



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 زيان عاشور-الجلفة
Université Ziane Achour-Djelfa
كلية علوم الطبيعة و الحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم علوم الارض و الكون
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

Mémoire de fin d'étude

En Vue De l'obtention Du Diplôme De Master En Géographie et Aménagement
du Territoire
Option : Villes, Dynamiques Spatiales et Gestion

Thème

**Ressources en eau et leurs impacts sur le
développement des agglomérations du bassin
versant de la Tafna (Nord Ouest Algérien).**

Présenté par : NOUARI IHCEN

Promoteur : M. HAIED NADJIB.....MCA UNIVERSITE Z.A. DJELFA

DEVANT LE JURY :

Président : M. UNIVERSITE Z.A. DJELFA
Examineurs : M. UNIVERSITE Z.A. DJELFA
M. UNIVERSITE Z.A. DJELFA

Année Universitaire 2021/2022

الملخص :

يغطي الحوض التجميحي التافنة معظم تجمعات ولاية تلمسان و ينتمي إلى المنطقة الهيدروغرافية الوهرانية-الشاطئ الشرقي ، و يتميز بمناخ جاف. تتنوع مياه هذه المنطقة ما بين السطحية والجوفية و تتميز بشبكة هيدروغرافية كثيفة و العديد من طبقات المياه الجوفية ، حيث تقدر الموارد المتجددة بنحو 415 مليون متر مكعب في السنة. تعتبر تلمسان مركزاً حضرياً و مع التزايد السكاني السريع و ارتفاع وتيرة التطور الصناعي مما زاد الضغط على الموارد الطبيعية ، وفي المواجهة بين هذه الأخيرة و الاحتياجات المتزايدة من سنة لأخرى ظهرت الندرة سنة 2054 و يمكن أن تتفاقم بسبب تأثير الجفاف و السياحة لكن المياه الغير التقليدية (المياه المعالجة و المحلاة) تعتبر حلاً جيداً لإدارة المياه حيث يمكن أن تؤخر هذه الندرة.

الكلمات المفتاحية : الحوض التجميحي التافنة ، تلمسان ، موارد مائية متجددة ، احتياجات مائية ، المياه الغير تقليدية ، إدارة المياه .

Abstract:

The Tafna watershed covers most of Tlemcen agglomerations and belongs to the Oran-Eastern shore hydrographic region, and characterized by an arid climate. Containing surface and groundwater this region is characterized by a dense hydrographic network and many aquifers, where the renewable resources are estimated at 415 million cubic meters per year. Tlemcen is an urban center and with the rapid population growth and the high pace of industrial development, which increased pressure on natural resources, and in the confrontation between the latter and the increasing needs from year to year, scarcity appeared in the year 2054 and could be exacerbated by the impact of drought and tourism, but unconventional water (Treated and desalinated water) is a good water management solution as it can delay this scarcity.

Key words: The Tafna Watershed, Tlemcen, Renewable water resources, Water needs, Unconventional water, Water management.

Résumé :

Le bassin versant de la Tafna couvre la plupart des agglomérations de Wilaya de Tlemcen et il appartient à la région hydrographique Oranie-Chott Chergui, et caractérisé par un climat aride. Contenant des eaux superficielles et souterraines, cette région est caractérisée par un réseau hydrographique dense et de nombreux nappes aquifères, où les ressources renouvelables sont estimées à 415 millions de mètres cubes par an. Tlemcen est un centre urbain et avec la croissance rapide de la population et le rythme élevé du développement industriel, qui ont accru la pression sur les ressources naturelles, la confrontation entre ces dernières et les besoins croissants d'une année à l'autre, la rareté apparue en l'an 2054 et peut être aggravée à cause de la sécheresse et le tourisme, cependant l'eau non-conventionnelle (eau traitée et dessalée) est considérée comme une bonne solution pour la gestion de l'eau, parce qu'elle peut reportée cette rareté.

Mot clés : le bassin versant de Tafna, Tlemcen, Ressources en eau renouvelables, Besoins en eau, Eau non-conventionnelle, Gestion de l'eau.


REMERCIEMENT

Avant toute chose je tiens à remercier Dieu le tout puissant pour m'avoir donné la force et la patience.

*Je tiens à remercier toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce présent mémoire et en particulier un très grand remerciement à mon promoteur **Dr. HAIED Nadjib**, pour ses directives et conseils judicieux.*

J'adresse également mes sincères remerciements à Monsieur FOUFOU Atif et aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail.

De vifs remerciements à tous les enseignants et mes collègues du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.

 M^{lle}. NOUARI Ihsen .

DEDICACES :

Louange à Allah le puissant, prière et salut sur le prophète Mohamed que le salut sur lui.

Je dédie ce travail :

A mes parents ...:

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point de vous remercier comme il se doit. Votre affection me couvre, votre bienveillance me guide et votre présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles ; je vous aime....

A mes sœurs Zineb, Yousra, Kouloud et Céline .

A mes frères ,Amine et Mohamed.

A mes chères amies, Lidia, Manel, Amira, Mimi et Wissem.

Votre soutien sans réserve et vos encouragements m'ont permis d'affronter beaucoup d'épreuves. Ce travail est le votre. A vous toute ma reconnaissance.

A toute la famille NOUARI et DELMADJI.

A tous mes enseignants qui m'ont enseigné du primaire à l'université.

A mes camarades de promotion, pour tout ce que nous avons partagé et échangé ensemble durant ces cinq petites années.

✍ NOUARI Ihcen.

SOMMAIRE

Résumé.

