le déplacement des populations locales.

De plus, l'entretien des barrages et la gestion des sédiments sont essentiels pour garantir leur efficacité à long terme. En intégrant ces considérations, les barrages constituent une solution efficace et durable pour répondre aux défis posés par les ressources en eau limitées dans les régions semi-arides, contribuant ainsi à la résilience des communautés locales face aux changements climatiques et aux variations hydrologiques.

## *Chapitre 2:*

---

### *PRÉSENTATION DU LOGICIEL WEAP*

---

## **2.1 Introduction**

De nombreuses régions sont confrontées à des défis en matière de gestion de l'eau douce. Attribution de crédits limités les ressources en eau, la qualité de l'environnement et les politiques d'utilisation durable de l'eau sont des questions d'une préoccupation croissante. Les modèles de simulation conventionnels axés sur l'offre ne sont pas toujours adéquats. Au cours de la dernière décennie, une approche intégrée du développement de l'eau a émergé qui place projets d'approvisionnement en eau dans le contexte des problèmes liés à la demande, ainsi que des problèmes de qualité de l'eau et préservation des écosystèmes.

Le Système d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP) vise à intégrer ces valeurs dans un outil pratique pour la planification des ressources en eau. WEAP se distingue par son approche intégrée de simulation des systèmes d'eau et par son orientation politique.

WEAP place le côté demande de l'équation-modèles d'utilisation de l'eau, efficacité des équipements, réutilisation, prix, demande d'énergie hydroélectrique, et l'allocation- sur un pied d'égalité avec l'offre - du débit fluvial, des eaux souterraines, des réservoirs et transferts d'eau. WEAP est un laboratoire pour examiner le développement alternatif de l'eau et stratégies de gestion.

WEAP est complet, simple et facile à utiliser, et tente d'aider plutôt que de remplacer le planificateur qualifié. En tant que base de données, WEAP fournit un système de maintenance de l'eau informations sur la demande et l'offre. En tant qu'outil de prévision, WEAP simule la demande, l'offre, les flux et le stockage, ainsi que la génération, le traitement et le rejet de la pollution.

En tant qu'outil d'analyse des politiques, WEAP évalue une gamme complète d'options de développement et de gestion de l'eau et prend en compte d'utilisations multiples et concurrentes des systèmes d'eau.

## **2.2 Description du logiciel WEAP**

WEAP ou « Water Evaluation and planning System » est créé par Stockholm Environment Institute (SEI) à Tellus Institute 11 Arlington Street, Boston, MA U2116-3411 USA par les chercheurs : Jack Sieber, Water Systems Modeler ; Chris Swartz, Research Associates et Annette Huber – Lee, Director Water Program Stockholm Environment Institute. (Directeur du Programme sur l'Eau de l'Institut de l'Environnement de Stockholm) (WEAP user guide,

2015), WEAP place l'évaluation des problèmes spécifiques de l'eau dans un cadre global. Il intègre plusieurs dimensions : les besoins et l'approvisionnement, entre la quantité et la qualité de l'eau, et les objectifs de développement économique et les contraintes environnementales.

## 2.3 Acquisition du logiciel WEAP

Le logiciel WEAP est téléchargeable sur site : <http://www.weap21.org>. Il est fonctionnel excepté que le dispositif « économiser données » est handicapé. Une version Démo du logiciel est accessible à tout le monde. Par contre, pour le fonctionnel, il faut obtenir un permis ou licence d'utilisation pour les types d'utilisateur. Pour l'obtention, il faut remplir et envoyer un formulaire. L'SEI (Stockholm Environment Institute) envoie par e-mail le nom d'utilisateur et un code d'enregistrement, les instructions pour activer le logiciel WEAP et pour permettre le dispositif "économiser données" fonctionnel. Il est préférable que l'ordinateur soit relié à l'Internet car le WEAP a un forum d'utilisateur sur le site <http://forums.seib.org/weap>.

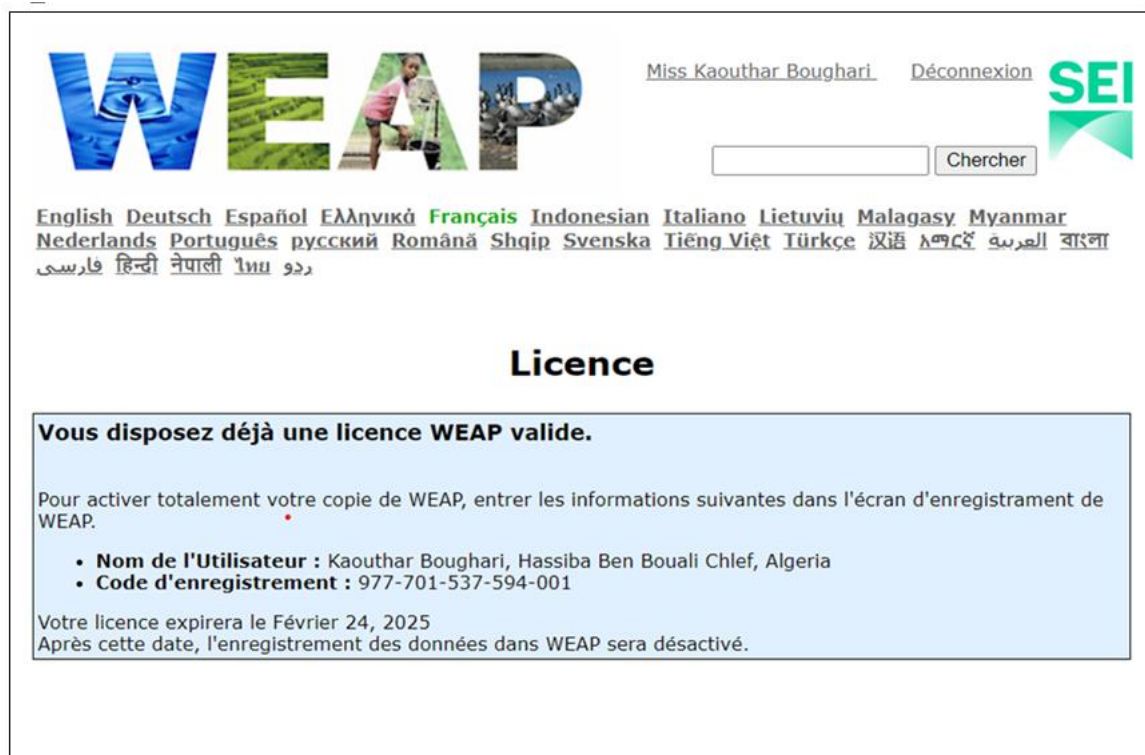


**Figure (2-1) : Licence d'activation du logiciel WEAP**

Il faut un pseudo et un mot de passe pour entrer dans ce forum. Le forum peut aider l'utilisateur pendant la mise en marche du logiciel, le traitement de données et la mise à jour du logiciel. Le permis d'utilisation est valide pour une durée déterminée. A noter que l'IES peut publier des travaux de modélisation sous WEAP et souhaite avoir une version de la présente modélisation.

## **2.4 Principaux objectifs du logiciel**

WEAP place l'évaluation des problèmes spécifiques de l'eau dans un cadre global.

Il intègre plusieurs dimensions : entre les besoins et l'approvisionnement, entre la quantité et la qualité de l'eau, et entre les objectifs de développement économique et les contraintes environnementales. Les objectifs de ce système d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP) sont :

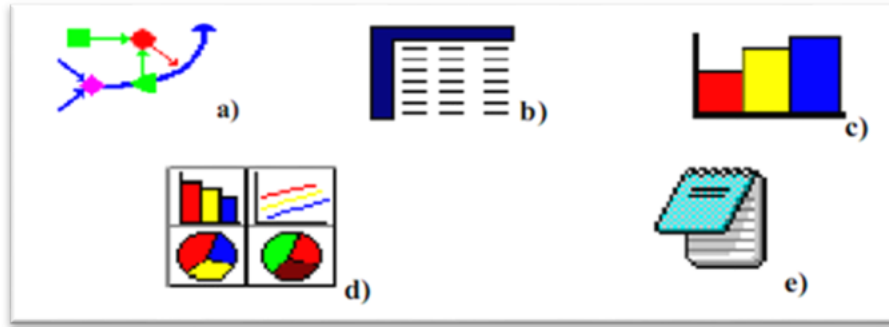
- d'incorporer ces dimensions dans un outil pratique pour des ressources d'eau avec la projection future ;
- d'examiner des stratégies alternatives de développement et de gestion de l'eau ;
- de fournir un système de base de données pour la demande ou besoin en eau et les informations de maintien d'approvisionnement ;
- de prévoir certaines situations des ressources en eau en simulant la demande, les ressources exploitables, les écoulements et stockage, et les sources de pollutions, les traitements et décharges ;
- d'analyser le développement socio-économique en évaluant une gamme complète des options de développement et de gestion de l'eau, et en tenant compte des utilisations multiples et concurrentes des systèmes aquatiques. (MESSAHEL, 2005).

Le WEAP utilise une approche intégrée permettant de simuler les interactions entre des variables explicatives naturelles (précipitations, évapotranspiration, ruissellement, etc.) avec des composants d'aménagements (réservoirs, pompage, etc.), permettant d'aboutir à une vision globale de plusieurs facteurs pertinents à la gestion des ressources en eau (Droogers et al., 2011).

## **2.5 Structure du Logiciel WEAP**

WEAP se possède cinq présentations principales : représentation cartographique et graphique, affichage des données et des résultats, présentation des notes et observations. Ces affichages sont présentés par des icônes graphiques sur la "barre d'affichage « située à côté gauche de l'écran.

En cliquant sur l'une de ces icônes, une présentation voulue est affichée. Ces cinq affichages sont présentés ci-dessous (Fig 2 a, b, c, d, e).



**Figure(2-2) : Les cinq affichages de modèle WEAP:**

a)-schéma b)- données c)-résultatsd)- explorateur de scénarios e)-remarques

### 2.5.1 Cartographie

C'est le point de commencement pour toutes les activités dans WEAP (Fig.3). Elle sert à créer, éditer ou aussi ajouter des couches ArcView ou d'autres SIG standard de la zone d'étude comme couche de fond. Ainsi, on peut accéder rapidement à l'analyse des données et à l'affichage des résultats pour n'importe quel nœud en cliquant sur l'objet qui nous intéresse. Les objets sont montrés dans la 2ème fenêtre gauche avec les signes conventionnels utilisés.

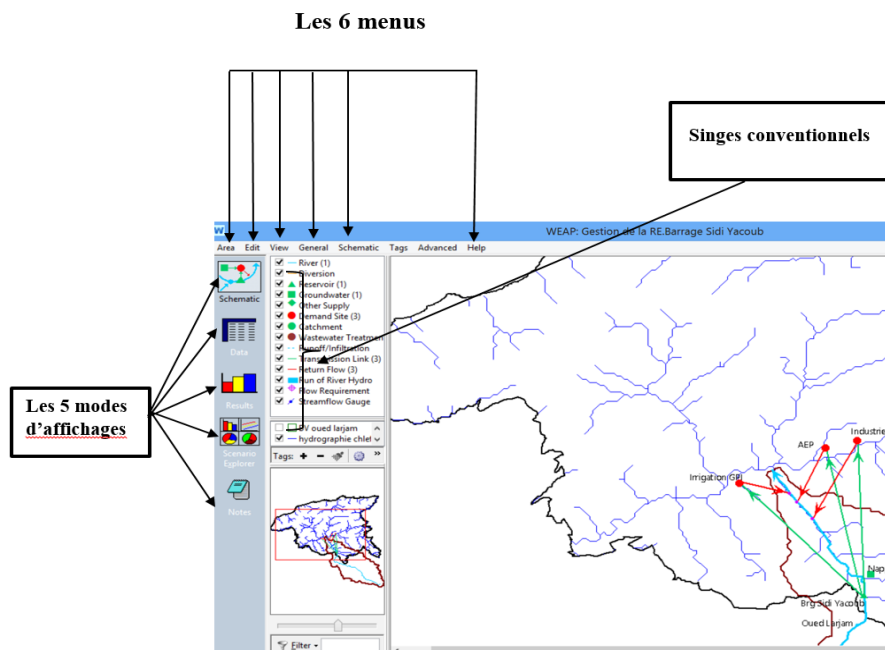


**Figure (2-3) : Fenêtre cartographie WEAP**

## 2.5.2 Base de données

C'est l'endroit pour la création des structures, du modèle et des suppositions de données. Pour l'affichage des données, l'écran est divisé en quatre carreaux :

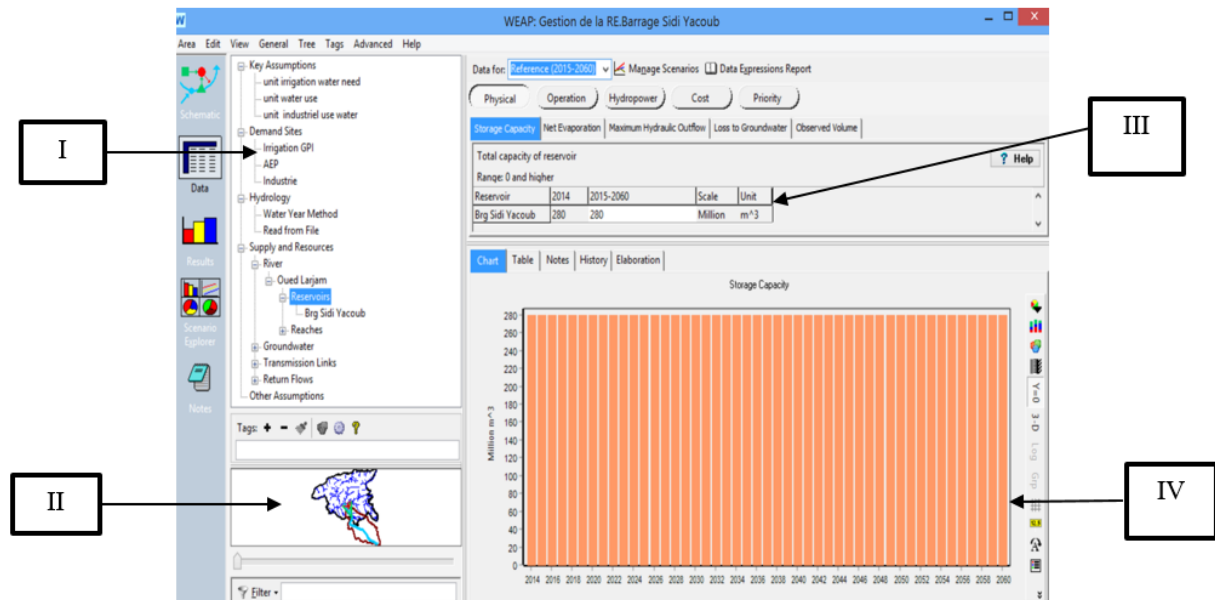


Figure (2-4) : Fenêtre basse de données

**I: Sur la partie supérieure**, un lien hiérarchique (menu lien) est employé pour créer et organiser des structures de données dans six suppositions principales (1) : principale clé, sites de demandes, hydrologie, approvisionnement et ressources, qualité de l'eau et d'autres suppositions.

Par exemple, cliquer sur « site de demande » la branche lien du côté gauche de l'écran, les données pour tous les emplacements de demande apparaissent sur le côté droit de l'écran.

**II: Sur la gauche inférieure**, un schéma du secteur apparaît. En cliquant sur l'élément qui apparaît sur le schéma, il sera accentué dans le lien et des données seront montrées dans les tables de saisie de données vers la droite (2).

Quand on clique sur une branche dans le lien, l'élément associé clignotera brièvement.

**III: Sur la partie droite supérieure**, une table de saisie de données apparaisse. Cette table sert à écrire les expressions qui définissent les comptes courants (3), pour éditer des données et pour créer le modèle des rapports.

Au-dessus de ce tableau de saisie de données, il y a un ensemble de boutons donnant l'accès aux différentes catégories de variables liées à chaque branche.

**IV: Au-dessus tableau de saisie de données**, un cadre de résultats apparaît, il représente graphiquement les données saisies dans la table de saisie de données. Sur le côté droit, il y a un barre d'outil pour changer la forme du diagramme (couleurs, effets 3D, grilles, nombre de positions décimales, etc....) Les données numériques peuvent être transférées directement dans Microsoft Excel.

### **2.5.3 Présentation des résultats**

C'est le menu qui permet d'afficher de façon détaillé et flexible toutes les sortes de modèles dans les diagrammes, les tables et le menu schéma. Cette présentation peut montrer une grande variété de diagrammes et de tables couvrant chaque aspect du système : demandes, approvisionnement et chargement environnementaux.

Les résultats peuvent être exportés dans l'Excel.

### **2.5.4 Représentation graphique**

La représentation graphique (est employée pour grouper l'ensemble des diagrammes "Favoris" et les tables (créés dans le menu résultat). Avec cette représentation, on peut examiner simultanément les différents aspects importants du système, tels que les demandes, le niveau de stockage, .... Les graphes peuvent être copiés dans Word.

### **2.5.5 Bloc-Notes**

L'écran de notes est un outil simple de traitement de texte (Fig.3) avec lequel on peut écrire des informations documentaires et des références pour chaque branche du lien. On peut importer les notes vers le texte (Microsoft Word).

## **2.6 Fonctionnement du logiciel**

WEAP fonctionne donc suivant cinq (5) étapes :

**. Créer une zone d'étude** : Dans cette partie, il s'agit de créer une carte de la zone d'étude. On peut utiliser des cartes traitées avec des logiciels de traitement cartographique (SIG) en particulier ArcWiev.

Cette carte va servir comme fond des dessins des éléments nécessaires pour pouvoir faire la simulation tels que : Les emplacements urbains, les rivières, les sources d'eaux souterraines, les réservoirs, les barrages, les industries, les sites agricultures et les autres types d'emplacement selon l'étude.

. **Créer les hypothèses clés et références** : Puisque le logiciel pourrait faire une simulation basée sur le calcul de la demande et l'approvisionnement en eau, l'écoulement, l'infiltration, le stockage, et le traitement général de pollution, la qualité de l'eau, etc.... Il est donc primordial de créer la base de données avec les différentes hypothèses clés et les différents scénarios.

. **Hypothèses clés** : Ce sont des variables définies par l'utilisateur du logiciel qui servent de clés principales pour faire l'analyse. Dans notre étude, nous avons quatre hypothèses clés servant comme données de base pour le logiciel utilisation d'eau domestique, besoins en eau pour l'irrigation, pourcentage mensuel d'utilisation d'eau domestique, taux de croissance de la population pour l'année du scénario futur.

. **Référence** : Il est nécessaire d'avoir une année ou une période de référence pour servir de modèle. Toutes les données à utiliser doivent être comprises entre cette année ou période de référence.

. **Proposer des Scénarios** : Dans WEAP, le scénario typique est composé de trois étapes une année de compte courant choisie comme année de référence du modèle dont on ajoute les données ou une période, un scénario de référence établi à partir du compte courant et sert pour simuler l'évolution, probable du système sans interposition, des autres scénarii pour évaluer les effets des changements socioéconomiques, Changements climatiques probables pour l'année ou projet futur.

. **Saisir les données** : Les données sont à saisir en cliquant droite après avoir créé les éléments dans la zone d'études (placer les emplacements urbains, industriels, agriculture,...) ou en passant dans le menu d'affichage de la base de données.

. **Présenter les résultats** : Les résultats se présentent sous forme de graphe et (ou) de tableau. On aura deux résultats à comparer :

les résultats de l'année de référence et de l'année de scénario de changements climatiques. Le fonctionnement du logiciel peut être représenté par le diagramme ci-dessous.

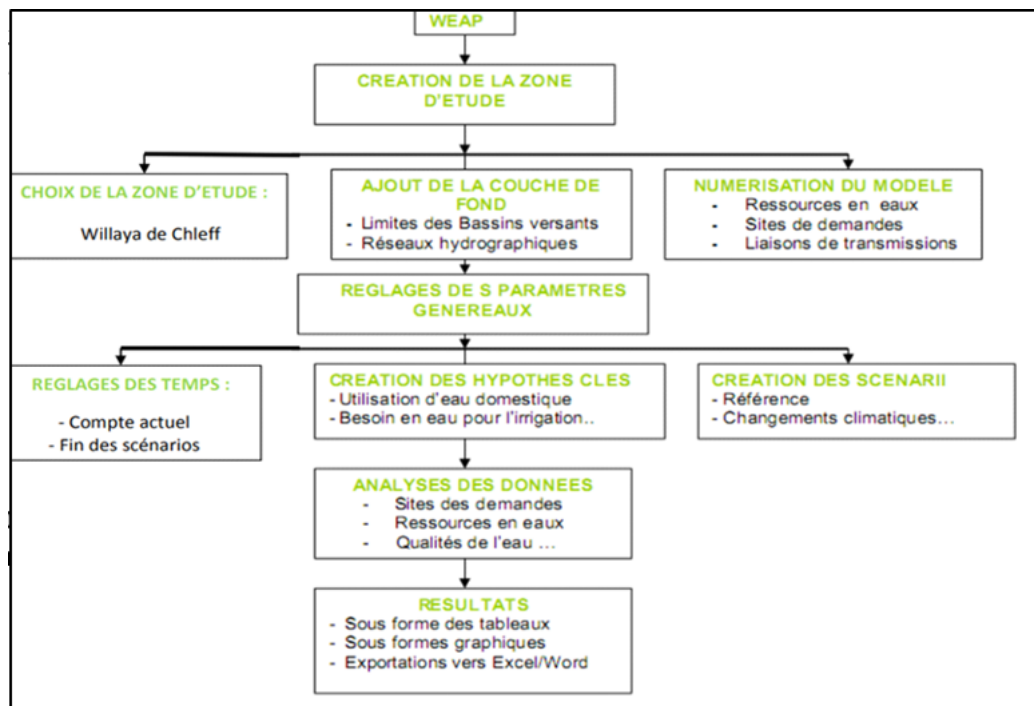


Figure (2-5) : Organigramme du fonctionnement du logiciel

## 2.7 Données nécessaires

Les données sont différentes suivant l'étude que l'on veut procéder.