Remerciement.

Dédicace.

Sommaire.

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Liste des abréviations et des paramètres.

Introduction générale..... 01

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.

I.1. Généralités sur le bassin versant de la Tafna	03
I.2 Situation et géographie du bassin	03
I. 2. 1 Délimitation	03
I. 2. 2 Les sous-bassins	04
I. 2. 3 Géographie du bassin	05
I. 3 Sol et végétation	06
I. 4 Lithostratigraphie	07
I. 4. 1 Primaire	07
I. 4. 2 Secondaire	09
I. 4. 3 Tertiaire	09
I. 4. 4 Plio-Quaternaire	11
I. 5 Conclusion	11

Chapitre II : Hydroclimatologie.

II.1. Introduction.....	12
II. 2. Caractérisation du climat	12
II.2.1. Diagramme ombrothermique.....	12
II. 2. 2. Climagramme de Louis Emberger	13
II. 2. 3. Calcul de l'indice d'aridité de De Martonne	14
II. 3. Les facteurs climatiques	16
II. 3. 1. Les précipitations	16
II. 3. 1. 1. Les précipitations moyennes mensuelles.....	16
II. 3. 1. 2. Répartition saisonnière des précipitations.....	17
II. 3. 1. 3. Les précipitations moyennes annuelles	17
II. 3. 2. La Température	18
II. 3. 2. 1. La température moyenne mensuelle	18
II. 4. Estimation des paramètres du bilan hydrique	19
II. 4. 1. Définition de l'évapotranspiration.....	20
II. 4. 2. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	20

II. 4. 3. Interprétation du bilan hydrique	21
II. 5. Estimation de la lame d'eau écoulée	22
II.5. 1. Le ruissellement.....	22
II.5.2 Infiltration efficace.....	24
II.6. Hydrologie.....	24
II.6.1. Caractères physiographiques	25
II.6.2. Réseau hydrographique	26
II.6.3 Hydrologie	27
II. 6. 3. 1 Ressources en eaux superficielles	27
II. 6. 3. 2 Ressources en eaux souterraines	28
II.7. conclusion.....	28

Chapitre III : Matériels et méthodes.

III.1 Approche méthodique	29
III.1.1 Recherche bibliographie	29
III.1.2 Analyse des informations collectées	29
III.2 Données de base	30
III.2.1 Population	30
III.2.2 Agriculture	30
III.2.3 Industrie	30
III.4. 4. Calcul des besoins en eau de la wilaya de Tlemcen.....	31

Chapitre IV : Gestion des ressources en eau.

IV.1. Introduction.....	32
IV. 2. Diagnostique quantitatif des ressources en eau.....	32
IV. 2. 1. Les potentialités hydriques.....	32
IV. 2. 1. 1. Le potentiel hydrique superficiel.....	32
IV. 2. 1. 2. Le potentiel hydrique souterrain.....	32
IV. 2. 2. Mobilisation des ressources en eaux.....	33
IV.3. Calcul des besoins en eau.....	33
IV.3.1 L'alimentation en eau potable (AEP).....	33
IV.3.2. L'alimentation en eau de l'agriculture (AEA).....	35
IV.3.2.1. Le périmètre irrigué.....	35
IV.3.2.2. Le cheptel.....	35
IV.3.2.3 Les besoins et l'alimentation en eau de l'agriculture	35
IV.3.2.3.1 Les besoins en eau de l'irrigation	35
IV.3.2.3.2 Les besoins en eau du cheptel	37
IV.3.3 L'alimentation en eau industrielle (AEI).....	38
IV.3.3.1 Les besoins futurs en eau industrielle	39
IV.3.4 Les besoins en eaux globales dans le bassin versant de la Tafna	40
IV.4 La confrontation "Besoins/ Ressources" en eaux pour les agglomérations du bassin versant des Côtiers Oranaisaux différents horizons (2008- 2060).....	41
IV.5 Conclusion	56
Conclusion générale.....	57
Références bibliographique.....	59

Liste des Tableaux.

Tableau 1 :	Sous bassins versants de la Tafna (Chaib et Tani 2019).....	05
Tableau 2 :	Caractéristiques de la station.....	12
Tableau 3 :	Paramètres du climagramme d'Emberger.....	13
Tableau 4 :	Les précipitations moyennes mensuelles (mm).....	16
Tableau 5 :	Variation saisonnière des précipitations aux stations (2009-2021).....	17
Tableau 6 :	Précipitations moyennes annuelles et Coefficients pluviométriques de la station de Tlemcen (2009-2021).....	18
Tableau 7 :	Températures moyennes mensuelles pour la période (2009-2019).....	18
Tableau 8 :	Températures moyen annuelles(C°).....	19
Tableau 9 :	ETR annuelle selon la méthode de Turc.....	21
Tableau 10 :	ETR selon la méthode de Coutagne.....	21
Tableau 11 :	Bilan hydrique à la station de Tlemcen pour la période (2009-2019).....	22
Tableau 12 :	Ruissellement selon la formule de Tixerant-Berckaloff	22
Tableau 13 :	Les valeurs de l'infiltration efficace.....	24
Tableau 14 :	Caractéristiques de forme des unités hydrologiques de la Tafna (Baba Hamed, 2001., Bouanani, 2004).....	26
Tableau 15 :	Densité de drainage, altitudes caractéristiques et état des sous bassins de la Tafna (Baba Hamed, 2001., Bouanani, 2004., Bensaid &Belkadi, 2015 in Baba Hamed K. & Bouanani A., 2016).....	26
Tableau 16 :	Collecte des données à partir des différentes institutions	29
Tableau 17 :	Evolution de la population dans la zone d'étude.....	30
Tableau 18 :	Tableau récapitulatif des données exploitées.....	31
Tableau 19 :	les barrages dans bassin versant de la Tafna.....	32
Tableau 20 :	Les nappes existantes dans dans le bassin versant de la Tafna.....	33
Tableau 21 :	Potentiel hydrique global dans le bassin versant de la Tafna.....	33
Tableau 22 :	Perspective de l'évolution de la population et de la demande en eau potable dans le bassin versant de la Tafna (2008-2060).....	34
Tableau 23 :	Présentation du périmètre Agricole Irrigué dans le bassin versant de la Tafna	35
Tableau 24 :	Nombre du cheptel dans le bassin versant de la Tafna	35
Tableau 25 :	Evolution dans le temps des besoins en eau de l'irrigation dans le bassin versant de la Tafna (2008-2060).....	36
Tableau 26 :	Evolution dans le temps des besoins en eau pour le cheptel dans le bassin versant de la Tafna (2008-2060).....	37
Tableau 27 :	Evolution dans le temps des besoins en eau pour l'agriculture dans le bassin versant de la Tafna (2008- 2060).....	38
Tableau 28 :	Evolution dans le temps des besoins en eau pour l'industrie dans le bassin versant de la Tafna (2008- 2060).....	39
Tableau 29 :	Besoins en eaux globaux des déferents secteurs usagers dans le bassin versant de la Tafna (2008-2060).....	40
Tableau 30 :	Besoins en eau globaux et indices de consommation des différents secteurs usagers dans le bassin versant de la Tafna (2008-2060).....	42

Liste des abréviations

°C	Degré Celsius.
%	Pourcentage
a	Taux d'accroissement démographique
AEA	Alimentation en eau de l'agriculture.
AEI	Alimentation en eau de l'industrie.
AEP	Alimentation en eau potable.
ANBT	Agence National des Barrages et Transferts.
ANRH	Agence Nationale de Ressources en Eau.
BV	Bassin Versant
CMIP	Projet d'Intercomparaison des Modèles Couplés
CP	Coefficient Pluviométrique.
DA	Déficit Agricole
DPAT	Direction de Planification et Aménagement du Territoire
E	Est
ETP	Evapotranspiration potentielle
ETR	Evapotranspiration Réelle
GCM	Global Climate Models (Modèles de Circulation Générale)
ha	Hectare.
hab	Habitant.
Hm³/an	Hectomètre cube par an.
Ie	Infiltration efficace
Km	Kilomètre
Km²	Kilomètre carré.
l/j/hab	Litre par jours et par habitant.
l/j/tête	Litre par jours et par tête.
m³	Mètre cube.
m³/an	Mètre cube par an.
mm	Millimètre.
mm/an	Millimètre par an.
MADR	Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural
N	Nord
NE	Nord Est
ONM	Office Nationale de Météorologie.
ONS	Office Nationale de Statistique.
P	Précipitation
R	Ruissellement
R^{ces}	Ressources
RFU	Réserve Facilement Utilisable.
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SAT	Surface Agricole Totale.
SAU	Surface Agricole Utilisée.
SBV	Sous Bassin Versant.
STEP	Station d'Épuration.

LISTE DES ABREVIATIONS

T	Température
T_m	Température minimale
TM	Température Maximale
WCRP	World Climate Research Project (Projet de Recherche sur le Climat Mondial)

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale :

« Nous n'avons pas hérité de la terre des ancêtres, mais nous l'avons empruntée aux petits-enfants, elle doit donc être préservée et restituée saine et sauve aux générations futures ». Slogan du sommet de la conférence de la terre 1992.

L'eau c'est la vie sur la terre, elle est une ressource naturelle très demandée, précieuse qui n'est pas toujours renouvelable et sensible à la dégradation et au gaspillage. La stratégie de tout développement, d'un pays et/ou d'une région, devrait reposer en premier lieu sur « La maîtrise des ressources en eau ». Celles-ci devraient être gérées rationnellement dans un but de développement socio-économique durable (Alkanej Y., 2008).

Actuellement, l'Algérie fait partie des pays à déficit hydrique sévère et la plupart de ses terres 87% sont classées en zones désertique ainsi que le territoire algérien caractérisé par des ressources en eau limitées, irréguliers et fragiles malgré leur diversité. Elle connaît également une demande croissante pour les besoins de développement et la nécessité d'élever le niveau de vie de la population.

Parmi les régions qui souffrent, on retrouve le bassin hydrographique de Tafna qui se situe au Nord-Ouest de l'Algérie, s'étendant sur la totalité de la wilaya du Tlemcen sur une superficie de 7245 km² ainsi qu'une partie dans le Maroc. Ce bassin versant comprend cinq grands barrages fonctionnels (Béni-Bahdel, Meffrouche, El Izdihar à Sidi Abdelli, Hammam Boughrara et Sikkak) et il porte le code 16 parmi les 17 bassins de l'Algérie et appartient à la région hydro Oranie-chott chergui (Baba hamed K & Bouanani A., 2016).

Il est dangereux que la crise de l'eau s'aggrave et que la demande en eau augmente, si bien que la situation se transforme en frein au développement dans le cas où la gestion de l'eau n'est pas maîtrisée ; pertes, gaspillage, pollution... Par conséquent, sa bonne utilisation et sa protection relèvent de la responsabilité de chacun.