### 2.7.1 Etude de l'offre et de la demande en eau

Pour l'étude de l'offre et de la demande ou l'étude de l'approvisionnement en eau, les principales données nécessaires sont la quantité d'eau domestique utilisée, la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation, la quantité d'eau utilisée pour l'élevage, les nombres ou effectifs d'utilisateurs (Population) la surface cultivée, les précipitations, l'évapotranspiration, les débits.

Ces données supposées englobant d'une part, les ressources en eau et d'autre part, les principaux usagers de l'eau, nous permettent de faire une modélisation simple de la gestion de l'eau, l'établissement des priorités à l'attribution de demande.

La prise en compte des données sur les autres utilisateurs comme l'industrie, l'exploitation minière, le tourisme et autres rend la modélisation plus proche de la réalité.

### 2.7.2 Etude de la qualité de l'eau

Dans cette étude, on peut modéliser les polluants en les classant en deux types : polluants conservateurs et polluants non conservateurs. Un polluant est dit conservateur s'il n'y a

aucun affaiblissement de ses constituants. Par contre, il est non conservateur si ses constituants se

délabrent selon une fonction d'affaiblissement exponentielle.

Quand on fait la modélisation de ce polluant, on saisit aussi les données sur le taux quotidien d'affaiblissement de l'élément polluant à modeler.

Les polluants conservateurs sont modelés par un bilan de matières simples ou constituantes chimiques de l'eau. Par contre, plusieurs modèles peuvent être offerts pour les polluants non conservateurs.

Le modèle nécessite des données entrantes sur la qualité de l'eau (surface et souterraines), des données sur la pollution pour l'emplacement de la demande (eaux usées domestiques), des données sur les eaux usées par des usines et eaux résiduelles.

### **2.7.3 Etude hydrologique**

Dans ce module, WEAP permet de faire :

La modélisation de captage par le modèle d'écoulement et de précipitations ou par le modèle d'humidité du sol ;

-La simulation sur l'interaction d'eau de surface

-Eaux souterraines ;

-Les données nécessaires sont surtout des données climatiques comme l'évapotranspiration potentielle ou réelle (ETP/ETR), précipitations (P), écoulement (R) ou débit (Q), humidité (H), infiltration (I).

### **2.7.4 Etudes hydro-électriques**

WEAP peut modeler aussi la production d'énergie mais dans la zone d'étude nous n'avons pas recensé aucun usage hydro-électrique.

## **2.8 lesExemples d'analyses appliquées**

- Analyses de la demande sectorielle
- L'utilisation des terres et les impacts du changement climatique sur l'hydrologie
- Conservation d'eau
- Droits d'eau et priorités d'allocation
- Simulations d'eaux souterraines et de débit

- Opérations du réservoir
- Génération hydroélectrique
- Suivi de la pollution
- Exigences de l'écosystème

## **2.9 Applications WEAP dans les pays du monde**

### **2.9.1 Planification des systèmes d'eau**

- Projet de petits réservoirs, Ghana / Brésil
- California Water Plan, Californie, États-Unis
- Rivière Guadiana, Espagne

### **2.9.2 Politique de l'eau transfrontalière**

- Rivière Okavango, Angola / Namibie / Botswana
- Lower Rio Grande, États-Unis / Mexique
- Mékong, Thaïlande / Cambodge / Vietnam / Laos
- Rivière du Jourdain, Syrie / Palestine / Jordanie

### **2.9.3 Etudes sur les changements climatiques**

- Bassins de la rivière Sacramento et San Joaquin, Californie, États-Unis
- Massachusetts Water Resources Authority, Massachusetts, États-Unis
- Deuxième communication nationale du Yémen
- Mali Deuxième communication nationale

### **2.9.4 Flux écologiques**

- Connecticut Département de la protection de l'environnement
- Ville de Situâtes, Massachusetts, États-Unis

### **2.9.5 Application de service d'eau dss**

- Études de cas à Portland, Oregon; Austin, Texas; et Philadelphie, Pennsylvanie.

## **2.10 Lier WEAP à d'autres logiciels**

### **a- Liens personnalisés / programmés**

-Modèle d'écoulement des eaux souterraines

- MODFLOW

-Modèle de qualité de l'eau de surface

- Qual2K

**b- Liens définis par l'utilisateur vers des bibliothèques de liens dynamiques**

-Département des ressources en eau de la Californie

- Delta modèle de salinité

-East-Bay Municipal Utilities District

- Modèle d'opérations de réservoir

**c- Appelez WEAP en utilisant l'interface de programmation d'application (API)**

-Analyse du scénario

- Voitures (Rand Corporation)

-Étalonnage du modèle

- Pest

-Analyse de sensibilité

- Script VB

**2.11 Les Faits saillants de WEAP**

\* Système intégré de planification des ressources en eau

\* Interface de glisser-déposer graphique basée sur GIS

\* Outil de création de modèle - variables créées par l'utilisateur et modélisation

\* Méthodologie de base: simulation physique des demandes et des fournitures

\* Capacités de gestion de scénarios

\* Liens dynamiques vers des feuilles de calcul et d'autres modèles

## *Chapitre 3:*

---

### *PRÉSENTATION DE LA ZONE ÉTUDE*

---

### 3.1 Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Chlef, située dans le nord-ouest de l'Algérie, s'étend sur une superficie de 4791 km<sup>2</sup>. Cette région revêt une grande importance géographique, historique, économique et sociale. Elle est bordée au nord par la mer Méditerranée, au sud par la wilaya de Tissemsilt, à l'est par les wilayas de AïnDefla et Tipaza, et à l'ouest par les wilayas de Mostaganem et Relizane.



**Figure (3-1) :** situation géographique de la zone d'étude.

### 3.2 Hydrographie

Chlef est une région située dans le nord de l'Algérie, et elle est traversée par plusieurs cours d'eau. Voici quelques-uns des principaux éléments de l'hydrographie de Cheliff

Le bassin Cheliff résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'Oued Touil et Nahr Ouassel, drainant respectivement une superficie de 16 338 km<sup>2</sup> et 3 651 km<sup>2</sup> et dont la cLe Chelif est le plus important cours d'eau, il traverse la wilaya d'est en ouest<sup>3</sup> et y est traversé par deux importants barrages : oued Fodda et Sidi Yakoub.

Nous allons nous limiter à étudier les plus importants affluents passent par la plaine de Chéliff de la rive droite de l'oued jusqu'à la rive gauche de lui. Voir la carte ci-dessous.

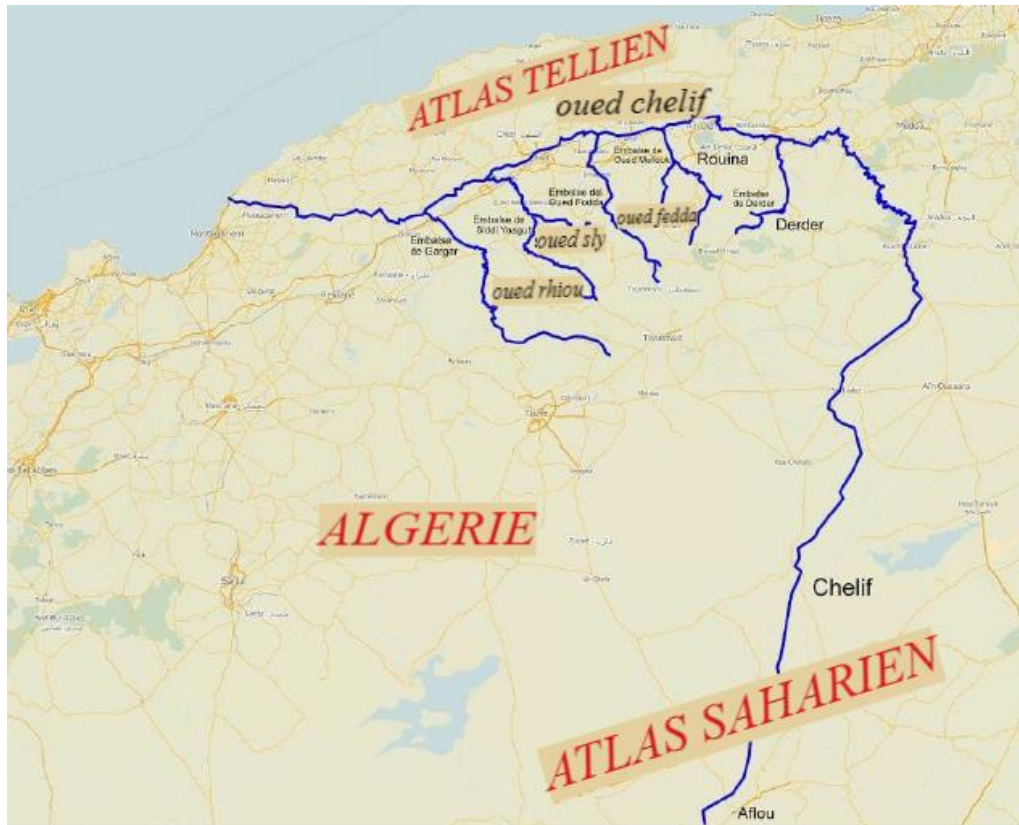


**Figure (3-2) :** les affluents les plus importants traversant la plaine de chlef.

- **Les affluents de la rive droite d'oued Chelif :** Il est un affluent de tiges principalement du côté ouest des montagnes du sud de Dahra et se caractérise par un manque d'eau reflète les petits bassins et le manque de précipitations en général, un flux temporaire et sec en été.
- **Oued Ras :** se compose d'un groupe d'affluents du côté ouest des montagnes Dahra terminée vallée au sud de Cheliff et la longueur de la tête d'une vallée 39 km.
- **Oued ouahrane :** est un affluent de l'oued de Cheliff, il recueille l'eau des montagnes et Dahra se jette dans la partie nord-ouest du bassin dans le cours d'eau de Cheliff, d'une longueur de 52 km et le débit annuel est de  $4 \text{ Hm}^3 / \text{an}$ .
- **Les affluents de la rive gauche d'oued Chelif :** La plupart de ses oueds proviennent des monts d'Ouarsenis, dont les affluents sont très différents des affluents de la rive droite et dont les principales caractéristiques sont l'écoulement continu de l'eau tout au long de l'année, la taille de ses bassins et sa présence face au vent, et d'absorber une grande partie de la pluie.
- **Oued fouda :** Ce oued provient des versants nord-est des monts ouarsnis et se caractérise par un chemin droit, sauf sur le côté nord il devient méandre. La longueur de l'oued fouda est de 75 km au barrage et de 117 km à l'estuaire, et son débit annuel est de  $152,7 \text{ Hm}^3 / \text{an}$

- **Oued sly** : Ses sources sont situées près des sources de la vallée de oued fouda , dans le sud-est du bassin près de Tesemselt, la longueur de la vallée est de 130 km et un débit annuel allant jusqu'à 111,3 hm<sup>3</sup> / ans.

### 3.3 Etude des ressources en eau

Dans la plaine L'eau est un important facteur naturels qui contrôlent la production agricole où l'eau est disponible pour l'irrigation affecte la superficie des terres cultivées, et la structure des cultures et des taux de production agricole, Ces ressources varient selon l'origine, la taille et les formes de la nature, en fonction des conditions naturelles et climatiques de la région à laquelle appartient la zone d'étude. Les ressources en eau de la RHCZ sont constituées par les eaux conventionnelles (eaux superficielles et eaux souterraines) et par les eaux non conventionnelles (eaux de dessalement et eaux usées traitées).

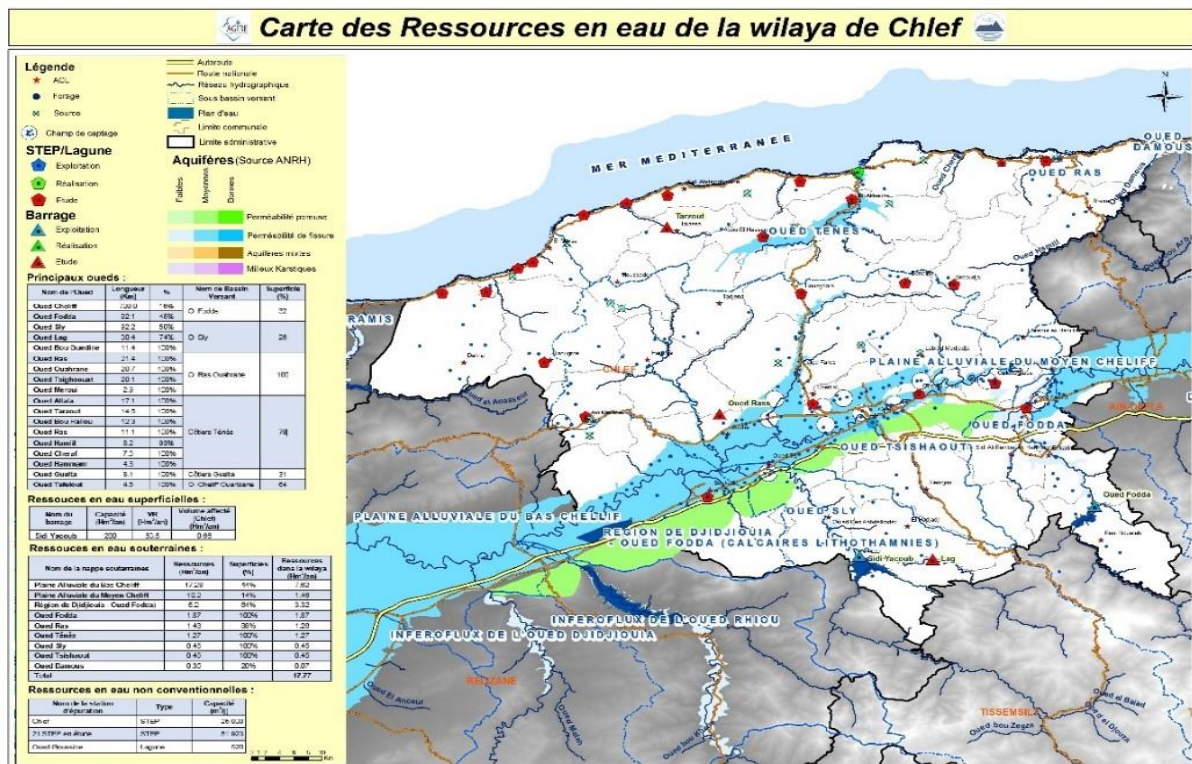


Figure (3-3) : Ressource en eau de la wilaya de Chlef.

### 3.3.1 Eaux conventionnelles

#### 3.3.1.1 Les eaux superficielles

Le volume d'eau terrestre sous forme solide, liquide et gazeuse est estimé à 1,384,120,000 km<sup>3</sup> dont seul 0.26% sont de l'eau douce directement exploitables. On estime qu'il y a théoriquement, l'eau douce suffisamment pour alimenter quelques 20 milliards d'habitants. Malheureusement elle n'est pas répartie de façon égale, comme en témoignent les vastes régions arides et semi-arides, Dans le monde Arabe, le volume total des eaux de surface est estimé à 204 milliards de m<sup>3</sup>. Au Maghreb, l'Algérie avec ses 81 barrages ne mobilise que 4.5×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> alors que le Maroc avec 33 barrages mobilise 10 109 m<sup>3</sup>, tandis que la Tunisie avec ses 28 barrages totalise 2.4 10<sup>9</sup>. Pour l'ensemble des barrages Algériens les sédiments déposés sont évalués à 100 106 m<sup>3</sup> en 5 ans soit 20 106 m<sup>3</sup>/an de volume perdu.

#### a) Les barrages

Deux (02) barrages sont en exploitation dans la wilaya de Chlef. Il s'agit du barrage de Sidi Yacoub et du barrage d'Oued Fodda et 03 en études. Les données sont détaillées dans le tableau suivant :

**Tableau (3-1) : Les barrages de la wilaya de Chlef**

| Code ouvrage | Nom de barrage | AMS  | Capacité (Hm <sup>3</sup> /an) | Volume Régularisé (hm <sup>3</sup> ) | Destination | Etat                             |
|--------------|----------------|------|--------------------------------|--------------------------------------|-------------|----------------------------------|
| BG0109       | Sidi Yacoub    | 1986 | 280                            | 98                                   | AEP/IRR     | En exploitation                  |
| BG0101       | Oued Fodda     | 1932 | 228                            | 69                                   | IRR         | En exploitation                  |
| BG0120       | Lag            | 2020 | 67                             | 29                                   | AEP/IRR     | Etude APD Achevée                |
| BG0128       | Oued Rass      | 2030 | 23                             | 7                                    | IRR         | Lancer pour étude de Faisabilité |
| BG0123       | Tarzout        | 2030 | 12                             | 3                                    | AEP/IRR     | Etude APD Achevée                |
| Total        |                |      | <b>610</b>                     | <b>206</b>                           | /           | /                                |

Source DRE 2017

**b) Petit barrage et retenues collinaires**

La wilaya de Chlef compte 66 retenues et petit barrage destinée à l'irrigation dont huit (08) en exploitation, deux (02) petitsbarrages (Zaitou et Oued Ensour) avec une capacité totale de 1.90Hm<sup>3</sup> et six (06) retenues collinaires avec une capacité totale de 1.58 Hm<sup>3</sup>.

**Tableau (3-2)**Les retenues collinaires et petit barrages de la wilaya de Chlef:

| Etat            | Petit barrage |                             | Retenue collinaire |                             |
|-----------------|---------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|
|                 | Nombre        | capacité (Hm <sup>3</sup> ) | Nombre             | capacité (Hm <sup>3</sup> ) |
| En exploitation | 2             | 1,90                        | 6                  | 1,58                        |
| En realization  |               |                             | 1                  | 1,05                        |
| En étude        |               |                             | 44                 | 6,04                        |
| A l'arrêt       |               |                             | 13                 | 1,27                        |
| Total           | <b>2</b>      | <b>1,90</b>                 | <b>64</b>          | <b>9,93</b>                 |

Source ABHCZ

Une (01) retenue collinaire (Mantrache-commune de Beni Haoua)en réalisation avec une capacité totale de 1.05 Hm<sup>3</sup> et 44 retenues pour études avec une capacité totale de 6.04 Hm<sup>3</sup> et treize (13) retenues mise à l'arrêt. Le détail est présenté dans le tableau ci-dessus.

**c)Les prises, dérivations et prélèvements au fil de l'eau**

Les Volumes prélevés actuellement au fil de l'eau dans le bassin de Cheliff (Haut, Moyen et Bas), résultent des informations collectées auprès de la direction de services agricoles (DSA) et de l'office périmètres irrigués (OPIC).Le volume prélevé au fil de l'eau à travers à la zone d'étude est de 1105,76 Hm<sup>3</sup>/an. Douze (12) d'entre elles sont des prises au fil de l'eau à partir des lâchés s'élèvent à 1105,76Hm<sup>3</sup>/an.

| Wilaya | Commune    | Oued       | Nom de l'ouvrage  | Destination             | Capacité (Hm <sup>3</sup> /an) |
|--------|------------|------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Chlef  | Boukadir   | Chelif     | Prise de boukadir | Périmètre Bas Cheliff   | 11.98                          |
|        | Ouledabes  | Chelif     | Seuil de Ponteba  | Périmètre Moyen Cheliff | 198.21                         |
|        | Oued sly   | Oued sly   | Boulefred         | Périmètre Moyen Cheliff | 299.59                         |
|        | El karimia | Oued fedda | Portes de fer     | Périmètre Moyen Cheliff | 94.60                          |

**Tableau (3-3) : Prises et dérivations dans la région du Cheliff**Source ONID et DRE

### 3.3.1.2 Ressources en eau souterraine

L'eau souterraine est l'un des principaux éléments de l'eau de rivière permanente dans le monde, où le débit de base des rivières dépend des eaux souterraines. L'utilisation de l'eau souterraine augmente en augmentant le forage des puits, afin d'augmenter le besoin d'eau potable pour la population et d'eau d'irrigation pour l'agriculture dans de vastes régions du monde.

Les ressources en eau souterraine de la wilaya de Chlef sont situées dans les strates composées principalement d'alluvions quaternaires sables astiens du Pliocene et (calcaires à lithothamnium) qui sont des roches sédimentaires pouvant être conservées En grande quantité d'eau, appelée la couche contenant de l'eau L'aquifère, où le volume d'eau souterraine utilisé est d'environ 62 Hm<sup>3</sup> / an, selon la Direction des ressources en eau de la

wilaya de Chlef pour l'année 2014. L'eau mobilisé dans la wilaya de Chlef atteignait 25,08 Hm<sup>3</sup> selon la Direction des ressources en eaux de la wilaya de Chlef, où on était mobilisée et exploitée dans la plaine du moyen Chélif à partir de puits; et puits profonds et de sources .

**a) Les forages**

Actuellement dans la wilaya de Chlef il y a un nombre de 106 forages, parmi ses forages 48 sont en arrêt volontaire. Les restes sont en exploitation.

**b) Les puits**

Ce sont des puits profonds sont la principale ressource traditionnelle pour l'accès à l'eau souterraine dans les régions arides et semi arides du monde. Les puits profonds sont forés par des entreprises spécialisées, chaque puits profond atteignant quelques centaines de mètres et une profondeur de pas plus de 1000 mètres.

Selon l'Agence Nationale des Ressources en Eau et la Direction de l'Irrigation et de l'Agriculture de la wilaya de Chlef, 139 puits profonds d'une capacité de 1415344.4 m<sup>3</sup> ont été distribués aux différentes municipalités de la plaine.

La quantité de puits profonds utilisée varie entre 3 et 30 l/s et est excavée à une profondeur de 90-214 m du sol, selon les sites aquifères souterrains situés dans la zone d'étude.

**c) Sources**

L'Agence Nationale des Ressources en Eau et la Direction de l'Irrigation de la wilaya de Chlef ont dénombré 13 sources répartis sur les différentes communes de la plaine d'une capacité de 49365 m<sup>3</sup>, tous exploités pour l'eau potable humaine et animale et l'irrigation des petites surfaces agricoles de la plaine. Les eaux souterraines de la plaine du moyen Chélif ont trois objectifs: fournir de l'eau potable aux habitants de la zone d'étude, irriguer les alentours et abreuver les animaux, le reste étant destiné à l'industrie.