L'objectif principal de ce travail est l'étude de la question de l'offre et de la demande en eau dans le bassin versant de Tafna et la proposition des scénarios de gestion des ressources disponibles et de comblement des déficits futurs. A cet effet, nous sommes fixés la problématique de recherches suivantes :

Quel est l'impact des ressources en eau sur le développement des agglomérations de bassin versant de Tafna ?

Cette question principale peut être suivie par un ensemble de questions secondaires :

} Quels sont les caractéristiques du milieu physique de bassin versant de Tafna ?

} Quel est le volume des ressources hydriques alimentant les agglomérations du bassin versant de la Tafna ?

} Est-ce que les ressources sont suffisantes pour répondre aux besoins et au développement des agglomérations de ce bassin?

Pour résoudre cette problématique nous avons donné quatre directions à notre réflexion en commençant par une introduction générale suivie par une présentation générale du bassin versant de la Tafna faisant l'objet du premier chapitre. Cette présentation donnera suite à une étude hydroclimatologique qui s'étendra au second chapitre de notre travail. Dans le troisième chapitre nous passerons à la méthode de recherche utilisée. Le quatrième chapitre est consacré à la détermination des différents besoins et leur confrontation avec les ressources existantes et un essai de gestion des ressources en eau sur la base de l'impact de la sécheresse future sur le bilan hydrique ainsi que l'apport des ressources en eau non-conventionnelles ainsi que l'effet du tourisme. A la fin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I
PRESENTATION DE LA
ZONE D'ETUDE

I.1 Généralités sur le bassin versant de la Tafna :

Le bassin versant de Tafna se situe au Nord-Ouest de l'Algérie. Il épouse approximativement les limites administratives de la wilaya de Tlemcen regroupant 37 communes. Il porte le code 16 parmi les 17 bassins versants de l'Algérie et appartient à la région hydrographique Oranie-Chott Chergui (Mahammedi, 2017).

I.2 Situation et géographie du bassin :

Le bassin versant de la Tafna s'étant en grande partie dans la wilaya de Tlemcen ainsi qu'une partie dans le Maroc. La Tafna prend sa source au Djebel Merchiche, dans les Monts de Tlemcen près de Sebdou, à 1 600 mètres d'altitude. S'étire dans la wilaya de Tlemcen. Après avoir franchi des gorges sinueuses, il pénètre dans la wilaya d'AïnTémouchent et traverse la cité antique de Siga et se jette dans la Méditerranée en face de l'île de Rachgoun.

Globalement, le bassin versant peut être subdivisé en trois grandes parties :

- **Partie orientale** : avec comme principaux affluents l'oued Isser et l'oued Sikkak.
- **Partie occidentale** : comprenant la Haute Tafna : oued Sebdou, oued Khemis et oued Mouilah.
- **Partie septentrionale** : qui débute pratiquement du village Tafna et s'étend jusqu'à la plage de Rachgoune, embouchure de la Tafna sur la mer. Les oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun sont les principaux affluents de cette partie.

Les plaines du bassin de la Tafna s'étendent aux pieds des monts de Tlemcen en avant des massifs de Traras et du Tessala, elles sont entourées de massifs aux reliefs élevés dessinant un édifice régulier formé essentiellement de terrains mésozoïques et cénozoïques. Les monts des Traras au Nord-Ouest dressent une barrière entre le bassin et la mer, ils correspondent à une série de crêtes de direction Nord-Est – Sud-Ouest culminant à 1136 m au djebel Fillaoucène (Tadlaoui S., 2016).

I. 2. 1 Délimitation :

Notre bassin versant de la Tafna est délimité comme suit :

- Nord-Ouest : commune de Bab el Assa, Djebala, Nedrouma, Beni Khelad et Honaine ;
- Nord : la mer Méditerranée ;
- Nord-Est : wilaya d'Ain Témouchent ;
- Sud : commune de Bouhi, El Gor, Sidi Djilali, El Aricha ;
- Ouest : le Maroc ;
- Est : wilaya de Sidi Bel Abbes, commune d'Ain Tallout.

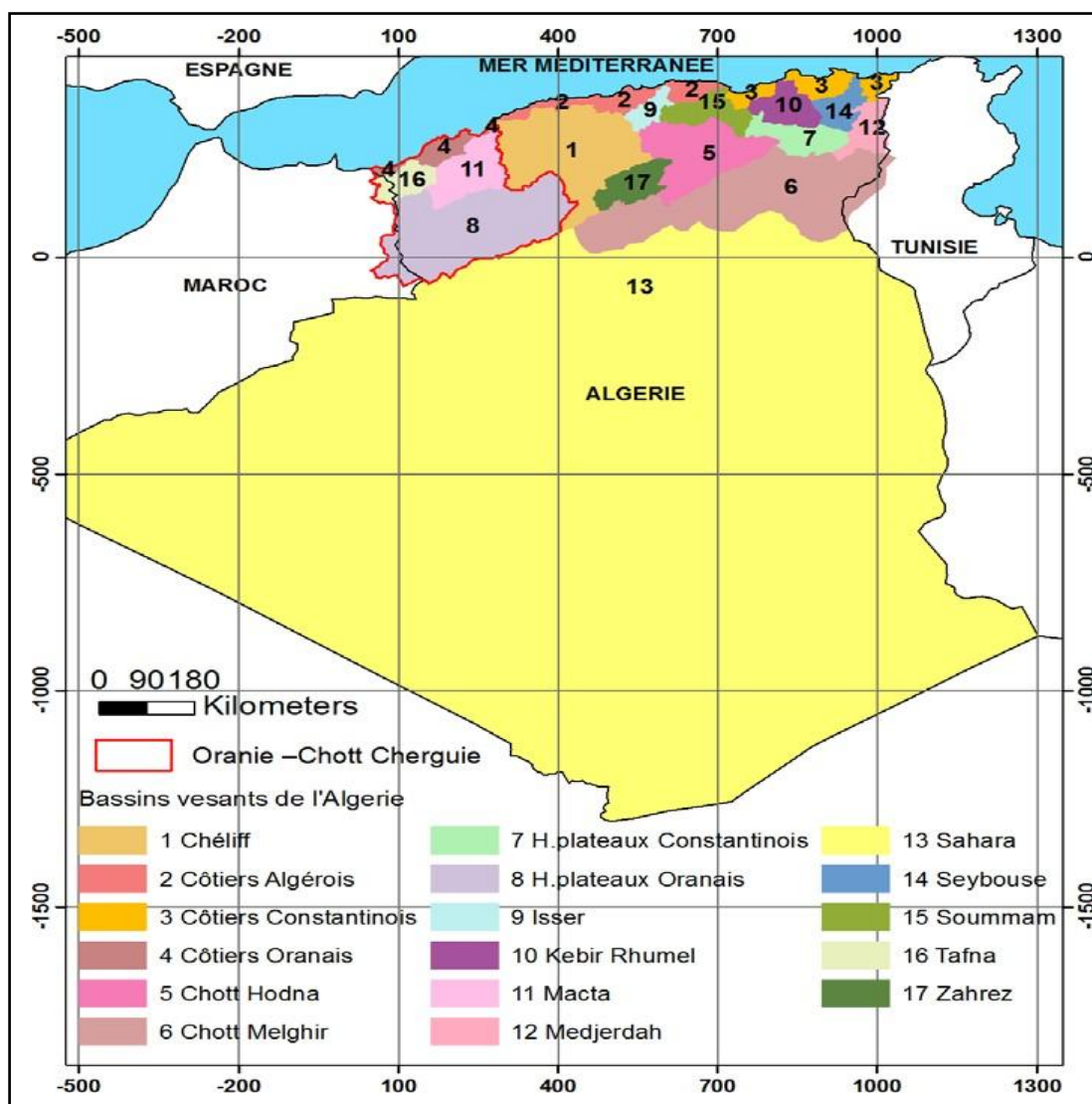


Figure 1 : Situation géographique du bassin versant de la Tafna (Benmoussat, 2011).

I. 2. 2 Les sous-bassins :

Le bassin de la Tafna est constitué de 08 sous bassins, dont deux se trouvent en amont dans le territoire marocain (figure 2) (Benmoussat, 2011). Chaque sous bassin versant porte un numéro (Tableau 1) :

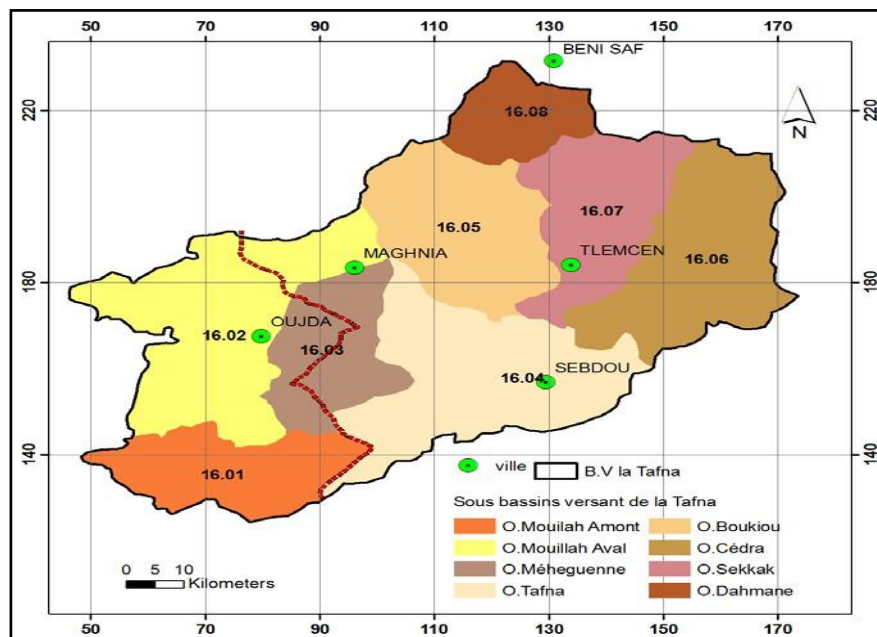


Figure 2 : Sous-bassins de la Tafna (Benmoussat, 2011).

Tableau 1 : Sous bassins versants de la Tafna (Chaib et Tani 2019).

Code du sous-bassin	Nom du sous-bassin	Oueds	Superficie Km ²
1601	Mouilah Amont	Mouilah	745
1602	Mouilah Aval	Mouilah	1228
1603	Bouhrara	Mehaguène	665
1604	Tafna Amont	Tafna	1294
1605	Tafna Boukiou	Tafna Boukiou	978
1606	Isser Cedra	Isser Cedra	1118
1607	Isser Sikkak	Isser Sikkak	825
1608	Tafna Maritime	Tafna	392
Total	08	07	7 245

I. 2. 3 Géographie du bassin :

Le bassin versant de Tafna est diversifié dans sa géographie. On distingue les domaines suivants pour la partie située dans la wilaya de Tlemcen (figure 3) :

- **Les monts des Traras** : C'est une chaîne montagneuse côtière de 1250 Km² située au Nord-Ouest de la Wilaya de Tlemcen. Son altitude moyenne varie de 500 à 1000 m, culminant à 1081 m au niveau de djebel Fillaoucene.
- **Les monts de Sebaa Chioukh** : C'est une chaîne montagneuse de 250 Km² situé au Nord-Est de la Wilaya de Tlemcen d'une altitude moyenne comprise entre 600 et 800 m.