**3.3.2 Les ressources en eau non conventionnelles**

Pour sécuriser de façon définitive l'alimentation des populations en eau potable, tout en protégeant les ressources en eau et les milieux naturels contre les effets de la pollution, les pouvoirs publics ont décidé de s'orienter vers une politique de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, constituées par les eaux de dessalement (ou de déminéralisation) et par les eaux usées épurées. La RHCZ a bénéficié d'importants projets en ce domaine. Au cours des dernières années, l'Algérie a réalisé de grands investissements pour développer de nouvelles ressources en eau, appelées ressources non conventionnelles à savoir le dessalement d'eau de mer et la réutilisation d'eaux usées épurées.

### **3.2.2.1 Les eaux de dessalement**

La wilaya de Chlef disposait d'une station de dessalement monobloc d'une capacité de 5 000 m<sup>3</sup>/jour à Mainiés, transférée en 2014 à Beni Haoua, également dans la wilaya de Chlef. La même année, une nouvelle station de dessalement de grande envergure a été mise en service à Mainiés, avec une capacité de 200 000 m<sup>3</sup>/jour.

### **3.2.2.2 Eau usée épurées**

Actuellement, la wilaya de Chlef dispose d'une station d'épuration des eaux usées (STEP de Chlef), mise en service en 2006, avec une capacité globale de 250 000 équivalents habitants et un volume d'eau épuré de 1,98 hectomètre cube par an. Une autre station d'épuration est en cours de réalisation à Ténès, avec une capacité de 62 000 eqh et un volume d'eau épuré de 2,71 hm<sup>3</sup>/ans.

## **3.4 Caractéristiques de la région d'étude**

### **3.4.1 Caractéristiques physiques du bassin versant oued larjem**

#### **3.4.1.1 Situation géographique**

Le bassin versant de l'oued Sly est situé dans le massif de l'ouarsenis qui appartient à l'Atlas Telléen. Il constitue un important chaînon montagneux comparais entre la pleine du Cheliff ; au nord et la parallèle de Tiaret au sud. Il présente des ensembles naturels très variés. Le bassin versant de l'oued Sly est situé dans le bassin versant du Cheliff (Figure 3.4). C'est un sous bassin de moyen Cheliff, son point culminant est à 1661m. Par contre le plus bas est à 160m d'altitude.

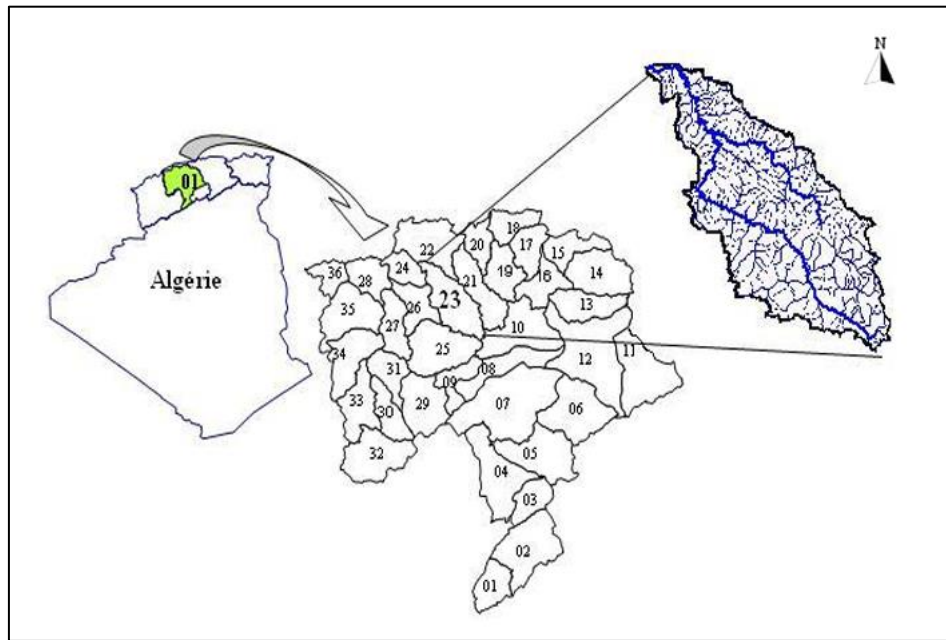


**Figure (3-4) :** Localisation du bassin versant de l'Oued Sly.

La zone de notre étude est limitée au Nord par l'oued Cheliff, au Sud par le bassin versant de Teguiguest et Nahr Ouassel , à l'Est par le bassin versant de Oued Fodda et à l'Ouest par le bassin versant de Oued – Rhiou.

Oued Sly est parmi les plus grand affluent de Cheliff, il est alimenté à son tour par une série d'affluent dont les plus important sont : Oued El Ardjem ; Oued Melah; Oued Lagh et Oued Djouza, (Khelifi., 1998).

### **3.4.1.2 L'étude géologique de la région**

L'étude géologique nous permet de déterminer la structure du sol du bassin versant de l'oued Sly de savoir son degré d'érodabilité et de classer ce sol selon sa plus ou moins grande perméabilité.

- **La géologie**

L'étude géologique, que nous présentons ici est la synthèse des travaux effectués par **Gentil, 1918 ; Caire et Mattauer, 1953 ; Caire, 1957 ; Perrodon, 1957; Polvêche, 1960 ; Scet-Agri (1), 1985 ; Tecult, 2005** et bien d'autres, ainsi que les données des forages profonds, qui vont nous permettre de préciser la nature lithologique des différentes formations et leurs successions stratigraphiques. Le fait que notre région d'étude, celle de oued Sly se situe au Nord-Ouest de l'Algérie où la structure lithologique est comme suite. C'est un bassin assez grand de structure géologique très compliquée, l'ensemble des caractéristiques géologiques rencontrées dans le bassin étudié est :

### Chapitre 3: Présentation de la zone étude

- Les terrains néogènes et quaternaires.
- Les substratums essentiellement secondaires sur les bordures du bassin (les monts de dahra au Nord)
- Les terrains allochtones mis en place lors des différentes phases tectoniques alpines.
- Pour les terrains néogène on distingue le cycle miocène aux bordures Nord du bassin affleurant surtout le flanc Sud des monts de Dahra.
- Les principaux affleurements du miocène sont :
  - Les marnes bleues avec une phase détritique.
  - Les tripolis et marnes à tripolis.
  - Les gypses et les marnes gypseuses.

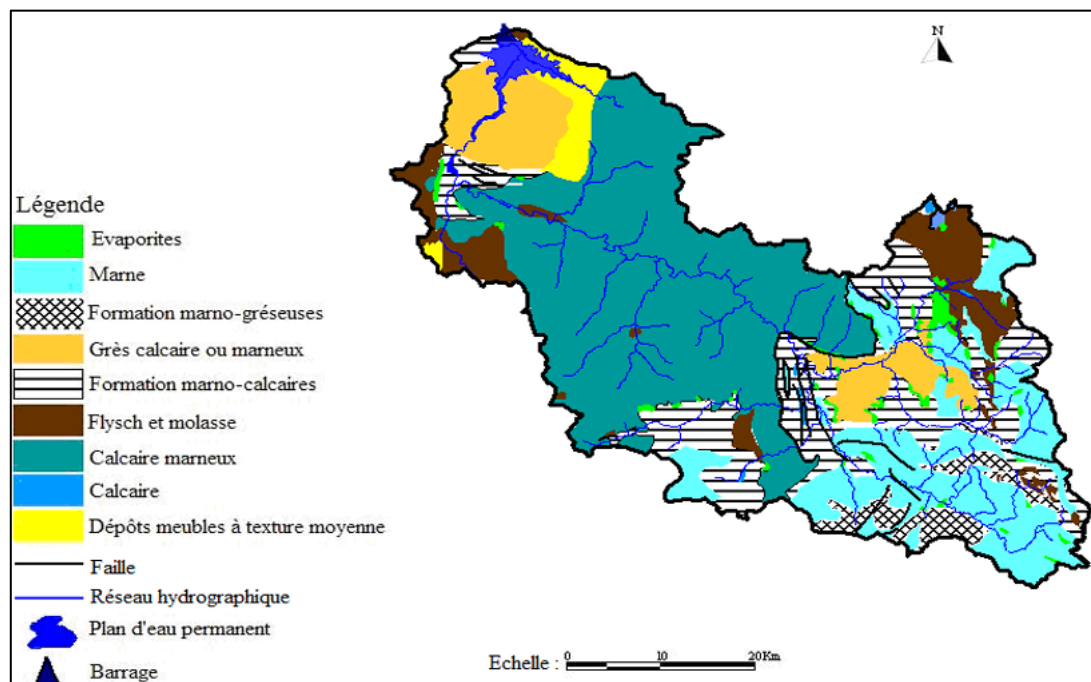


**Figure (3-5) :** Carte géologique du bassin versant de Sidi Yacoub.

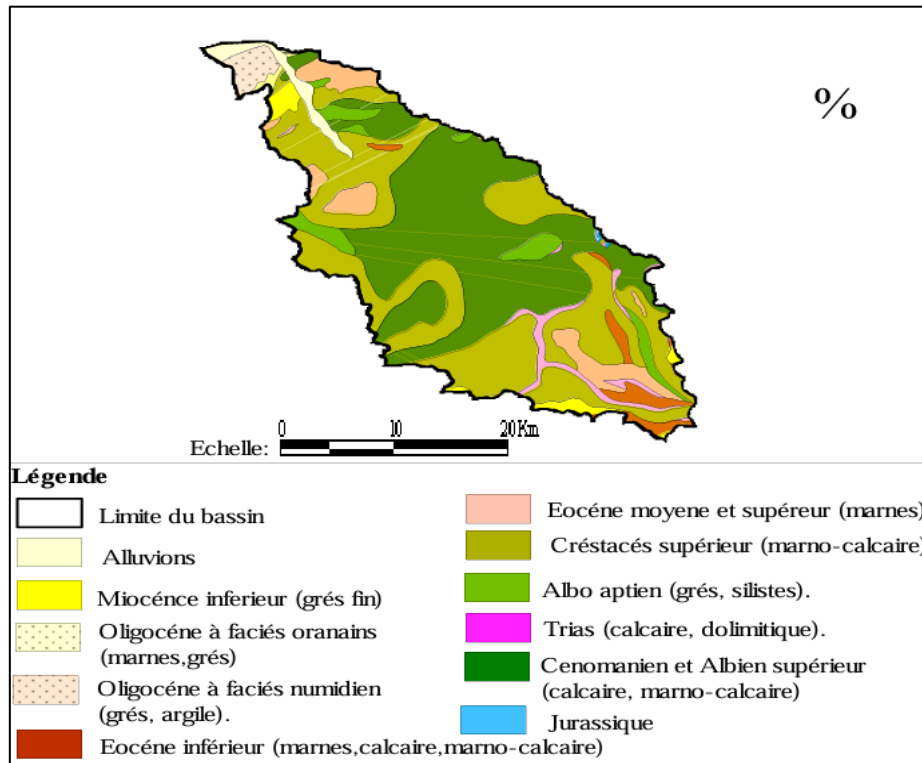


Figure (3-6) Carte géologique du bassin versant de l'oued Sly (ABH-CZ, 2013).

### 3.4.1.3 Le Relief

L'importance de son étude est de caractériser la répartition altimétrique de la courbe hypsométrique résidant au niveau du régime d'écoulement des eaux, car le relief peut modifier la répartition entre l'infiltration et le ruissellement (Figure 3.6). Le relief a une forte influence sur l'hydrogramme, une forte pente provoque un écoulement plus rapide, donc un temps de concentration plus court d'où une montée plus rapide de crue.

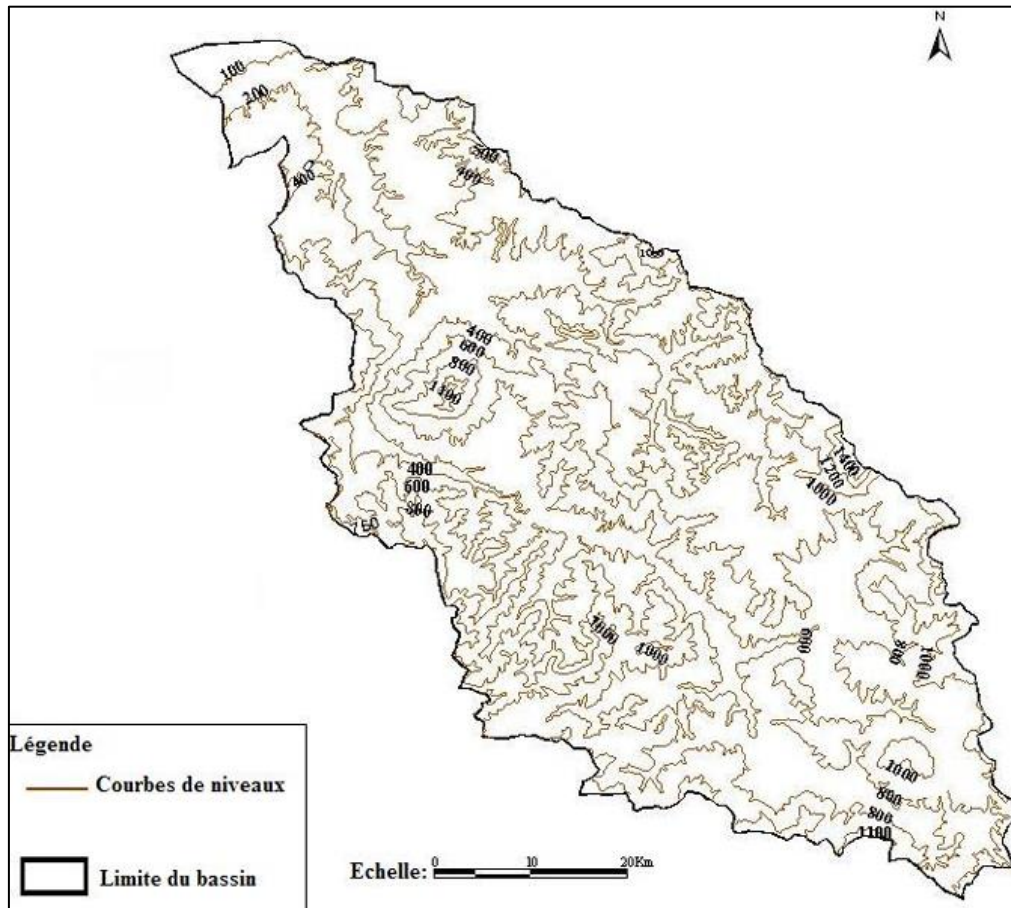


**Figure (3-7) :** Carte topographique du bassin versant de l'Oued Sly (ABH-CZ, 2013).

#### **3.4.1.4Le réseau hydrographique**

Le réseau hydrographique est caractérisé par les paramètres suivants : La longueur du thalweg principale  $L_{th}$  ; Rapport de confluence  $R_c$  ; Rapport de longueur  $R_L$  ; Densité de drainage  $D_d$  ; Coefficient de torrentialité  $C_t$  ; Temps de concentrations  $T$  (Figure 3.7).

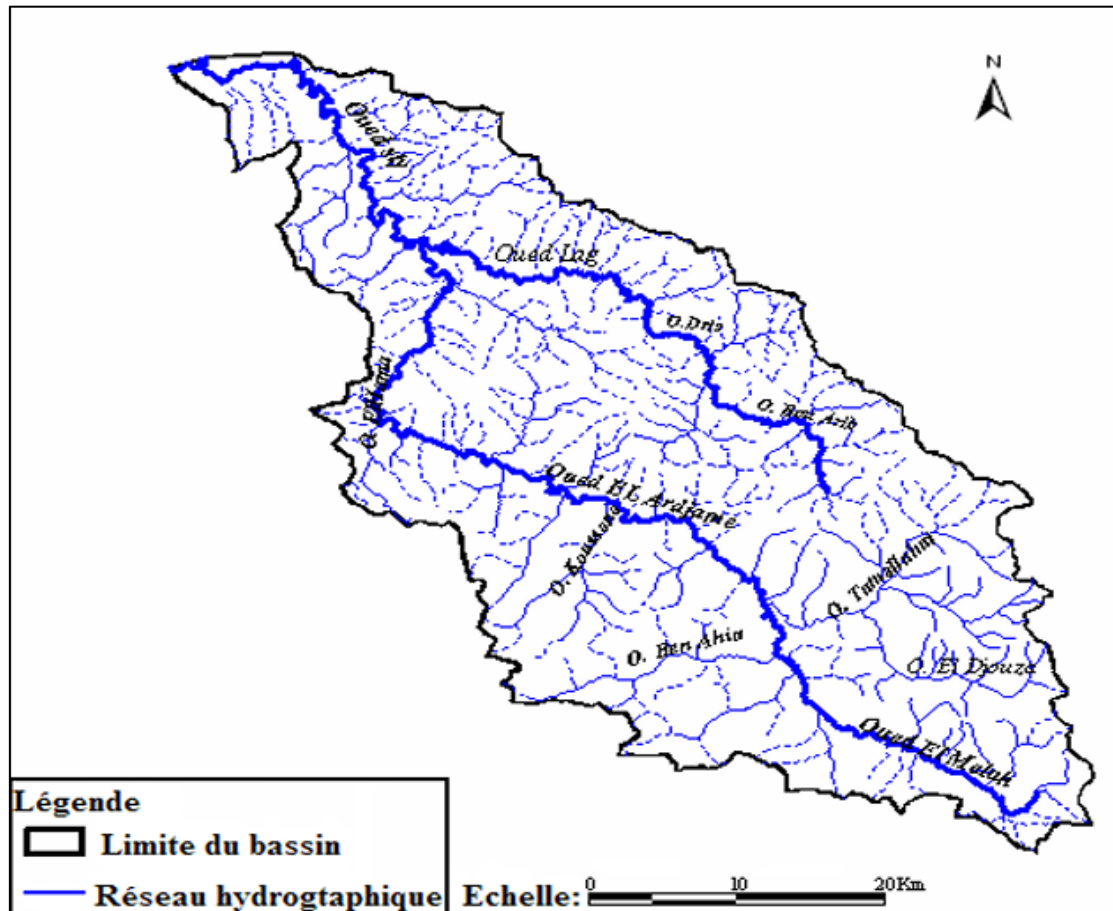


Figure (3-8) : Carte de réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Sly (ABH CZ, 2013).

#### 3.4.1.5 Le Couvert Végétal

Les forêts sont disposées dans la partie montagneuse et occupent la moitié de la surface, mais dans la partie basse, les forêts occupent 4/5 de la surface, les terrains dénudés sont peu mais sont reliés aux terres labourées à cause de l'avancement de la nappe. Les caractéristiques morphologique et hydrographique du bassin versant de l'Oued Sly sont résumées dans le tableau (4).

**Tableau (3-4) :** Caractéristiques morphologique et hydrographique du bassin versant de l'Oued Sly.

| Caractéristiques | Type de paramètres               | Unité             | Symboles         | Valeurs |
|------------------|----------------------------------|-------------------|------------------|---------|
|                  | Superficie du bassin versant     | Km <sup>2</sup>   | A                | 1400    |
| Morphologie du   | Périmètre du bassin versant      | Km                | P                | 221.6   |
| bassin versant   | Indice de compacité Gravillius   | /                 | KC               | 1.66    |
|                  | Longueur de rectangle équivalent | Km                | L                | 84.67   |
|                  | Largeur du rectangle équivalent  | Km                | I                | 26.13   |
|                  | Altitude maximale                | M                 | H <sub>max</sub> | 1661    |
|                  | Altitude minimale                | M                 | H <sub>min</sub> | 160     |
| Relief           | Altitude moyenne                 | M                 | H <sub>moy</sub> | 717     |
|                  | Indice de pente de roche         | %                 | IP               | 0.48    |
|                  | Indice de pente globale          | m/Km              | IG               | 9.81    |
|                  | Pente moyenne                    | m/Km              | I <sub>moy</sub> | 14.17   |
|                  | Longueur DU Thalwegs principal   | Km                | L                | 564     |
|                  | Densité de drainage              | m/Km <sup>2</sup> | Dd               | 351.49  |
| Réseau           | Coefficient de torrentialité     | /                 | CT               | 0.58    |
| Hydrographique   | Temps de concentration           | H                 | TC               | 14      |
|                  | Coefficient de sinuosité         | /                 | KS               | 0.79    |
|                  | Rapport de confluence            | /                 | RC               | 2.08    |
|                  | Rapport de longueur              | /                 | RL               | 1.08    |

(Source : HENNIA, 2013)

### 3.5 Etude climatique du bassin versant de l’oued sly

Le bassin versant de Oued Sly est l’un des sous bassin du grand bassin versant du moyen-Cheliff qui se subie a un climat semi-aride, froid en hiver et chaud en été avec une pluviométrie moyenne annuelle faible, de se faite l’étude de ces composantes (pluviométrie, Température, humidité relative, vitesse du vent... etc.) est une nécessité.

#### 3.5.1 Pluviométrie

Le bassin versant de l’Oued Sly est équipé par 08 postes pluviométriques, un poste géré par l’ONM et les 07 autres sont jugés par l’ANRH (Tableau 5). Pour l’étude climatique celle des précipitations, nous allons utiliser que les données de poste géré par l’O.N.M.