Cette chaîne est soumise aux influences du climat semi-aride qui accentue la menace d'érosion.

➤ **Les monts de Tlemcen** : C'est une chaîne montagneuse de 3000 Km² située au Sud de la wilaya de Tlemcen. Elle s'étend à l'Ouest jusqu'au royaume marocain et à l'Est jusqu'au wilaya de Sidi Bel Abbas. Son altitude moyenne varie entre 1200 et 1500 m culminant à 1843 m à Djebel Tenouchfi. Elle est relativement bien arrosée avec des précipitations variant de 500 à 700 mm/an (Benmoussat, 2011).

➤ **Les plaines et plateaux intérieurs** : Qui se situent au centre du bassin versant de la Tafna entre les zones montagneuses. Ils constituent la ressource agricole la plus importante de la région. On distingue :

- La plaine d'Hennaya limitée au Sud par les piémonts Nord des monts de Tlemcen et au Nord par le plateau de Zenata.
- Le plateau de Zenata– Ouled Riah situé au Nord-Ouest de la plaine d'Hennaya.
- Le plateau Sidi Abdelli–Ain Nehala situé sur la rive droite de l'oued Isser au Nord d'Ouled Mimoun.

➤ **La plaine de Maghnia** : Limitée au Nord par les piémonts Sud des Traras, au Sud par les piémonts Nord des monts de Tlemcen et à l'Ouest par la plaine Angad (Maroc).

➤ **Le grand Tlemcen** : regroupe les communes de Tlemcen, Mansourah, Chetouane où l'urbanisation occupe un espace important avec une forte concentration de population (Benmoussat, 2011).

I. 3 Sol et végétation :

Les sols du bassin de la Tafna sont composés de quatre grands ensembles (figure 4) :

- Les terres d'alluvions qui recouvrent les basses terrasses Mouilah et les lits majeurs des oueds ;
- Les terres caillouteuses aux piémonts des monts de Tlemcen et des Traras ;
- Les terres rouges à encroûtement, localisées dans les plaines de Maghnia et Ouled Riah ;
- Les terres marneuses, couvrant une grande partie de la région de Tlemcen.

On remarque que les marnes et les alluvions sont dominantes, elles représentent plus de 80% du bassin (Baba Hamed et Bouanani, 2016).

La végétation et le type de sol sont intimement liés et leurs actions combinées influencent singulièrement l'écoulement en surface. Le couvert végétal retient, selon sa densité, sa nature et l'importance des précipitations, une proportion variable de l'eau atmosphérique. Cette eau d'interception est en partie soustraite à l'écoulement.

Sur le plan spatial, 61% du potentiel forestier couvre les massifs montagneux : monts de Tlemcen (52%) et monts des Traras (9%). La steppe abrite 33% de la couverture forestière, le reste (6%) et réparti entre les plaines agricoles de la wilaya. Nous remarquons clairement en observant ces chiffres que les forêts ou plutôt les formations forestières se trouvent en grande partie montagneuse du bassin de la Tafna et en particulier sur les monts de Tlemcen, ceci

semble être en liaison avec l'abondance des précipitations dans ces zones (Badraoui et Tiar, 2019).