**Tableau (3-5) :** Les stations pluviométriques retenues et leurs caractéristiques.

| Station              | Code Pluvio | Code wilaya | X (km) | Y(km)   | Z(m) | Période d’observation |
|----------------------|-------------|-------------|--------|---------|------|-----------------------|
| Sidi yakoub (ONM)    |             | 02          | 371.69 | 303.89  | 272  | 1999-2010             |
| Souk el haad         | 012304      | 38          | 395.85 | 272.7   | 550  | 1970-2009             |
| Bordj bounaam        | 012306      | 38          | 402.6  | 284.1   | 900  | 1970-2009             |
| Ain loulou           | 012307      | 38          | 397.4  | 293.6   | 240  | 1970-2009             |
| Ouled ben abdelkader | 012308      | 02          | 373.4  | 302.85  | 95   | 1970-2009             |
| Oued sly             | 012309      | 02          | 365.2  | 312.7   | 882  | 1970-2009             |
| Saadia               | 012316      | 48          | 377.2  | 289 .65 | 1000 | 1970-2009             |
| Sidi yakoub BGE      | 012318      | 02          | 375    | 298.3   | 272  | 1970-2009             |

(Source : ABH-CZ)

#### 3.5.2 Variation mensuelle

Les précipitations mensuelles enregistrées à Sidi Yacoub sont très variables d’un mois à un autre (Figure3-8 ). La distribution des hauteurs moyennes mensuelles suit un climat de type méditerrané: précipitations d’automne et d’hiver suivies d’une sécheresse d’été. La

moyenne mensuelle calculée au cours de la période d'observation 2000-2013 à Sidi Yacoub est de 23,86 mm/mois. A côté de quelques pluies exceptionnelles, les périodes sèches sont malheureusement assez fréquentes (Tableau 6).

D'une façon générale, les mois diffèrent les uns des autres en ce qui concerne la façon dont les pluies se répartissent.

**Tableau (3-6) :** Précipitations moyennes mensuelles et leur contribution à la pluie moyenne annuelle (1999-2010).

| Mois            | S     | O     | N     | D     | J     | F     | M     | A     | M     | J    | J    | A    |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| P(mm)           | 23.25 | 23.38 | 41.58 | 45.26 | 30.38 | 34.8  | 24.72 | 27.92 | 18.63 | 2.47 | 8.37 | 5.58 |
| Contribution(%) | 8.12  | 8.17  | 14.52 | 15.81 | 10.61 | 12.15 | 8.63  | 9.75  | 6.51  | 0.86 | 2.92 | 1.95 |

(Source: ONM-Chlef 2013)

Les histogrammes de la figure (3.8), représentent la variation des précipitations moyennes mensuelles de la station de Sidi yacoub relative à la période2000/2013.

L'observation de ces histogrammes montre que les mois les plus pluvieux de l'année sont les mois de Novembre – Décembre et les mois les plus secs sont ceux de Juin – Août.

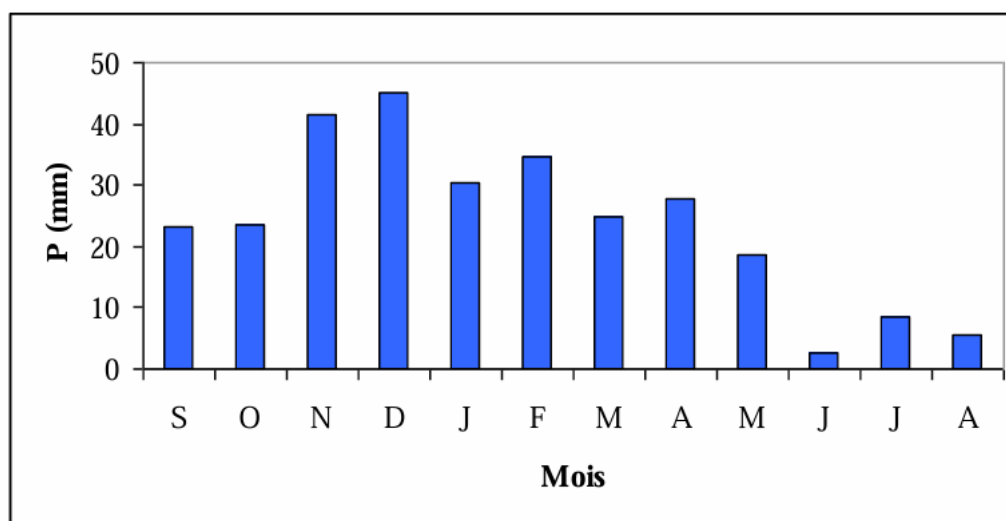


**Figure (3-9) :** Précipitations moyennes mensuelles à la station Sidi Yacoub (2000-2013).

### 3.5.3 Variation saisonnière

L'étude de la variation saisonnière de la pluviosité montre que malgré la grande variabilité des précipitations, on remarque que l'hivers est la saison pendant laquelle sont enregistrée les plus grandes quantités de pluie avec un pourcentage de 38,57% et l'été est la saison la moins

pluvieuse, période pendant laquelle le pourcentage de pluies atteint 5,73%. Quant aux saisons de l'automne et le printemps, la variabilité est plus grande (figure 3.9)

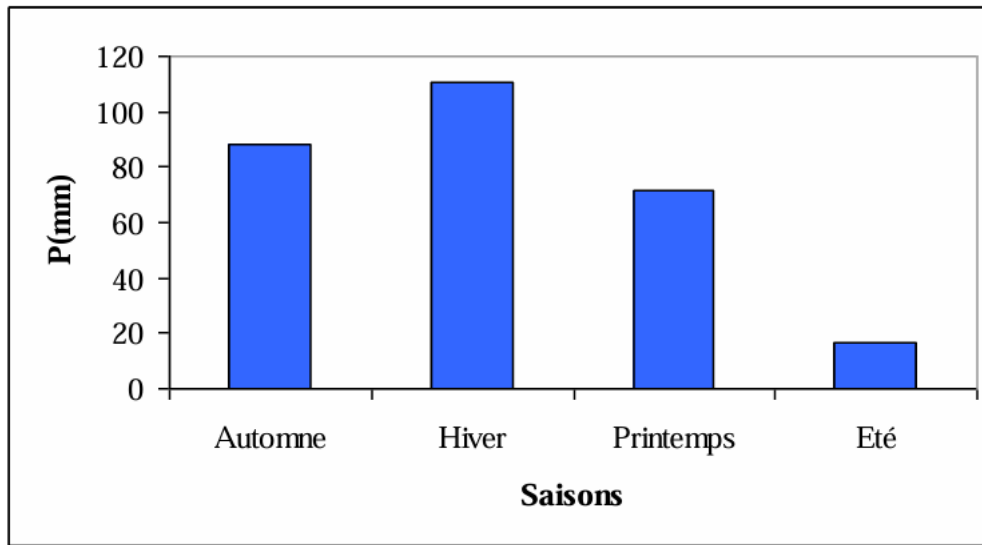


**Figure (3-10) :** Précipitations moyennes saisonnières de la station Sidi Yacoub (2000-2013).

### 3.5.4 Variation annuelle

Une très grande irrégularité et variabilité inter-annuelle caractérisent les précipitations. Les valeurs moyennes annuelles de pluviosité révèlent un module calculé sur une période de 12 ans de l'ordre de 266,34 mm à la station Sidi Yacoub. L'examen des précipitations annuelles (Figure 3.10) montre que l'année la plus humide sur les 12 années est l'année 2009 avec une pluviométrie de 408,8 mm correspondant à un excès pluviométrique. Et l'année 2002 est la plus sèche avec 129 mm.

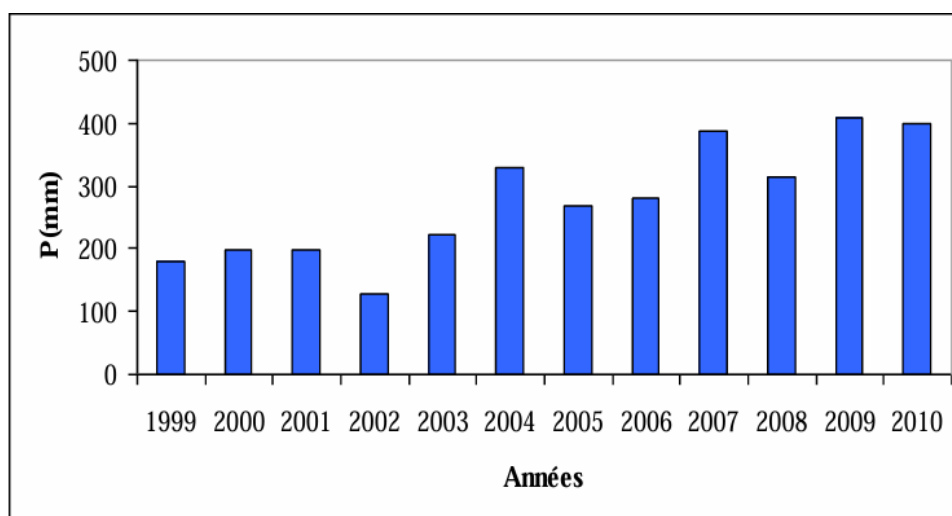


**Figure (3-11) :** Précipitations annuelles de la station Sidi Yacoub (1999-2010)

### 3.5.5 Température

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique. Le tableau ci-dessous présente les températures minimales, maximales et moyennes mensuelles enregistrées à la station de Sidi Yacoub sur la période (2000-2013).

**Tableau (3-7) :** Températures mensuelles de la station de Sidi Yacoub (2000-2013).

| Mois       | S    | O    | N     | D     | J     | F    | M    | A     | M    | J    | J    | A    |
|------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|
| T°C<br>Min | 18.5 | 14.5 | 9.48  | 7.2   | 3.9   | 4.5  | 8.7  | 10.01 | 13   | 18.8 | 21.9 | 21.8 |
| T°C<br>Max | 34.1 | 30.4 | 26.4  | 19.5  | 16.8  | 19.5 | 23.7 | 26.1  | 31.8 | 37.8 | 40.7 | 39.6 |
| T°C<br>Moy | 26.3 | 22.5 | 17.94 | 13.35 | 10.35 | 12   | 16.2 | 18.06 | 22.4 | 28.3 | 31.3 | 30.7 |

(Source : ONM-Chlef)

Le tableau ci-dessus, montre que la température moyenne minimale s'observe au mois de Janvier, elle est de 3,9°C tandis que la température moyenne maximale qui s'observe au mois de Juillet est de 40,7°C. Quant à la température moyenne annuelle, elle est de 20,78°C pour la période (2000-2013).

La saison chaude s'étend de Mai à Octobre, mois pendant lesquels la température mensuelle est supérieure à la moyenne annuelle, alors que la saison froide correspond à la période allant de Novembre à Avril.

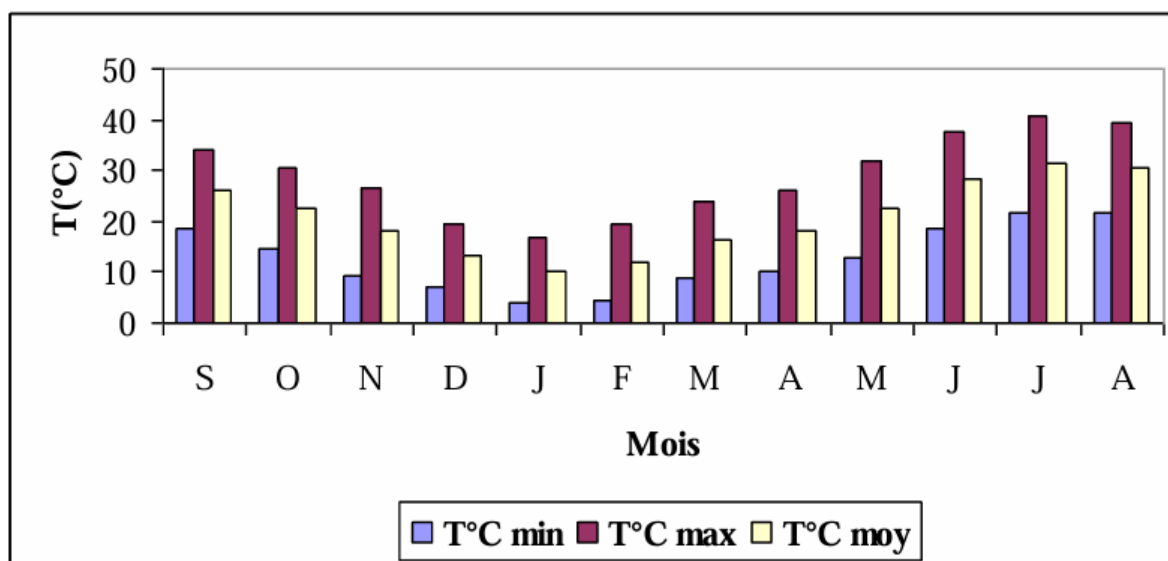


**Figure (3-12) :** Températures mensuelles de la station de Sidi Yacoub (2000-2013).

### 3.5.6 Humidité relative

L'humidité relative est le rapport de la tension de vapeur à la tension maximum correspondant à la température mesurée au thermomètre sec, exprimée en %. A la station de Sidi Yacoub (2000-2013), les moyennes mensuelles varient de 66,43% en hiver au mois de Décembre à 38,41% en été au mois d'Août. La moyenne annuelle étant de 53,87% (Tableau 8).

**Tableau (3-8) :** Humidité relative moyenne mensuelle à la station de Sidi Yacoub (2000-2013).

| Mois     | S     | O     | N     | D     | J     | F     | M     | A     | J     | J     | A     |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Humidité | 51.13 | 53.31 | 62.59 | 66.43 | 65.72 | 62.85 | 59.13 | 53.22 | 51.60 | 40.32 | 38.38 |

Source : ONM-Chlef, 2013)

### 3.5.7 Le Vent

Il représente l'un des facteurs les plus déterminants du régime pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. Sur la région d'étude dominant des vents dont la force est assez constante, au cours de l'année et oscillent entre 2,56 et 3,23 m/s (tableau 9).

**Tableau (3-9) :** vitesse moyenne mensuelle du vent à la station de Sidi Yacoub (2000-2013).

| Mois       | S    | O    | N    | D    | J    | F    | M    | A    | M    | J    | J    | A    |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Vent(m /s) | 2.88 | 2.56 | 2.58 | 2.69 | 2.58 | 2.73 | 2.85 | 3.01 | 3.22 | 3.32 | 2.92 | 2.88 |

(Source : ONM-Chlef , 2013)

### 3.5.8 Evaporation

L'évaporation peut être définie comme étant l'ensemble des phénomènes physiques qui transforment l'eau à l'état liquide ou solide des surfaces libres en vapeur. Le taux d'évaporation en un lieu donné dépend de plusieurs facteurs à savoir la température de l'air, la force du vent, l'insolation et la saturation du sous-sol. L'évaporation est élevée et varie entre 295.19 mm au mois de Juillet et 49,25 mm au mois de Janvier. (Tableau 10).

**Tableau (3-10) :** Évaporations moyennes mensuelles dans la station de Sidi Yacoub (2000-2013).

| Mois    | S      | O      | N     | D     | J     | F     | M     | A      | M      | J      | J      | A      |
|---------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| EV (mm) | 186.63 | 223.36 | 80.12 | 56.47 | 49.25 | 60.21 | 89.38 | 106.44 | 172.33 | 249.68 | 295.19 | 264.62 |

(Source : ONM-Chlef, 2013)

## 3.6 Conclusion

La wilaya de Chlef, située dans le nord-ouest de l'Algérie, se caractérise par sa diversité géographique et économique. Son climat méditerranéen favorise une agriculture prospère, surtout dans la plaine fertile de la Mitidja. Riche en ressources hydriques, Chlef dépend de ses cours d'eau et barrages pour l'irrigation et l'eau potable. L'économie locale est dominée par l'agriculture, avec un secteur industriel en expansion. Bien que la population soit principalement urbaine et jeune, certaines zones rurales restent sous-équipées. Environnementalement, Chlef doit gérer les risques d'inondations et de séismes. La wilaya est également connue pour son patrimoine naturel et historique, attirant les touristes.

Le bassin versant de Sidi Yacoub se distingue par une grande diversité biophysique et socioéconomique, couvrant une superficie d'environ 1000 km<sup>2</sup>. On y trouve une variété de couverts végétaux, allant de forêts denses à de vastes prairies anthropiques, ainsi que des

### Chapitre 3: Présentation de la zone étude

reliefs variés, des zones montagneuses et escarpées aux vallées étroites, en passant par des hauts plateaux. Cependant, la région est confrontée à des problèmes d'envasement significatifs. En plus de la perte de la couche arable, la qualité des eaux de surface se dégrade considérablement en aval, ce qui pose de sérieux défis pour les infrastructures de traitement de l'eau.

## *Chapitre 4:*

---

### *APPLICATION DU MODÈLE WEAP POUR LE CAS DU BARRAGE SIDI-YACOUB*

---

## 4.1 Caractéristiques de la région d'étude

### 4.1.1 Caractéristiques physiques du bassin versant Oued Larjem

Le bassin versant de l'oued El Ardjem est caractérisé par une superficie de 918 km<sup>2</sup> et un périmètre de 156 km, à une pente moyenne de 21.62 m/km sur une longueur de 62,72 km. Son relief est fort selon la classification ORSTOM, l'altitude maximale, minimale et moyenne étant respectivement de l'ordre de 1270 m, de 190 et de 682,307 m avec une dénivelée spécifique de 323.648 m. L'indice de compacité  $k_c=1.44$  montre que le bassin est de forme allongée. L'oued principal draine un ensemble de régions hétérogènes, aux chaînes montagneuses de l'Ouarsenis, ces régions sont les plus dégradées, les plus difficiles à restaurer, sa destruction est profonde et dont le relief est fortement accidenté (Sari, 1977). 35% de la superficie du bassin est comprise entre 800m et 1200 m ; ou l'oued El Ardjem et ses affluents sont torrentiels à l'amont, vu la part importante des précipitations d'hiver reçue par cette chaîne montagneuse, à la sortie de cette dernière, l'oued pénètre dans la plaine de Chélif en perdant sa torrentialité. Le bassin est caractérisé par une pluviométrie faible (359mm en moyenne) et une structure géologique complexe dans la partie sud-ouest du bassin et une forte précipitation (605mm en moyenne) et une structure géologique simple dans la zone centrale du bassin et enfin par une faible pluviométrie et une structure géologique simple dans la partie Nord-est.

### 4.1.2 Caractéristiques physiques du barrage Sidi-Yacoub

Le barrage de Sidi Yacoub, mis en service en 1986, joue un rôle crucial dans la gestion des ressources hydriques de la région. Il couvre une superficie de bassin versant de 923 km<sup>2</sup>. L'apport moyen interannuel du bassin versant est estimé à 113 Hm<sup>3</sup> selon le Plan National de l'Eau (PNE), bien que l'Agence de Bassin Hydraulique (ABH) l'évalue à 32 Hm<sup>3</sup>, ce qui souligne une différence notable dans les estimations.

La capacité initiale du barrage était de 280 Hm<sup>3</sup>, avec une légère diminution à 278,90 Hm<sup>3</sup> en 2002, probablement due à l'envasement progressif. Le volume régularisé du barrage est de 98 Hm<sup>3</sup>/an, tandis que l'apport réel moyen pour la période 1986-2003 a été de 44,59 Hm<sup>3</sup>/an. Le taux d'envasement observé est de 0,39 %, ce qui affecte légèrement la capacité de stockage.

Le barrage a pour principales destinations l'alimentation en eau potable (AEP) ainsi que l'irrigation. En 2021, les volumes d'eau enregistrés durant les premiers trimestres étaient en moyenne de 113 Hm<sup>3</sup>, mais ont connu une diminution progressive pour atteindre environ 91 Hm<sup>3</sup> au mois de décembre, reflétant une baisse saisonnière des précipitations ou une augmentation de la consommation. Ces variations ont un impact direct sur la gestion de l'eau et sur les usages agricoles et domestiques de la région.

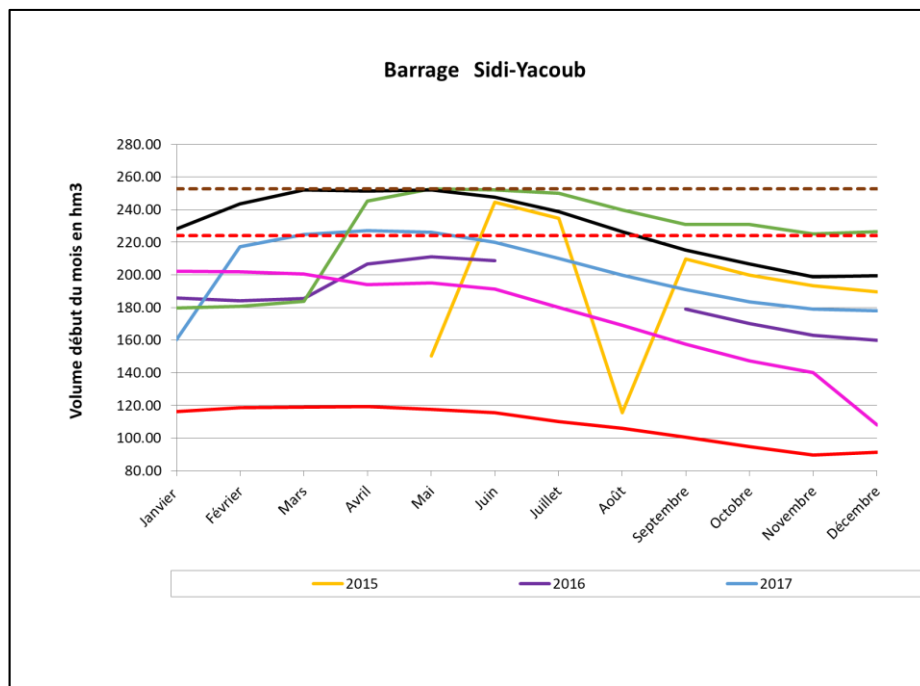


**Figure (4-1) :** Evolution des volumes du barrage de Sidi-Yacoub de 2015 à 2017.

**Pour appliquer le logiciel WEAP sur le barrage , quatre zone de sa reserve devrait etre distingues :**

#### **Le stockage total :**

Cela représente la capacité totale de stockage de l'eau dans le réservoir ou le barrage

#### **Sommet de conservation :**

C'est le niveau maximal auquel l'eau peut être stockée de manière sécuritaire pour les usagers tels que l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation

#### **Sommet t tampon :**

C'est le niveau au-dessus duquel l'eau commence à entrer dans la zone sert de marche de sécurité pour éviter que le réservoir ne déborde

#### **Sommet inactif :**

Cette zone contient de l'eau qui n'est pas utilisé ou qui est difficile à utiliser en raison de sa position basse

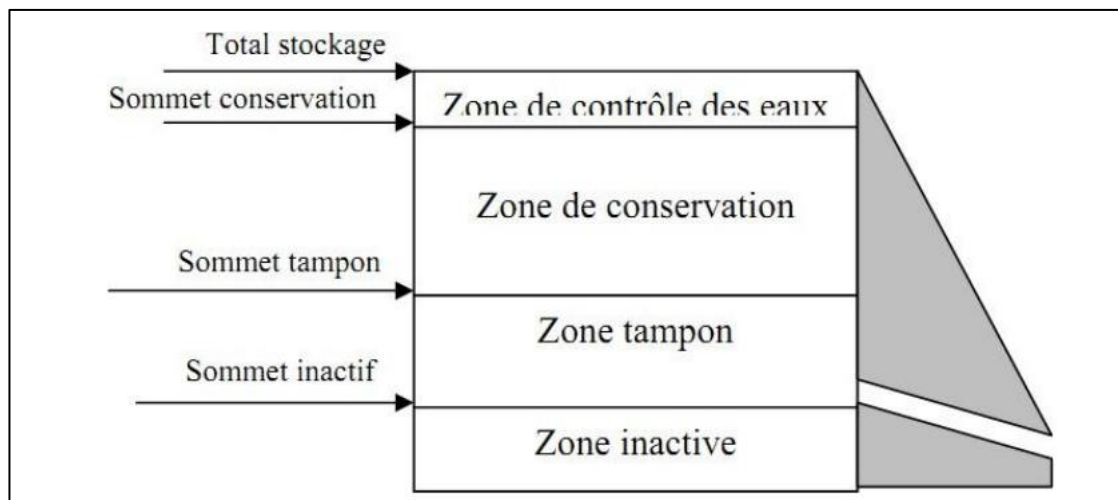


Figure (4-2) : Différente zones de la retenue définie par le modèle WEAP

## 4.2 Modélisation sur WEAP

Dans le cadre de la **modélisation sur WEAP (Water Evaluation and Planning System)**, l'importation des couches géographiques suivantes est une étape cruciale pour créer un modèle hydrologique précis et détaillé :

1. **Couche Bassin Versant de OuedLardjem** : Cette couche permet de définir la zone de drainage qui alimente le **Oued Lardjem** en eau. En l'intégrant dans WEAP, il est possible de modéliser les flux d'eau, d'évaluer les impacts des précipitations et de la topographie sur l'écoulement, et de planifier l'utilisation des ressources en fonction des besoins en eau pour l'agriculture et d'autres activités économiques.
2. **Couche Limite de la Wilaya de Chlef** : Cette couche administrative est importante pour délimiter les zones géographiques sous la juridiction de la **wilaya de Chlef**. En l'important dans WEAP, cela permet d'assurer que la planification de l'utilisation de l'eau reste conforme aux limites administratives et aux politiques locales, tout en facilitant la coordination interrégionale pour les projets de gestion des ressources en eau.
3. **Couche Hydrographie du Bassin Versant de OuedLardjem** : Cette couche inclut l'ensemble du réseau hydrographique de la région, y compris les cours d'eau principaux et secondaires.
4. **Couche Oued Cheliff et ses Affluents** : Le **Oued Cheliff** étant un cours d'eau majeur, cette couche permet de cartographier et de modéliser non seulement le **Oued Cheliff**, mais également ses affluents qui contribuent à son débit. En intégrant cette couche dans WEAP, il devient possible de simuler les interactions entre les différentes sources d'eau et d'identifier les zones où des barrages,

des projets d'irrigation ou des interventions d'adaptation au changement climatique pourraient être nécessaires.

L'importation de ces couches dans WEAP fournit une base géographique essentielle pour développer des scénarios de gestion de l'eau, évaluer les impacts de la demande croissante, des événements climatiques extrêmes, et planifier des solutions durables pour la gestion des ressources en eau dans la région.

### 4.2.1 Importation des couches

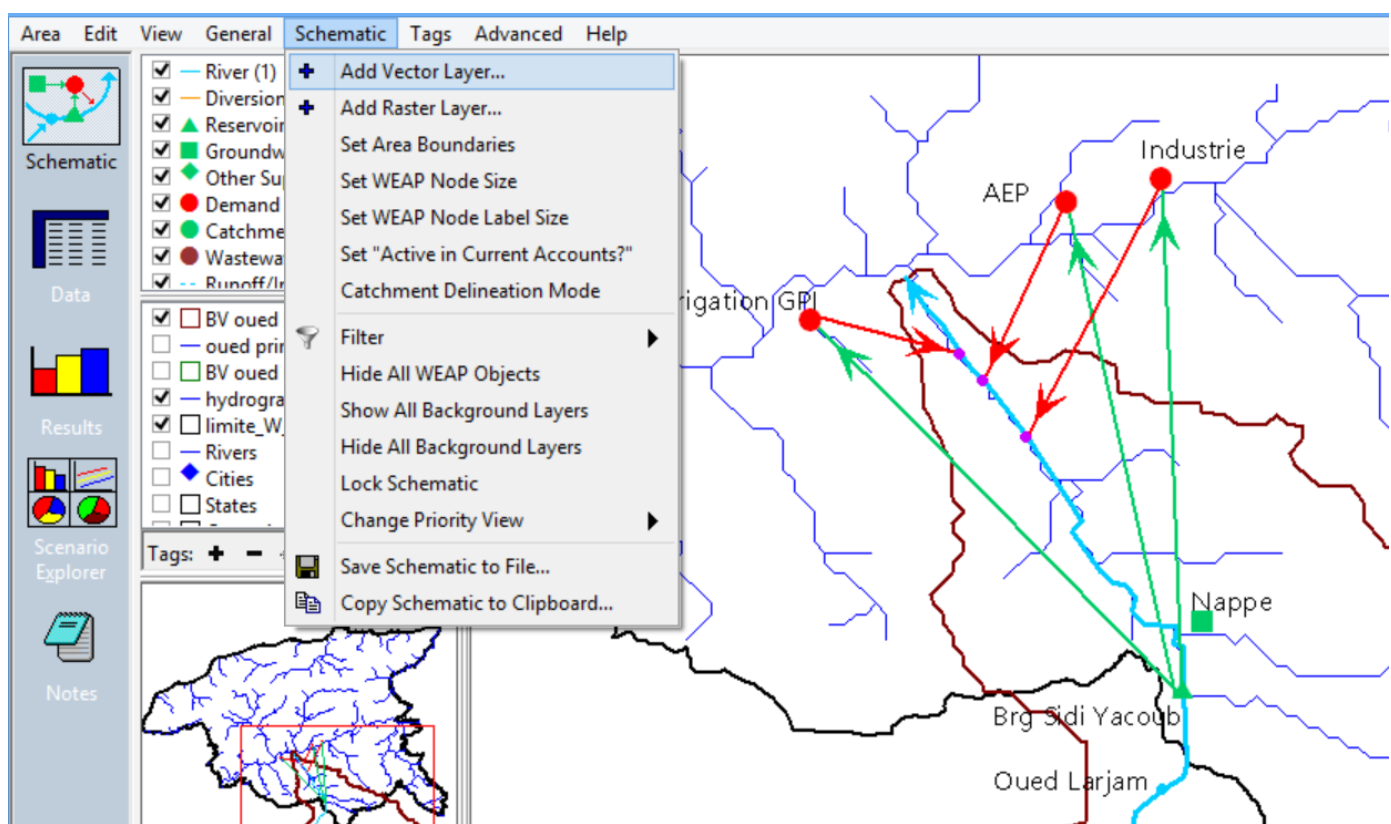


Figure (4-3) :schéma conceptuel pour le système d'allocation à partir du barrage de Sidi yacoub

### 4.2.2 Mise en place des objets

Dans le cadre de la **mise en place des objets** dans un modèle hydrologique, plusieurs éléments clés doivent être définis pour simuler correctement la gestion et l'utilisation des ressources en eau. Voici une description des différents objets à prendre en compte :

1. **Site de demande AEP (Alimentation en Eau Potable)** : Ce site représente les zones résidentielles ou urbaines qui nécessitent une alimentation régulière en eau potable. Dans un modèle, ce site capte la demande en eau pour les besoins domestiques, les services publics, et les infrastructures urbaines.

La modélisation de ces sites permet d'anticiper les besoins en eau de la population et de s'assurer que l'approvisionnement est suffisant, même en période de sécheresse ou de stress hydrique.

2. **Site de demande irrigation** : Ce site correspond aux zones agricoles qui requièrent de l'eau pour l'irrigation. L'eau y est utilisée pour l'irrigation des cultures et des vergers. Dans le modèle, il est essentiel de quantifier la demande en fonction des types de cultures, des saisons, et des conditions climatiques. La gestion de ces sites permet d'optimiser l'utilisation de l'eau dans l'agriculture et de minimiser les pertes dues à l'évaporation ou à l'infiltration excessive.
3. **Site de demande industrie** : Ce site concerne les besoins en eau des zones industrielles. L'eau y est utilisée dans des processus industriels, tels que le refroidissement, le lavage, ou la production. Le modèle doit intégrer ces sites pour s'assurer que l'approvisionnement en eau est suffisant pour soutenir les activités économiques, tout en minimisant l'impact sur les ressources disponibles pour d'autres usages.
4. **Site du barrage** : Le site du barrage représente un élément essentiel dans le modèle, car il stocke et régule l'écoulement de l'eau dans la région. Le barrage peut être utilisé pour la production d'électricité, l'irrigation, ou l'alimentation en eau potable. En modélisant ce site, on peut évaluer la capacité du barrage à répondre aux différentes demandes en eau et à réguler les crues et les sécheresses.
5. **Site de la nappe** : Ce site représente les aquifères ou nappes souterraines qui fournissent de l'eau à partir des sources souterraines. La modélisation de ces sites est cruciale pour évaluer la recharge des nappes, l'impact des pompages excessifs, et les interactions entre les eaux souterraines et de surface. La gestion durable des nappes est essentielle pour éviter leur épuisement et assurer un approvisionnement en eau à long terme.

En intégrant ces différents objets dans un modèle hydrologique, il devient possible de gérer efficacement les ressources en eau, d'équilibrer la demande entre les différents secteurs (domestique, agricole, industriel), et d'assurer une gestion durable des ressources hydriques disponibles.

### 4.2.3 Réglage des paramètres généraux

#### 4.2.3.1 Période de simulation, pas de temps, unités

Dans le logiciel WEAP (Water Evaluation and Planning System), les paramètres généraux jouent un rôle essentiel dans la configuration de la simulation.

Tout d'abord, la **période de simulation** définit la durée sur laquelle l'analyse sera effectuée. Cette période est spécifiée par des dates de début et de fin, permettant ainsi d'adapter la simulation aux besoins de l'utilisateur, qu'il s'agisse d'une étude sur plusieurs décennies ou sur quelques années seulement.

Ensuite, le **pas de temps** est le facteur qui détermine la fréquence des calculs et des mises à jour dans la simulation. Il peut être défini en jours, mois ou années, selon le niveau de précision souhaité.

Enfin, les **unités** jouent un rôle clé, car elles garantissent la cohérence et l'interprétation correcte des résultats. WEAP permet de définir des unités pour différentes variables, telles que le débit, la demande en eau ou les précipitations, en choisissant parmi diverses options (litres, mètres cubes, millimètres, etc.). Cette flexibilité dans la configuration des paramètres généraux permet d'adapter la simulation aux besoins spécifiques de chaque projet d'évaluation et de planification des ressources en eau.

#### 4.2.3.2 Hypothèses clés

Dans l'onglet data (données), et pour faciliter l'organisation des données, des hypothèses ont été introduites, qu'on appelle « hypothèse clés »

- Besoin en eau domestique : 150l/j/habitant
- besoin en eau d'irrigation : 7000m<sup>3</sup>/Hec/an
- Augmentation de la population

#### 4.2.3.3 Scénarios

La période de simulation prise dans notre étude s'étale de septembre 2014 à Aout 2060. Le scénarios compte courant ,par défaut est nommé : «Compte actuel 2014 » les données d'obsevation pour notre cas s'étale de septembre 2014 jusqu'a aout 2023, lapériode de simulation est nommé référence«référence (2015-2060) »

Voici la citation détaillée des scénarios dans le domaine de l'hydraulique, comme vue sur la figure ci-dessous :

- **Référence (2015-2060):**

**Augmentation de la population (2015-2060)** : Ce scénario anticipe une croissance démographique soutenue sur une période de 45 ans, entraînant une augmentation significative de la demande en ressources hydriques pour répondre aux besoins domestiques, agricoles et industriels.

**Extension GPI (2015-2060)** : Ce scénario traite de l'expansion du Grand Projet d'Irrigation (GPI), visant à étendre les surfaces irriguées pour améliorer la productivité agricole. L'impactattendu sur les ressources en eau est une augmentation de la demande pour l'irrigation et une gestion plus intensive des ressources hydriques.

**Amélioration de l'industrie (2015-2060)** : Ce scénario projette une modernisation et une intensification des activités industrielles, impliquant une consommation accrue d'eau pour les

procédés de fabrication, ainsi que des exigences supplémentaires pour le traitement des eaux usées afin de minimiser l'impact environnemental.

**Sécheresse (2015-2060) :** Ce scénario prévoit la survenue de périodes de sécheresse récurrentes ou prolongées, réduisant les précipitations disponibles et limitant les ressources en eau de surface et souterraines. Cela nécessitera des stratégies d'adaptation telles que la gestion des réserves d'eau et la recherche de sources alternatives pour éviter des pénuries graves.



Figure (4-4) :Arbre des scénarios étudiés proposée (logiciel WEAP)

## 4.2.4 Introduction des données

### 4.2.4.1 Site de captage barrage Sidi Yaacoub

#### ➤ Caractéristiques physiques du réservoir :

- Capacité maximale du réservoir.
- Capacité initiale au début de la simulation.
- Courbe de relation entre le volume et l'altitude.

#### ➤ Usages de l'eau du réservoir :

- Usage agricole.
- Usage domestique.

#### ➤ Apports du bassin en amont :

- Débits entrants au barrage.
- Différence entre les précipitations et l'évaporation.
- Pertes par infiltration.
- Infiltration du réservoir vers la nappe souterraine.

### ➤ Capacité de stockage-stockage initial– Volume observé

La variation du volume d'eau dans un barrage entre septembre 2013 et mars 2023 est illustrée dans la **Figure (4-5)**. Initialement, le volume oscille entre 240 et 180 millions de mètres cubes, reflétant des fluctuations saisonnières sans tendance notable. À partir de 2018, une diminution progressive est observée, s'accroissant en 2020 lorsque le volume descend en dessous de 160 millions de mètres cubes. Entre 2020 et 2022, des baisses soudaines et des hausses brusques suggèrent des événements hydrologiques extrêmes ou des ajustements de gestion. En fin de période, le volume reste constamment faible, entre 40 et 60 millions de mètres cubes, indiquant une sécheresse prolongée ou une réduction des apports d'eau.

Le graphique souligne une tendance générale à la baisse du volume d'eau, avec des fluctuations plus erratiques ces dernières années.

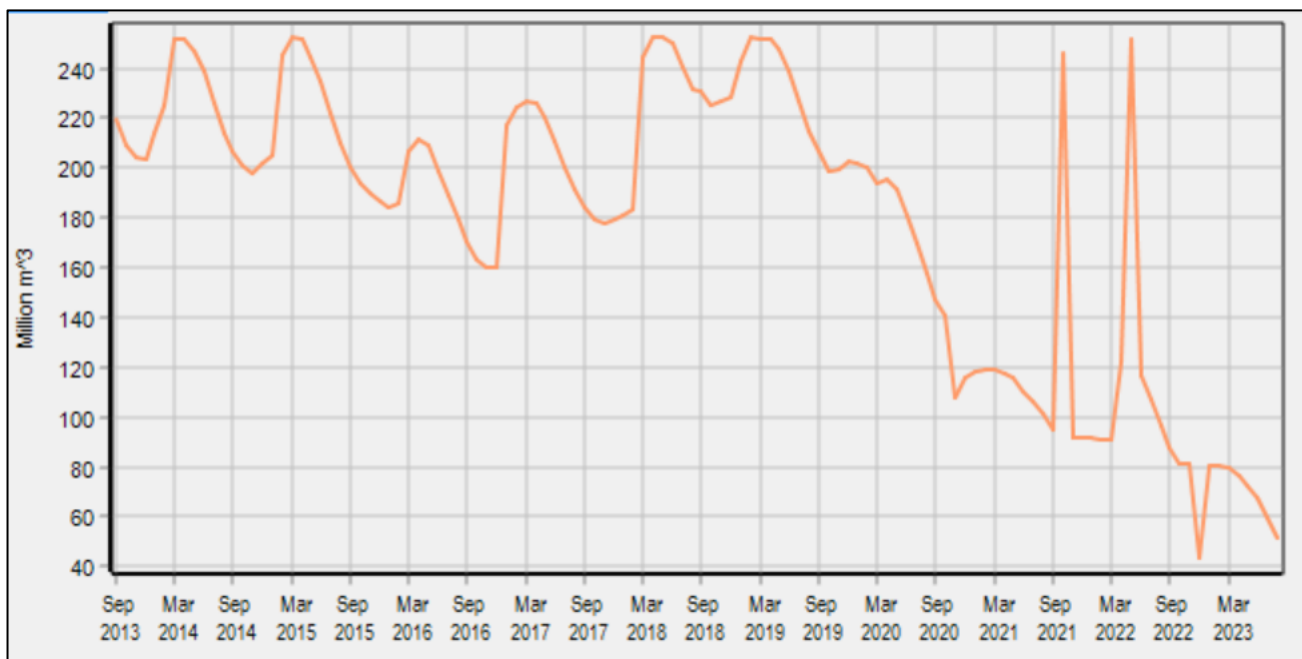


**Figure (4-5) :** Variation du volume de stockage-stockage initial d'eau dans le barrage (observé) du 01/09/2013 au 31/08/2023.

### ➤ Infiltration

La **Figure (4-6)** montre la variation du volume d'eau dans un barrage de septembre 2013 à mars 2023. Au début de cette période, entre 2013 et 2015, le volume d'eau connaît des fluctuations importantes, atteignant des pics significatifs autour de 0,14 million de mètres cubes. Cependant, après mars 2015, le volume d'eau chute brusquement et se stabilise à un niveau très bas, autour de 0,03 million de mètres cubes. À partir de cette date, le volume reste presque constant avec de légères variations, reflétant une faible disponibilité ou un usage restreint de l'eau dans le barrage au cours des années suivantes. Le

graphique souligne une transition marquée d'une période de fluctuations importantes à une période de stabilité à un niveau bas, indiquant peut-être un changement dans les conditions hydrologiques ou dans la gestion du barrage.

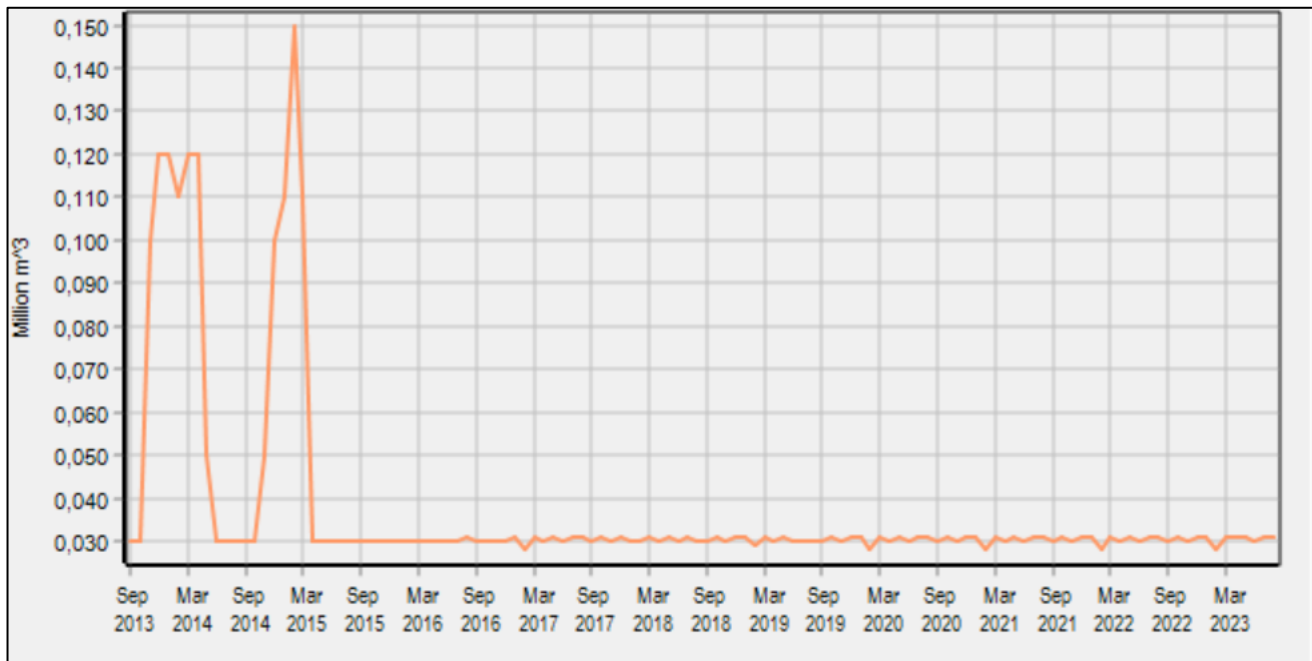


**Figure (4-6) :** Variation du volume d'eau dans le barrage (observé)  
du 01/09/2013 au 31/08/2023

#### ➤ **Evaporation nette**

La **Figure (4-7)** présente les variations du volume d'évaporation nette dans un barrage entre septembre 2013 et mars 2023. Les données montrent une cyclicité saisonnière marquée, avec des pics d'évaporation généralement observés en septembre, correspondant aux mois les plus chauds, et des creux autour de mars, durant les périodes plus fraîches. Ces fluctuations saisonnières sont influencées par des facteurs climatiques tels que la température, l'humidité relative et la radiation solaire.