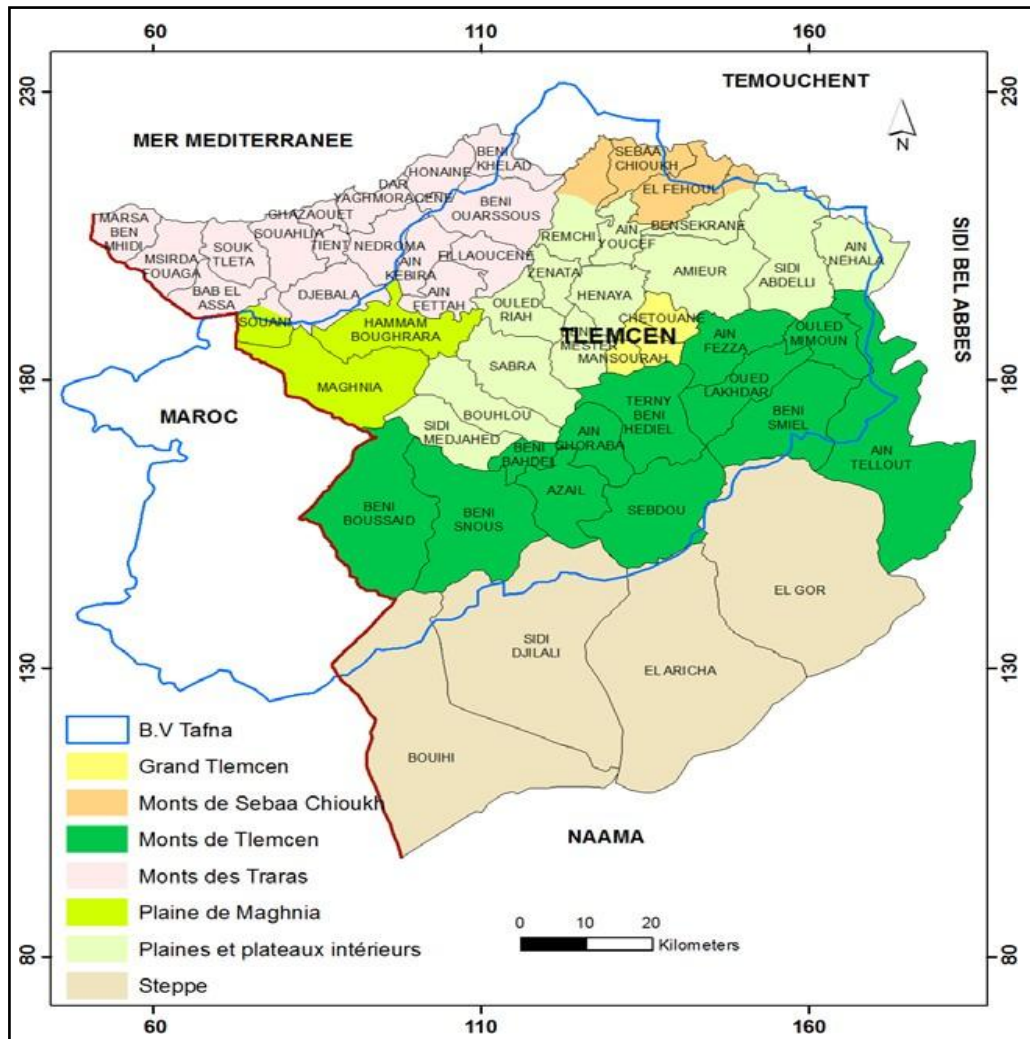


Figure 3 : Cadre géographique du bassin de la Tafna (Benmoussat, 2011).

I. 4 Lithostratigraphie :

Notre bassin versant se caractérise par une géologie très complexe et qualifiée de grande tectonique. L'évolution des terrains rencontrés va du Primaire au Plio-Quaternaire (figure 6).

I. 4. 1 Primaire :

Il est représenté par des formations schisto-quartziques et du granite.

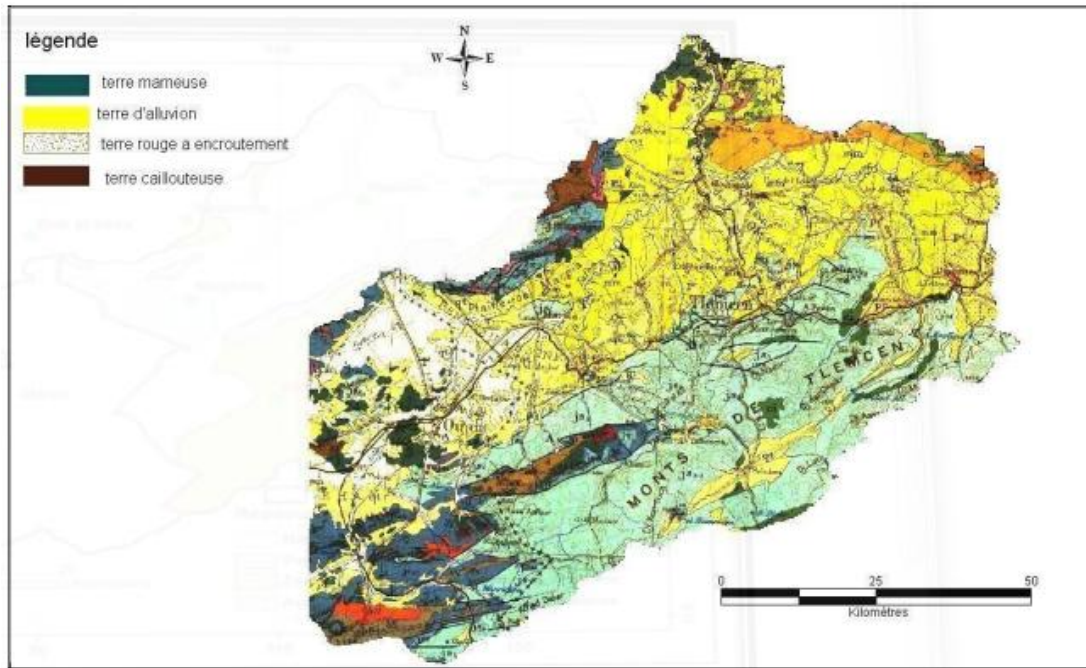
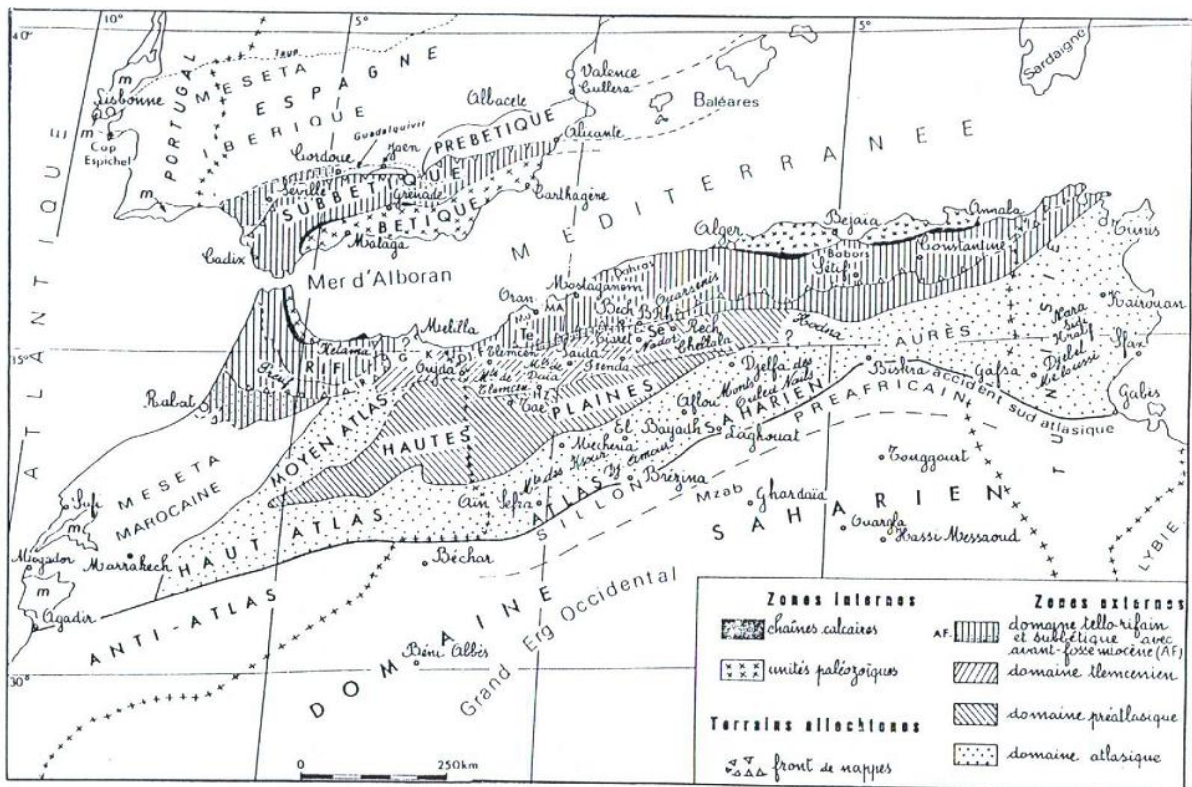