Des pics particulièrement élevés en septembre 2016 et septembre 2022 suggèrent des conditions climatiques extrêmes, telles que des vagues de chaleur ou des sécheresses, qui ont accru l'évaporation. Malgré ces variations annuelles, le graphique ne révèle pas de tendance générale à la hausse ou à la baisse sur l'ensemble de la décennie, ce qui pourrait indiquer une stabilité relative des conditions climatiques moyennes. Cependant, des anomalies comme la faible évaporation en mars 2019 et mars 2020 pourraient être liées à des précipitations accrues ou à des températures plus basses, affectant temporairement les niveaux d'eau du barrage.

Ces observations soulignent l'importance d'une gestion proactive et adaptative de la ressource en eau, en particulier face aux événements climatiques extrêmes. La surveillance continue des variations d'évaporation est cruciale pour anticiper les défis futurs et adapter les stratégies de gestion du barrage, notamment dans un contexte de changement climatique où de tels événements pourraient devenir plus fréquents et intenses.

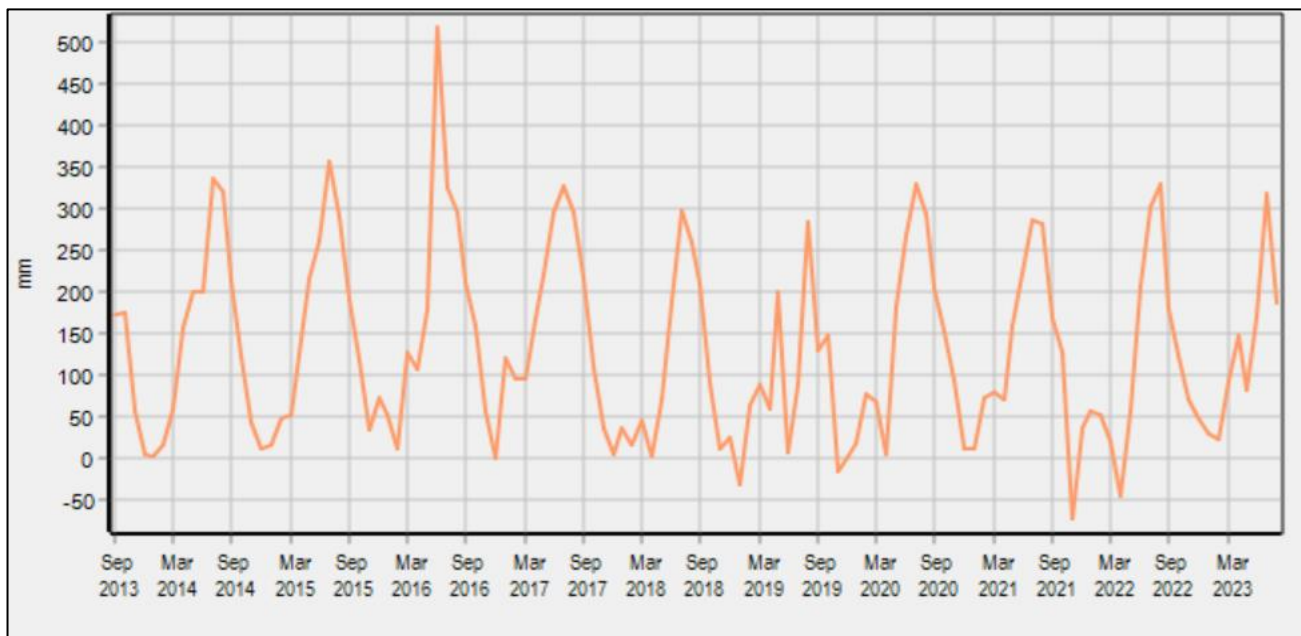


**Figure (4-7) :** Variation du volume d'évaporation nette dans le barrage (observé) du 01/09/2013 au 31/08/2023.

#### ➤ Débits entrants

La **Figure (4-8)** illustre l'évolution du débit en mètres cubes par seconde ( $\text{m}^3/\text{S}$ ) sur une période de 10 ans, de septembre 2013 à mars 2023. Le débit montre des variations avec plusieurs pics irréguliers, le plus important étant en septembre 2017, atteignant près de  $90(\text{m}^3/\text{S})$ . Ces fluctuations, entrecoupées de périodes de faible activité, pourraient refléter l'activité d'un barrage ou de plusieurs barrages, avec des variations influencées par des événements hydrologiques ou des besoins de gestion de l'eau. Le pic de 2017 correspondre à un événement hydrologique majeur ou à une gestion d'eau d'urgence.

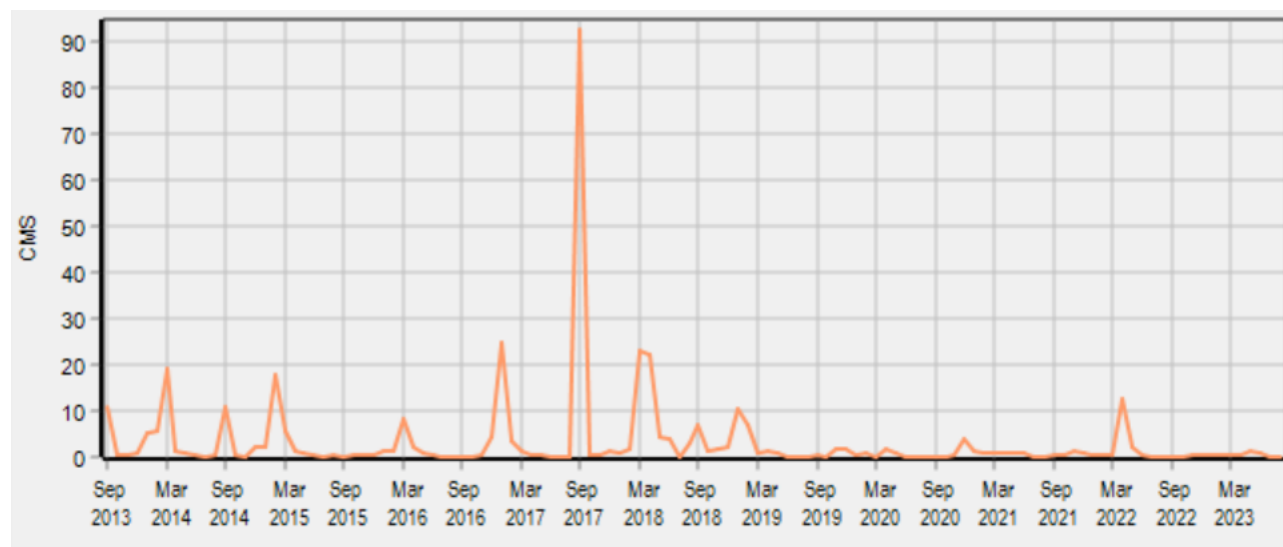


**Figure (4-8) :** Variation du volume d'eau entrée dans le barrage (observé)  
du 01/09/2013 au 31/08/2023.

#### 4.2.4.2 Site de demande

✓ **Irrigation**

La **Figure (4-9)** présente la variation du volume d'eau sortant du barrage destiné à l'irrigation entre 2015 et 2023. L'histogramme indique que le volume d'eau utilisé pour l'irrigation a diminué au fil des années, passant d'environ 5500Hm<sup>3</sup> en 2015 à environ 2000Hm<sup>3</sup> en 2023.

Ces résultats montrent une tendance générale à la baisse du volume d'eau alloué à l'irrigation sur la période étudiée. Cette diminution est liée à plusieurs facteurs : une réduction de la disponibilité de l'eau dans le barrage due à une augmentation de l'évaporation, des précipitations insuffisantes, des efforts de conservation de l'eau, ou encore un changement dans les pratiques agricoles, comme l'adoption de techniques d'irrigation plus efficaces.

L'année 2021 montre une chute notable, probablement liée à un événement particulier comme une sécheresse sévère. Cette tendance à la baisse suggère un besoin croissant d'adapter la gestion de l'eau pour garantir une utilisation durable, en particulier face aux défis climatiques.

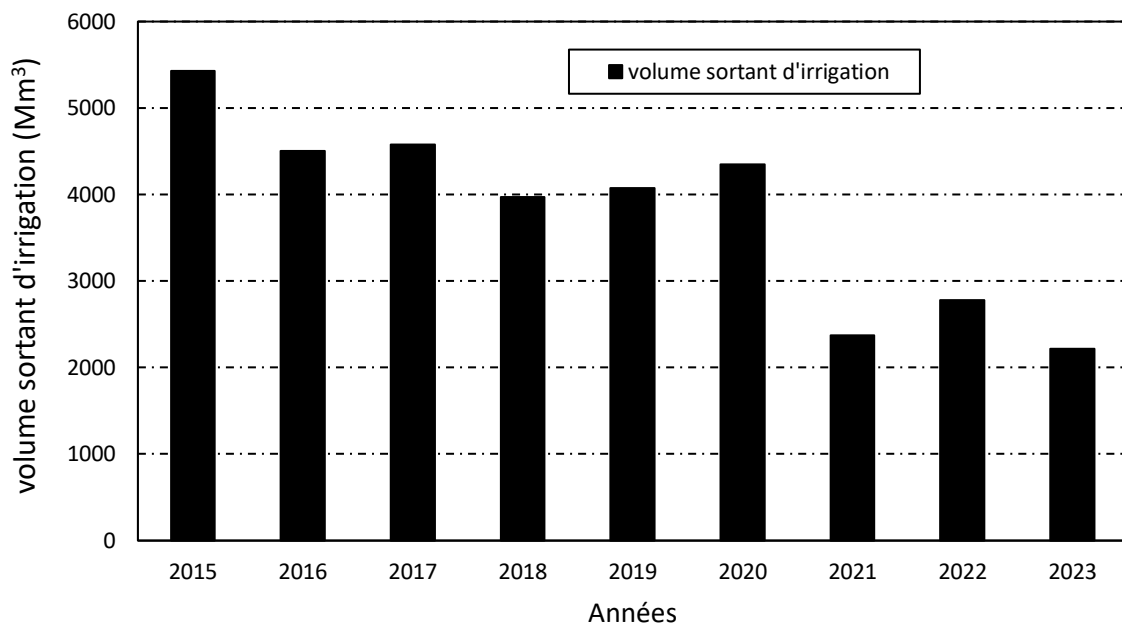


**Figure (4-9) :** Variation du volume d'eau sortant du destiné à l'irrigation (observé) du 01/09/2013 au 31/08/2023.

#### ✓ Liaison de transmission

La liaison de transmission est marquée par les objets en flèches vertes **Figure (4-3)** Il n'y a pas de débit de retour. Cette liaison est établie à partir du bilan hydrique au niveau de la retenue qui découle de l'application du principe de la conservation des volumes d'eau. Elle s'écrit sous sa forme la plus complète :

$$dV = Vec + Vp - (Vev + Vid + Vif + Vd + Vu)$$

avec, durant l'intervalle de temps  $dt$  :

$dV$  : la variation du stock dans la retenue ( $Mm^3$ );

$Vec$  : les apports en provenance des tributaires ( $Mm^3$ );

$Vp$  : les apports dû aux précipitations tombant directement sur la retenue ( $Mm^3$ ) ;

$Vev$  : le volume d'eau évaporée ( $Mm^3$ ) ;

$Vid$  : les pertes par infiltration à hauteur du barrage ( $Mm^3$ ) ;

$Vif$  : les pertes par infiltration dans le fond de la retenue ( $Mm^3$ ) ;

$Vd$  : le volume d'eau sortant de la retenue par déversement ( $Mm^3$ ) ;

$Vu$  : le volume d'eau prélevée pour divers usages sa forme réduit est

$$Stock = Apport - perte(Mm^3)$$

**Tableau (4-1) : Bilan du barrage Sidi Yacoub ,période 2014-2023.**

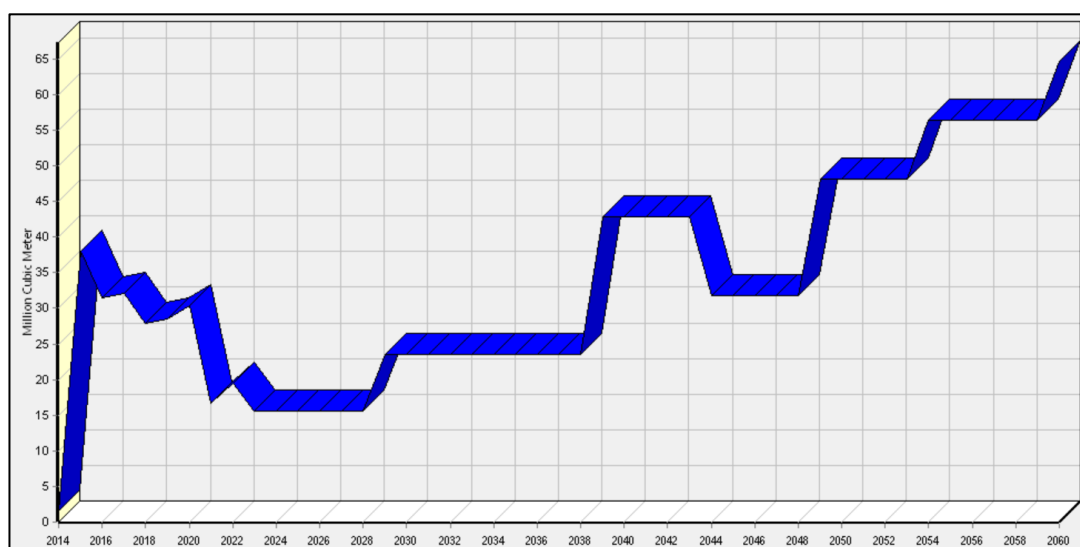
| Années | Stock initial(Hm <sup>3</sup> ) | Apporte (Hm <sup>3</sup> ) | Pertes (Hm <sup>3</sup> ) | Stock (Hm <sup>3</sup> ) | Irrigation (Hm <sup>3</sup> ) | AEP +industrie(Hm <sup>3</sup> ) | Evaporation (Hm <sup>3</sup> ) |
|--------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 2013   | 2010,55                         | 102,424                    | 22,32                     | 80,104                   | 29,619                        | 22,755                           | 11,574                         |
| 2014   | 213,613                         | 90,758                     | 33,841                    | 56,917                   | 30,176                        | 21,627                           | 11,944                         |
| 2015   | 209,609                         | 68,396                     | 18,661                    | 49,735                   | 33,581                        | 20,801                           | 11,197                         |
| 2016   | 178,786                         | 35,839                     | 11,393                    | 24,446                   | 33,948                        | 8,205                            | 10,784                         |
| 2017   | 190,902                         | 84,423                     | 11,908647                 | 72,514353                | 27,188                        | 8,469                            | 13,267                         |
| 2018   | 230,776                         | 158,31                     | 9,85                      | 148,46                   | 17,988                        | 11,378                           | 11,033                         |
| 2019   | 214,659                         | 47,497                     | 19,9444                   | 27,5526                  | 30,465                        | 13,715                           | 10,5                           |
| 2020   | 157,376                         | 17,295                     | 11,784                    | 5,511                    | 40,753                        | 14,313                           | 9,805                          |
| 2021   | 100,47                          | 12,869                     | 8,819                     | 4,05                     | 14,409                        | 14,87                            | 9,66                           |
| 2022   | 95,816                          | 39,489                     | 8,884                     | 30,605                   | 25,4                          | 15,43                            | 10,76                          |
| 2023   | 49,847                          | 17,34                      | 12,45                     | 4,98                     | 14,728                        | 14,9                             | 11,09                          |

### 4.3 Résultats de scénarios de référence

#### 4.3.1 Evolution future de besoin en eau du site de demande

##### 4.3.1.1 Besoin en eau d'irrigation

La **Figure (4-10)** montre l'évolution des besoins en eau pour l'irrigation jusqu'en 2060, exprimés en millions de mètres cubes (Mm<sup>3</sup>). Cependant, comme le montre la Figure (4-10), au début de la période 2014-2020, entre 2014 et 2016, on observe une forte augmentation des besoins en eau, atteignant environ 30 Mm<sup>3</sup>.

**Figure (4-10) : Evolution des besoins en eau d'irrigation jusqu'en 2060 (Mm<sup>3</sup>).**

Ensuite, entre 2016 et 2020, une baisse significative de la demande en eau d'irrigation, descendant en dessous de 10 Mm<sup>3</sup>. Une phase de stabilité dans les besoins en eau d'irrigation est visible entre 2020 et 2040, avec de légères fluctuations, restant autour de 15 Mm<sup>3</sup>. Vers 2040, une nouvelle augmentation significative est observée, atteignant près de 50 Mm<sup>3</sup>.

Après 2040, les besoins en eau continuent de croître, bien que de manière progressive en palier. Le graphique montre qu'à l'horizon 2060, les besoins en eau d'irrigation atteignent un pic de plus de 65 Mm<sup>3</sup>.

Cette **figure 4-10** met en évidence une tendance à la hausse des besoins en eau pour l'irrigation à long terme. Après une période initiale de fluctuation, les besoins augmentent de manière quasi continue, cause de l'extension des terres irriguées futur. La courbe présente des fluctuations jusqu'en 2040, suivies d'une augmentation plus marquée à partir de 2056, indiquant une demande croissante et irrégulière. Cette hausse peut être attribuée à l'expansion des terres irriguées et à l'augmentation des besoins agricoles futurs. Le caractère en escalier du graphique reflète des périodes d'adaptation ou de stabilisation avant de nouvelles hausses de la demande en eau. Ces résultats soulignent l'importance de développer des stratégies de gestion durable des ressources en eau pour faire face à l'augmentation projetée des besoins en irrigation d'ici 2060.

#### 4.3.1.2 Besoin en eau domestique

Le **Figure (4-11)** l'évolution projetée des besoins en eau domestique de 2014 à 2060, exprimée en millions de mètres cubes (Mm<sup>3</sup>). Les besoins en eau augmentent de manière constante au fil du temps, passant d'environ 35 Mm<sup>3</sup> en 2014 à environ 80 Mm<sup>3</sup> en 2060.

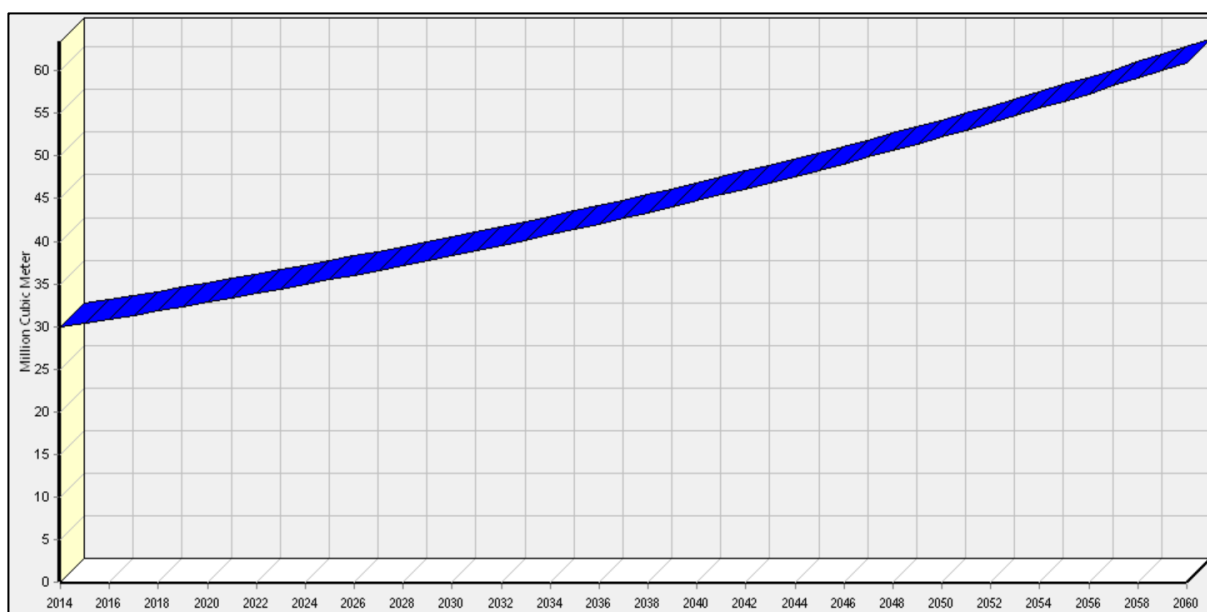


**Figure (4-11) :** Evolution des besoins en eau domestique jusqu'en 2060 (Mm<sup>3</sup>).

Cette projection indique une augmentation significative des besoins en eau domestique au cours des prochaines décennies. Cette tendance est due à la croissance démographique, à l'urbanisation accrue, et à l'amélioration du niveau de vie, qui entraînent tous une demande plus élevée en eau. La pente ascendante régulière du graphique suggère que ces facteurs continueront à influencer la consommation d'eau de manière prévisible, sans variations soudaines.

Cette augmentation des besoins en eau soulève des préoccupations quant à la durabilité des ressources en eau, en particulier dans un contexte de changement climatique où les ressources pourraient devenir plus limitées. Il est crucial de planifier dès maintenant des stratégies pour répondre à cette demande croissante, comme l'amélioration de l'efficacité des systèmes de distribution d'eau, la promotion de pratiques de conservation, et l'investissement dans des technologies de réutilisation et de dessalement de l'eau.

### 3.3.1.3 Besoin en eau industrielle

L'évolution des besoins en eau industrielles projetés jusqu'en 2060, exprimés en milliers de mètres cubes est illustrée dans la **Figure (4-12)**. La période couverte par la courbe s'étend de 2014 à 2060.

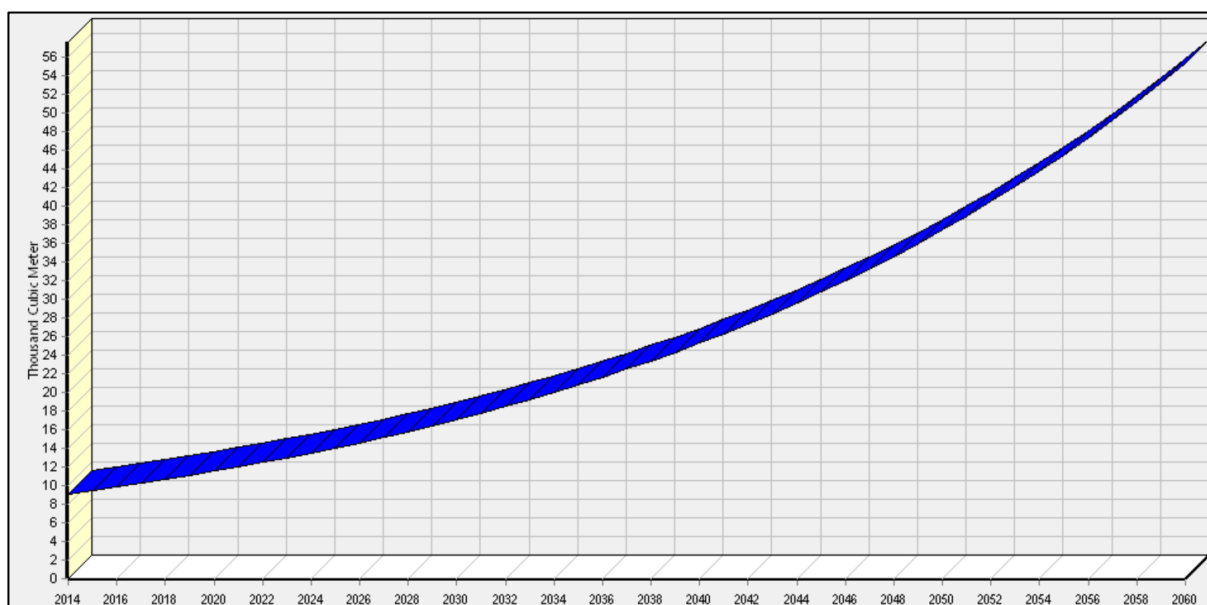


**Figure (4-12) :** Evolution des besoins en eau industrielles jusqu'en 2060 (Mm<sup>3</sup>).

D'après la figure, une augmentation significative des besoins en eau industrielle au fil du temps. La courbe, ombrée en bleu, révèle une tendance à la hausse qui devient de plus en plus marquée à mesure que l'on progresse dans le temps, suggérant une croissance exponentielle des besoins. Cependant, comme le montre la figure 4-12, une montée régulière au début observé, suivie d'une accélération notable à partir de

2040, ce qui pourrait être dû à l'expansion industrielle, l'augmentation de la production ou d'autres facteurs liés à la demande en eau pour les usages industriels.

#### 4.3.2 Evaluation de la quantité d'eau disponible au niveau du barrage à l'horizon 2060

La **Figure (4-13)** illustre l'évolution de la capacité de stockage d'un barrage en millions de mètres cubes ( $Mm^3$ ) sur une période s'étendant de 2013 à 2060. L'axe vertical représente le volume de stockage en  $Mm^3$ , tandis que l'axe horizontal trace l'écoulement du temps, divisé en mois et années.

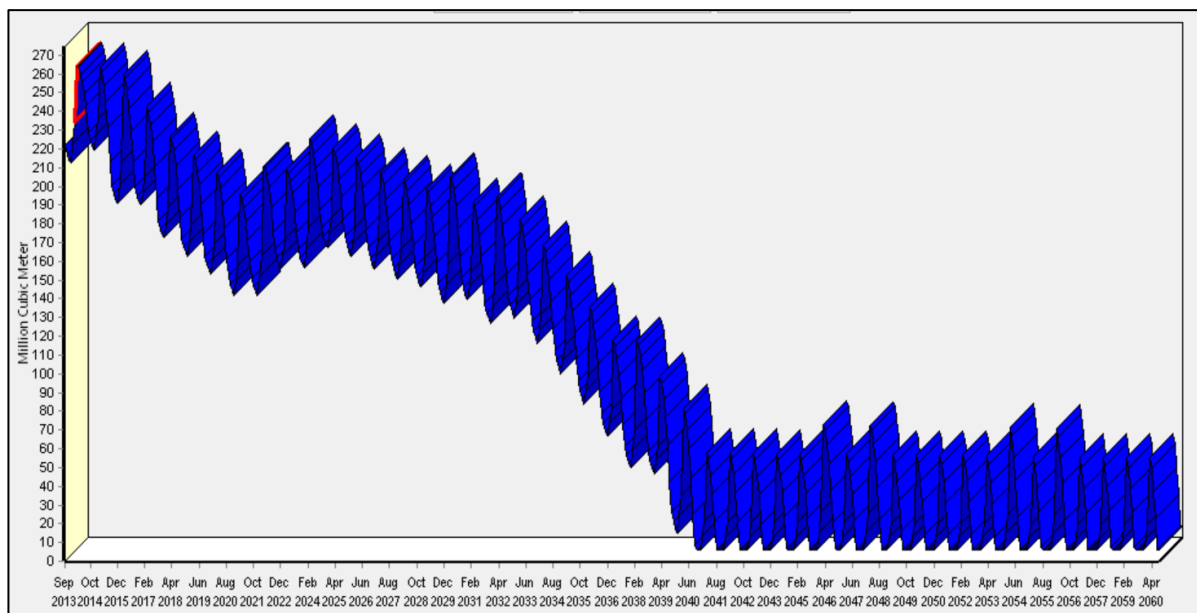


**Figure (4-13) :** Evolution de la capacité de stockage du barrage à l'horizon 2060 ( $Mm^3$ )

On note une tendance générale à la diminution de la capacité de stockage au fil des années. De 2013 jusqu'à environ 2030, le volume reste relativement élevé, fluctuant entre 200 et 260  $Mm^3$ , avec des variations saisonnières prononcées. Cependant, à partir de 2030, une diminution notable du volume commence à se manifester. Cette tendance à la baisse se poursuit jusqu'à environ 2045, moment où la capacité atteint un niveau bas, oscillant entre 50 et 100  $Mm^3$ . Bien qu'il y ait encore des fluctuations par la suite, la capacité de stockage ne retrouve jamais son niveau initial, restant faible jusqu'en 2060.

La **Figure (4-14)** montre l'évolution mensuelle de la capacité de stockage du barrage Sidi Yacoub, projetée jusqu'à l'horizon 2060. L'axe vertical représente le volume de stockage en mètres cubes ( $Mm^3$ ), tandis que l'axe horizontal montre les mois de l'année, allant de septembre à août.

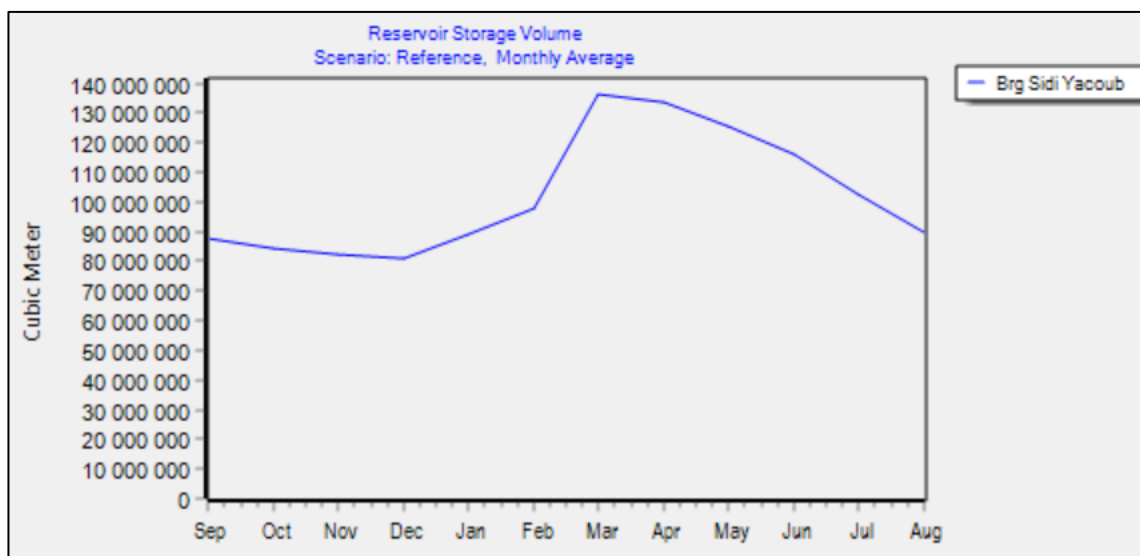


**Figure (4-14) :** Evolution de la capacité de stockage du barrage à l'horizon 2060 à l'échelle mensuelle (Mm³).

On observe que le volume du réservoir est relativement stable entre septembre et janvier, avec une légère baisse. À partir de janvier, la capacité de stockage augmente progressivement pour atteindre un pic en mars, atteignant environ 130 millions de mètres cubes. Après ce sommet, le volume diminue continuellement jusqu'en août. Cela suggère un cycle annuel de remplissage et de vidange du barrage, probablement en réponse aux précipitations saisonnières et à la gestion des ressources en eau.

La **Figure (4-15)** montre l'évolution de la capacité de stockage du barrage Sidi Yacoub en millions de mètres cubes (Mm³) au mois d'août, sous un scénario de sécheresse, pour une période allant de 2014 à 2060.

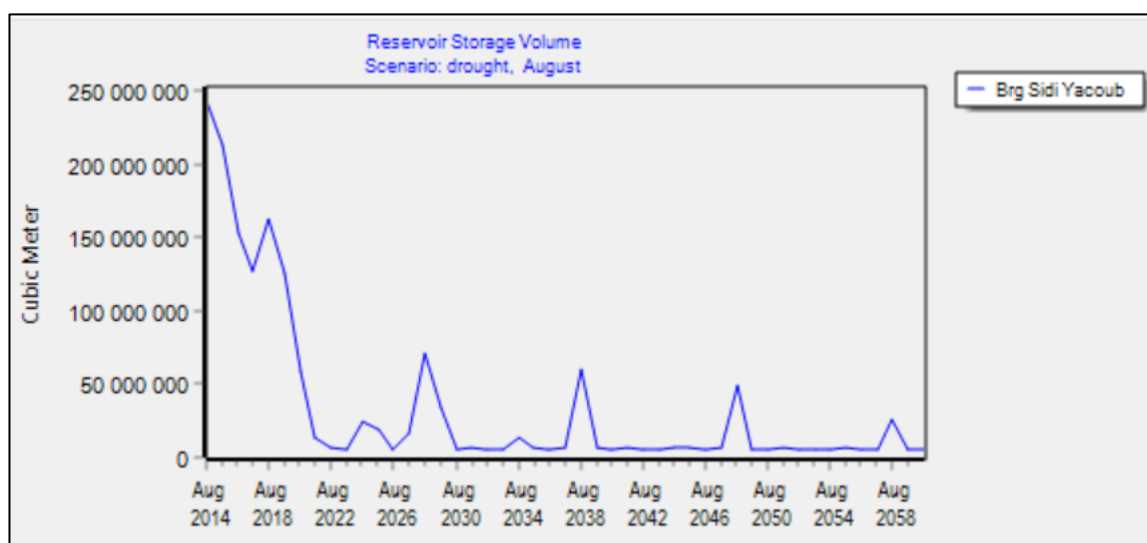


**Figure (4-15) :** Evolution de la capacité de stockage du barrage à l'horizon 2060 au mois d'août.

en période de sécheresse ( $\text{Mm}^3$ ).

On observe une diminution rapide et drastique du volume de stockage dès le début de la période. En 2014, la capacité est élevée, atteignant près de 250 millions de mètres cubes, mais elle chute rapidement pour atteindre un niveau beaucoup plus bas dès 2021, avec des volumes inférieurs à 50 millions de mètres cubes. Par la suite, le volume reste très faible, avec quelques pics sporadiques, mais sans jamais retrouver les niveaux initiaux.

L'évolution mensuelle de la capacité de stockage du barrage de Sidi Yacoub à l'horizon 2060, en période de sécheresse est présentée dans la **Figure (4-16)**. On observe que la capacité de stockage commence à environ 34 millions de mètres cubes en septembre, diminue légèrement jusqu'à décembre, puis avec une valeur de 90 millions de mètres cubes en décembre.

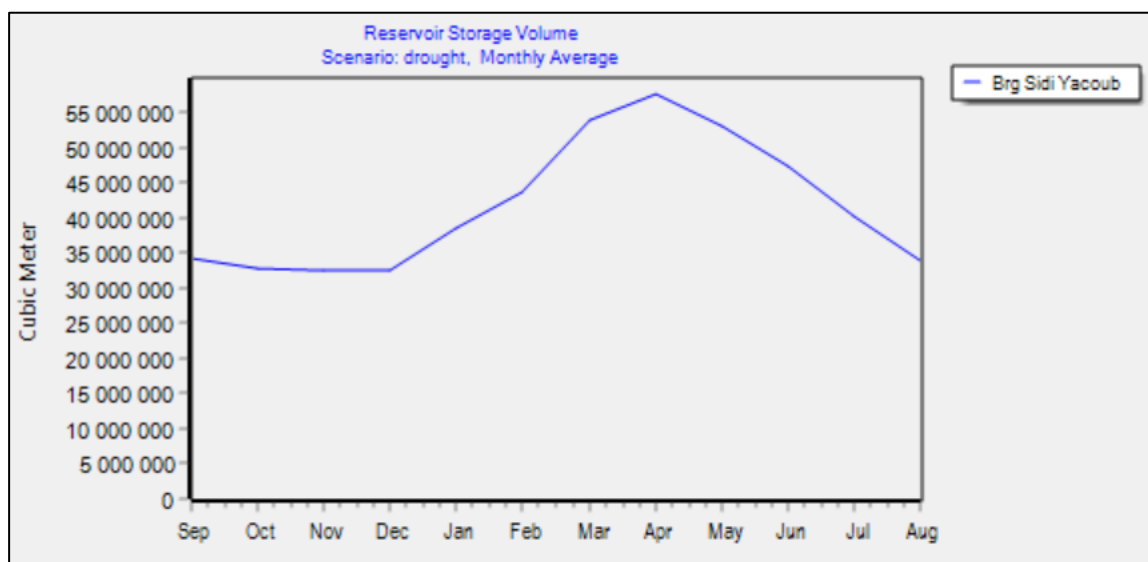


**Figure (4-16) :** Evolution de la capacité de stockage du barrage à l'horizon 2060 à l'échelle mensuelle et en période de sécheresse ( $\text{Mm}^3$ ).

A partir de janvier, la capacité augmente de manière significative pour atteindre un pic d'environ 58 millions de mètres cubes en mois d'avril. Ensuite, une baisse progressive s'installe pour le reste des mois. Ces variations reflètent les fluctuations saisonnières influencées par les précipitations et les apports d'eau, marquant une augmentation notable au début du printemps et une diminution continue pendant les mois d'été, caractérisés par la sécheresse.

#### 4.3.3 Evolution future des pertes en eaux

La **Figure (4-17)** illustre l'évolution des pertes par évaporation et des fuites vers la nappe phréatique du barrage de Sidi Yacoub à l'horizon 2060, exprimées en millions de mètres cubes ( $\text{Mm}^3$ ). Les barres bleues

représentent la diminution du stockage d'eau dans le barrage, les barres rouges montrent les pertes nettes par évaporation, et les barres vertes indiquent les fuites vers la nappe phréatique.

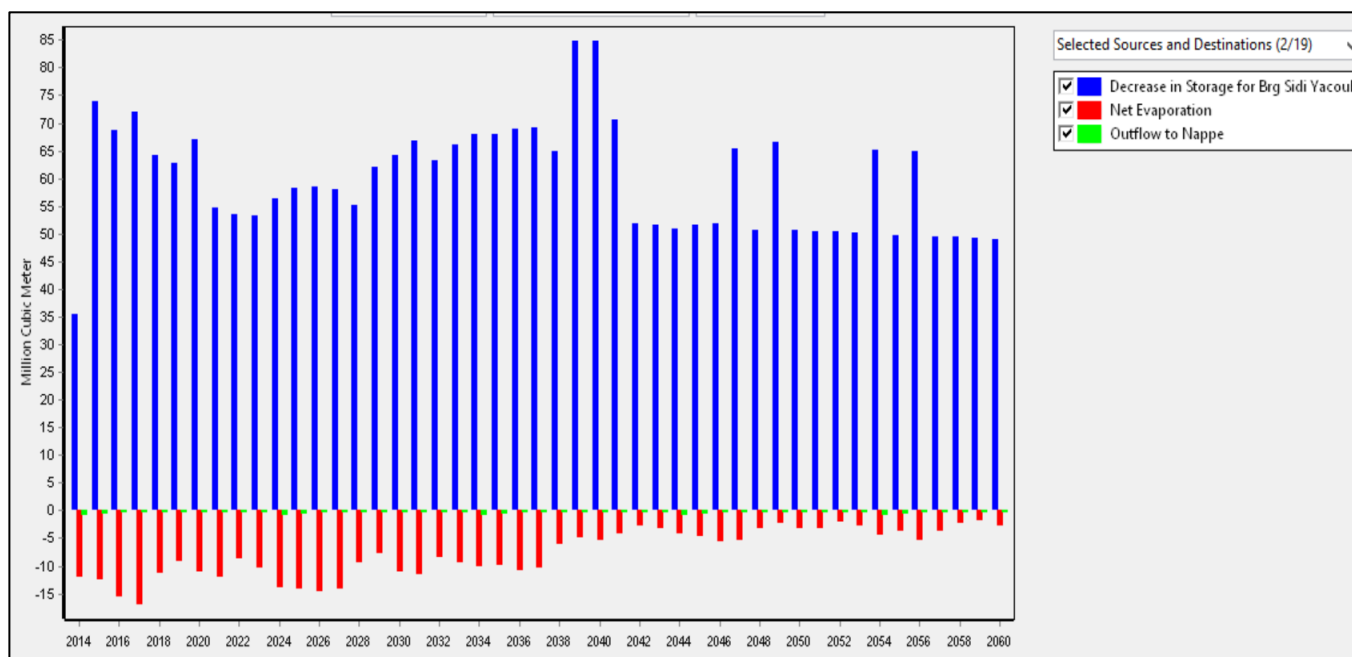


**Figure (4-17) :** Evolution des pertes par évaporation et fuites vers la nappe à l'horizon 2060 (Mm<sup>3</sup>).

Comme le montre la **figure(4-17)**, on observe une diminution marquée du volume stocké dans le barrage au fil des années, accompagnée par des pertes par évaporation relativement constantes mais variables en intensité selon les périodes. Les fuites vers la nappe restent minimales tout au long de la période.

Globalement, les pertes par évaporation ont un impact significatif sur la capacité de stockage, en particulier à partir de 2038, où les pertes augmentent notablement, reflétant des conditions climatiques plus sèches ou des augmentations de température. Cette tendance se poursuit jusqu'en 2060, où les effets combinés de l'évaporation et des fuites vers la nappe se traduisent par une réduction de l'efficacité du stockage d'eau dans le barrage.

#### 4.3.3.1 Estimation du débit de retour

La **Figure (4-18)** montre l'évolution projetée des débits de retour jusqu'en 2060, mesurés en millions de mètres cubes (Mm<sup>3</sup>). Entre 2015 et 2040, les débits de retour augmentent régulièrement, atteignant un pic d'environ 48 Mm<sup>3</sup>. Cependant, après 2040, on observe une chute brutale suivie de fluctuations significatives, avec des valeurs oscillant autour de 30 à 35 Mm<sup>3</sup> jusqu'en 2060.

Selon la figure, on constate une tendance d'abord croissante des débits de retour jusqu'à 2040, ce qui peut être attribué à l'augmentation des activités nécessitant de l'eau, comme l'agriculture, l'industrie ou l'expansion urbaine. La baisse drastique observée après 2040 pourrait être due à une réduction des

ressources en eau disponibles, causée par des changements climatiques, des sécheresses prolongées, ou une surexploitation des ressources en amont. Cette variabilité met en lumière la nécessité d'améliorer la gestion des ressources hydriques et de renforcer les infrastructures pour s'adapter à ces changements imprévus.

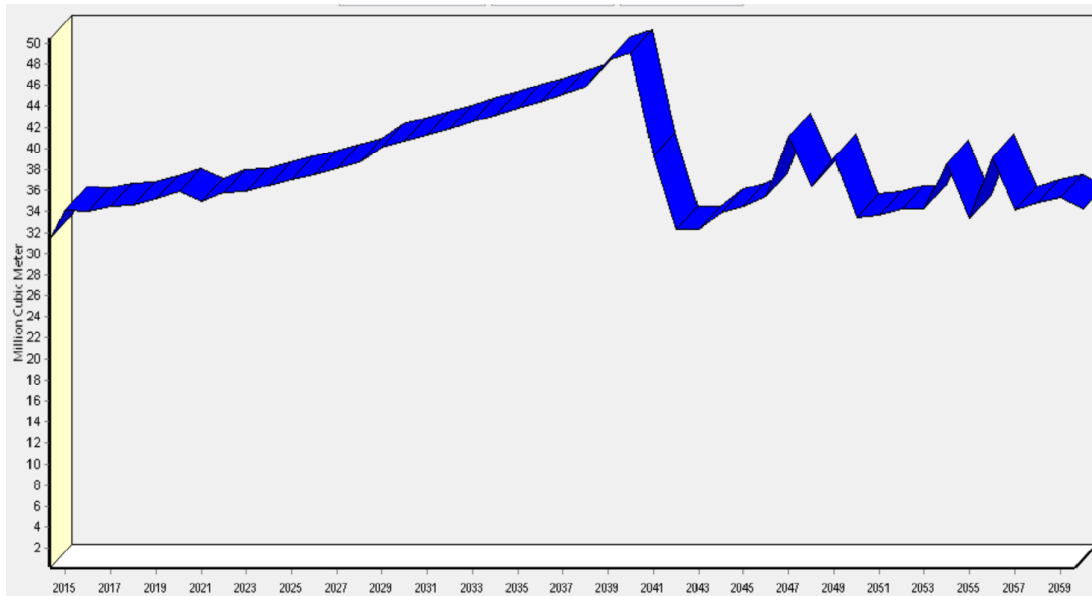


**Figure (4-18) :** Evolution des débits de retour à l'horizon 2060 (Mm<sup>3</sup>).

#### 4.3.3.2 La demande non satisfaisante

##### ➤ Demande en eau non satisfaisante pour la période de référence

La Figure (4-19) montre trois courbes liées à la demande en eau non satisfaisante. La courbe bleue relative à AEP indique une augmentation progressive de la demande dès 2040. La courbe verte relative à l'irrigation prend la même tendance avec une augmentation marquée dès 2056, commençant à croître significativement vers 2040, montrant une demande plus variable.

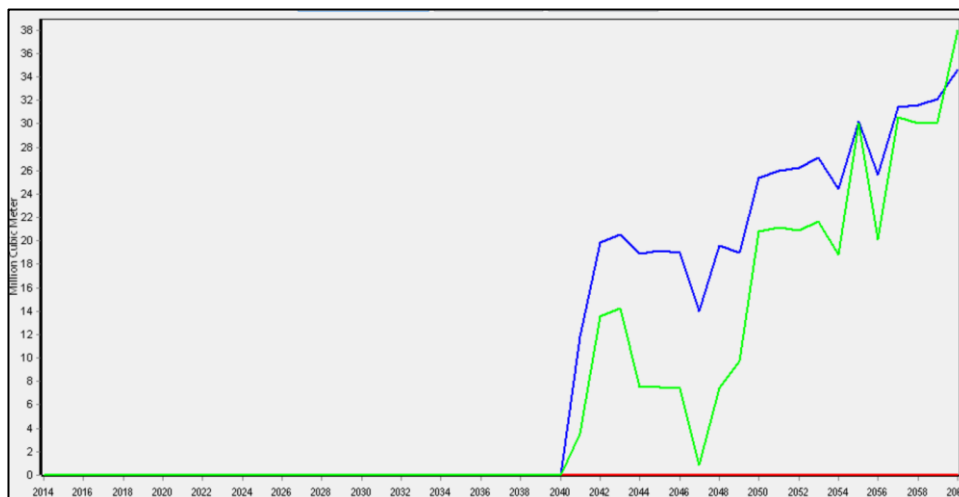


**Figure (4-19) :** La demande en eau non satisfaisante à l'horizon 2060 pour la période de référence ( $\text{Mm}^3$ ).

#### ➤ Demande en eau non satisfaisante en période de sécheresse

Ce graphique montre une augmentation notable des deux séries après 2040, avec des fluctuations importantes. La courbe bleue semble plus régulière, tandis que la verte présente des variations plus prononcées, avant de converger à la hausse vers 2080. Cela pourrait indiquer deux phénomènes interdépendants qui réagissent différemment à certains événements ou facteurs externes. La progression constante des deux séries pourrait aussi indiquer une évolution cumulative ou l'impact de politiques ou de changements structurels sur une période prolongée

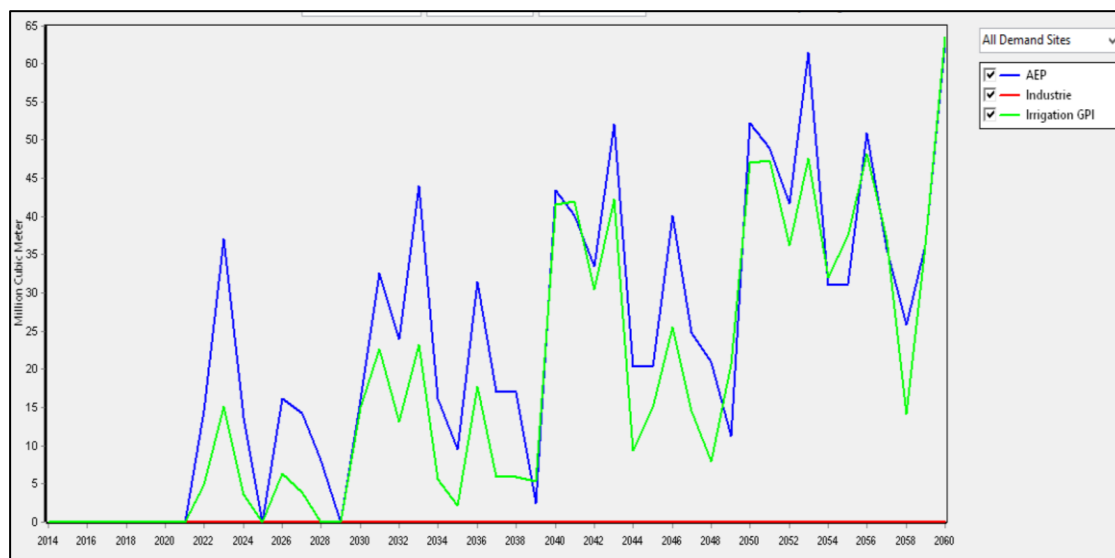


**Figure (4-20) :** la demande en eau non satisfaisante à l'horizon 2060 en période de sécheresse ( $\text{Mm}^3$ ).

### 4.3.4 Adéquation entre l'offre et la demande

#### 4.3.4.1 Cas sous la période de référence

La **Figure (4-21)** montre l'évolution des flux d'eau sur le site lieu du barrage de 2014 à 2060. Les histogrammes représentent les trois principales variables :

- Rouge : flux entrant.
- Bleu : Consommation.
- Vert : flux sortant vers **Oued Lajam**.

Ces trois flux sont exprimés en millions de mètres cubes ( $\text{Mm}^3$ ) sur une échelle de temps allant de 2014 à 2060. Cette figure présente une évolution plus ou moins stable des flux au début de la période (de 2014 à environ 2030), puis on observe une augmentation notable de la consommation (en rouge) avec des pics autour de 2040 et 2046, avant une légère baisse progressive. Parallèlement, les flux sortants vers Oued Lajam (en vert) fluctuent de manière plus prononcée, surtout après 2040, atteignant des valeurs négatives

importantes autour de 2048-2050. Le flux entrant de Barrage Sidi Yacoub (en bleu) reste relativement stable tout au long de la période, indiquant probablement de source constante d'approvisionnement.

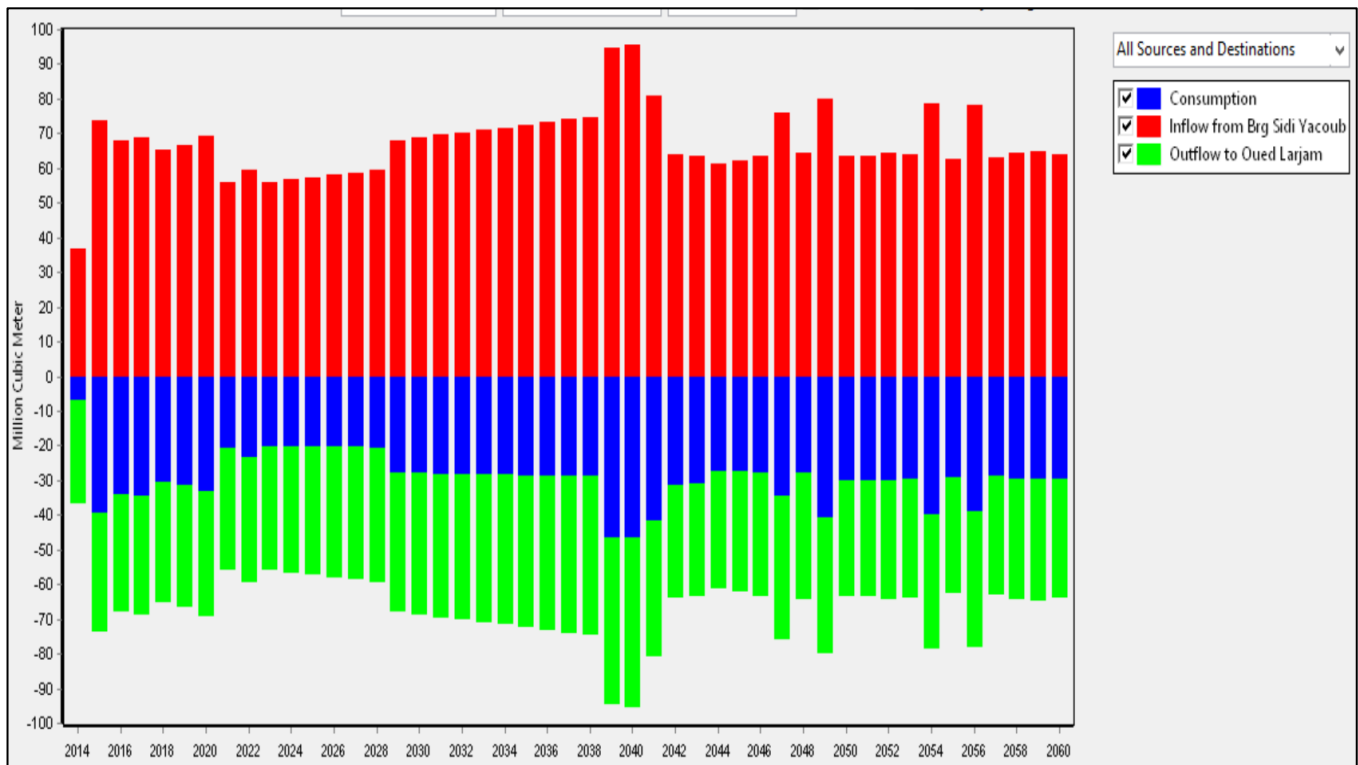


**Figure (4-21) :** Flux entrant et sortant pour le site étudié à l'horizon 2060 (Mm<sup>3</sup>) en période de référence.

Cette évolution indique que la demande en eau pour la consommation dépasse progressivement les flux entrant et sortant. À l'horizon 2060, bien que la consommation ait légèrement baissé, elle reste dominante, tandis que les flux sortants montrent une tendance à diminuer ou à s'équilibrer avec les entrées. Cela suggère une pression croissante sur les ressources en eau, surtout au milieu du siècle.

#### 4.3.4.2 Cas sous la sécheresse

La **Figure (4-22)** représente le même ensemble de données, mais pour un scénario de sécheresse. Encore une fois, les mêmes trois flux sont représentés :

- Rouge : flux entrant .
- Bleu : Consommation .
- Vert : flux sortant vers **Oued Lajam**.

En comparaison avec la première figure, la variabilité est beaucoup plus élevée en période de sécheresse. On observe des oscillations plus marquées dans tous les flux, avec des périodes de déficit (fortes valeurs négatives pour les flux sortants). les flux de sortie vers **Oued Lajam** chutent considérablement durant certaines années de sécheresse, notamment après 2044.

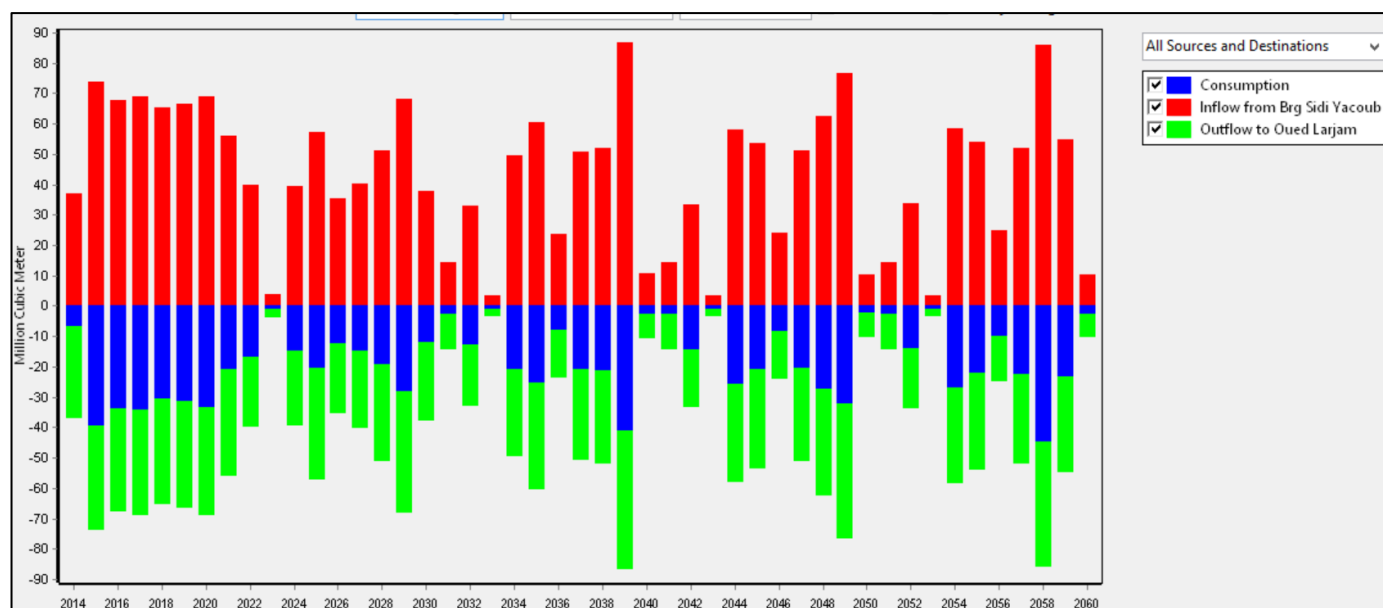


**Figure (4-22) :** Flux entrant et sortant pour le site étudié à l'horizon 2060 en période de sécheresse (Mm<sup>3</sup>)

La consommation reste relativement stable, bien que toujours élevée par rapport aux flux entrants, ce qui aggrave la situation de déficit en période de sécheresse. La figure met en évidence l'impact des périodes de sécheresse sur la disponibilité des ressources en eau. Les flux sortants vers **Oued Lajam** sont fortement réduits pendant ces périodes, tandis que les flux entrants (en rouge) deviennent plus irréguliers, soulignant une plus grande vulnérabilité des ressources en eau.

#### 4.4 Conclusion

Il est évident que, sans une gestion adaptée, la sécheresse intensifie les déséquilibres entre l'offre et la demande en eau.

Les résultats montrent clairement les défis futurs pour la gestion des ressources en eau. Sous des conditions normales, il y a déjà une tension entre l'offre et la demande. En période de sécheresse, ces tensions sont exacerbées, avec des flux sortants massivement réduits et des apports irréguliers. Cela souligne l'importance de stratégies de conservation de l'eau et de gestion durable à long terme pour éviter des pénuries graves à l'horizon 2060.

## **Conclusion générale**

L'eau, reconnue comme une source de vie essentielle et un vecteur crucial pour le développement durable, occupe une place centrale dans les préoccupations mondiales, en particulier dans les pays en développement. L'importance de la gestion des ressources hydriques ne cesse de croître en raison de la pression exercée par l'augmentation de la population, les changements climatiques et les besoins croissants dans divers secteurs. Dans ce contexte, notre travail se concentre sur la création d'un modèle de simulation stratégique de la politique de l'eau à l'horizon 2060, en utilisant le logiciel WEAP. Ce modèle a été conçu pour offrir une vue d'ensemble détaillée et dynamique des ressources en eau, en simulant non seulement les ressources existantes mais aussi la demande, la qualité de l'eau, ainsi que les impacts du changement climatique sur un bassin versant spécifique.

Les résultats de notre simulation révèlent une situation préoccupante concernant la couverture actuelle des besoins en eau potable (AEP). Actuellement, le taux de couverture n'atteint même pas 50%, ce qui indique un déficit significatif dans la satisfaction des besoins fondamentaux de la population. De même, le secteur agricole, qui joue un rôle crucial dans la sécurité alimentaire, ne parvient à satisfaire que 55% de la demande en eau, et cette situation risque de se détériorer davantage dans les années à venir. Les prévisions indiquent que, en raison des ressources limitées et de l'augmentation continue de la demande, ces taux de couverture pourraient diminuer encore plus.

Néanmoins, il existe des solutions pour atténuer ces problèmes. L'intégration du dessalement de l'eau de mer dans la gestion des ressources hydriques pourrait offrir une voie prometteuse pour améliorer la situation. En effet, le dessalement pourrait non seulement augmenter la disponibilité de l'eau potable mais également répondre aux besoins croissants dans des secteurs tels que le tourisme. Actuellement, la satisfaction de la demande en eau dans le secteur du tourisme pourrait atteindre jusqu'à 85% grâce à l'implémentation du dessalement. Cette approche pourrait également soulager la pression exercée sur les ressources en eau douce et contribuer à une gestion plus équilibrée des ressources disponibles.

Malgré ces solutions potentielles, la situation reste préoccupante, en particulier avec l'augmentation continue de la population, l'urbanisation rapide et les évolutions des pratiques agricoles. L'écart entre les ressources disponibles et les besoins en eau est susceptible de se creuser de manière significative dans les années à venir. Il devient donc impératif de mettre en œuvre des stratégies efficaces pour mobiliser des ressources non conventionnelles et améliorer la gestion de l'eau.

Dans cette optique, plusieurs mesures doivent être prioritaires. Le recyclage des eaux usées constitue une solution cruciale pour augmenter la disponibilité des ressources en eau tout en réduisant la pollution. La promotion des retenues collinaires, qui permettent de stocker l'eau de pluie et de la redistribuer de manière

## Conclusion générale

plus efficace, est également une approche prometteuse. En parallèle, la rationalisation de l'irrigation, en adoptant des techniques plus efficaces, pourra réduire le gaspillage d'eau et optimiser son utilisation dans le secteur agricole. Ces mesures, combinées à l'innovation technologique et à une meilleure gestion intégrée des ressources en eau, sont essentielles pour garantir une gestion durable et équitable des ressources hydriques.

En conclusion, la gestion des ressources en eau nécessite une approche intégrée et proactive pour faire face aux défis croissants. En adoptant des stratégies innovantes et en mobilisant des ressources non conventionnelles, nous pouvons espérer améliorer la couverture des besoins en eau et soutenir le développement durable dans les années à venir. Il est impératif que toutes les parties prenantes collaborent pour mettre en œuvre ces solutions et garantir une gestion efficace et durable des ressources en eau, essentielle pour le bien-être des générations futures.

## Références

---

- Adams, R. M., & Peck, D. E.**(2008). Effects of climate change on water resources. *Choices*, 23(1), 12-14.
- Andrianarivony A. (2016).**Modelisation hydrologique par weap pour une gestion intégrée des ressources en eau : cas du bassin versant de la lokho (nord-est de madagascar), 106p.
- Daifallah.T. (2017).**Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES) J. Bio.Env. Sci. Article publié en Avril23, 2017
- Diop, S., &Rekacewicz, P.**(2003). Atlas mondial de l'eau. Une pénurie annoncée. Autrement.
- Droogers, P., Terink, W., Hunink, J., Kauffman, J. H., & van Lynden, G. W. J.** (2011). Options de gestion de l'eau verte dans le bassin du Sebou, Maroc – Analyse avantages-coûts utilisant le modèle WEAP. Green Water Credits Report M2a. ISRIC – World Soil Information.
- Erhard C. A.,Margat. J. (1979).**Pollution and environment.Economic aspects in evaluating impact on environment. Bulletin du Bureau des Recherches Geologiques et Minieres. Section 1, Geologie de la France (France).
- Fabricius, C.** (2008). Situation Analysis of Ecosystem Services and Poverty Alleviation in Arid and Semi-arid Africa.The CEPISA Consortium.
- Floret, C., &Pontanier, R.** (1984). Aridité climatique, aridité édaphique. Bulletin de la Société Botanique de France, 131, Actualités Botanique 2/3/4, 265-275.
- FAO. (2009).** Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Gestion intégrée des ressources en eau pour l'adaptation au changement climatique dans les bassins fluviaux. Rapport technique de la FAO.
- Gupta, H. K.** (2002). A Review of Recent Studies of Triggered Earthquakes by Artificial Water Reservoirs with Special Emphasis on Earthquake Prediction.
- ICOLD.**(2011). International Commission on Large Dams.Dam Safety Guidelines.Link.
- ICOLD.**(2023). International Commission on Large Dams.Role of Dams in Sustainable Development.ICOLD Website.
- IHA.**(2018). International Hydropower Association Hydropower Sustainability Assessment Protocol.IHA Website.
- Messahel, M., Benhafid, M. S., &OuledHocine, C.** (2005).Efficience des systèmes d'irrigation en Algérie. In: Lamaddalena, N. (Ed.), Lebdi, F. (Ed.), Todorovic, M. (Ed.), &Bogliotti, C. (Ed.), *Irrigation Systems Performance*. Bari: CIHEAM.
- Middelkoop, H.** (2001). Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin.*Climatic Change*, 49, 105-128.
- McCully, P.** (1996). Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams.

## Références

- Mongi, H., Majule, A. E. and Lyimo, J.G.** (2010). Vulnerability and adaptation of rain-fed agriculture to climate change and variability in semi-arid Tanzania. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(6), 371-381.
- Organisation météorologique mondiale (OMN).** (2013). Zone semi-aride [archive]. Sur Eumetcal.
- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., Sparks, R. E., & Stromberg, J. C.** (1997). The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47(11), 769-784.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F.** (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated.
- Rapport du PNUD.** (2009). Problems of the water sector and climate-related impacts in Algeria
- Remini, B.** (2010). La problématique de l'eau en Algérie du nord. *Larhyss*, 08, 27-46.
- Remini, B.** (2005). L'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi- arides: exemples algériens. *Larhyss*, 04, 81-8
- Terra, M.** (2013). Les réalisations de l'Algérie dans le secteur de l'eau de 1962 à 2012. Ministère des ressources en eau, Algérie, 37p.
- TOUHARI, F.** (2006). Étude de la qualité des eaux superficielles et souterraines du Haut et Moyen Chélif. mémoire de magistère.
- U.S. Bureau of Reclamation.** (2005). Reservoir Operations Studies. Bureau of Reclamation Website.
- UNEP.** (2012). Gestion intégrée des ressources en eau pour le développement durable. Rapport sur l'état de l'environnement mondial de l'UNEP.
- WEAP User Guides.** (2015). Stockholm Environment Institute. Site web : [www.weap21.org](http://www.weap21.org).
- World Bank.** (2006). Water Management in Agriculture: Ten Years of World Bank Assistance, 1994-2004. Link.
- World Commission on Dams.** (2000). Dams and Development: A New Framework for Decision-Making. Earthscan.