Figure 4 : Types de sols dans la Tafna (Baba Hamed et Bouanani, 2016).



Bech. Bechtout ; B Rh. Bou Rheddou ; Dj. F. Djebel Fillaoussène ; G. Chaîne du Gareb ; HZ. Hassi Zerga ; IR. Zone intrarifaine ; K. Kebbana ; MA. Monts d'Arzew ; Mu. Djebel Murdjado ; Rech. Djebel Recheiga ; Tae. Djebel Taerziza ; Te. Monts du Tessala ; m. Mesozoïque du Portugal et du Maroc atlantique comportant du Jurassique supérieur et du Crétacé basal.

Figure 5 : Schéma structurale de la chaîne alpine de la Méditerranée occidentale (Benest, 1985).

I. 4. 2 Secondaire :

Occupant une grande partie du bassin versant et forme l'essentiel des monts de Tlemcen. La série lithostratigraphique schématisée par le log de la figure 6 est représentée par :

- **le Trias** : constitué par des argiles plus ou moins dolomitiques et gypseuses et des marnes bariolées fortement teintées ;
- **le Jurassique** : représenté par (i) les argiles de Saida (des dépôts argileux et marneux, parfois schisteux à passées gréseuses), (ii) les grès de Boumediene (grès à ciment calcaire avec des passées argileuses), (iii) les calcaires de Zarifet (bancs calcaires séparés par de minces intercalations de calcaires marneux écailléux, parfois quelque peu fossilifères), (iv) les dolomies de Tlemcen (dolomies cristallines grises, avec de nombreuses cavités remplies de calcite), (v) les marno-calcaires de Raouraï (des marnes grises, blanchâtres en surface, intercalées de nombreux lits et bancs de calcaires marneux durs), (vi) les calcaires de Lato (des calcaires massifs en bancs épais), (vii) les dolomies de Terny (des dolomies parfois vacuolaires avec de nombreuses stratifications obliques et un aspect très massif), (viii) les marno-calcaires de Hariga (une alternance de marnes et de Calcaires) et (ix) les marno-calcaires d'Ouled Mimoun (couches de passage du Jurassique au Crétacé limitée à sa base par les "grès de Merchich") ;
- **le Crétacé** : représenté par la série du Crétacé inférieur contenant du bas vers le haut par : (i) Les argiles de Lamoricière (Berriasien-Valanginien) (formation argilo-gréseuse nettement calcaire au sommet) et (ii) les grès de Berthelot (Hauterivien) (des bancs de dolomies pulvérulentes) ;

I. 4. 3 Tertiaire :

a) Eocène : Représenté par un ensemble gréseux avec passage de bancs de poudingues, de grès siliceux, jaunes à rougeâtres, assez friables à ciment argileux alternant avec des marnes argileuses verdâtres. L'Eocène est surmonté par des poudingues, des grès plus ou moins grossiers et des marnes rouges ou verdâtres très ferrugineux à la base: c'est le terrain rouge de la basse Tafna, attribué à l'Oligocène par L. Gentil, 1902 pouvant correspondre à une émergence momentanée du bassin.

b) Miocène :

i) Miocène inférieur : "Burdigalien", débute par un niveau de poudingues très durs, à blocs bien roulés hétérométriques et polygéniques, formés d'éléments calcaires dolomitiques à ciment calcaréogréseux, très résistants pouvant atteindre 20 m de puissance. La partie supérieure est constituée par des argiles marneuses de teinte verdâtre, au sein desquelles s'intercalent des bancs décimétriques de grès ferrugineux friables formant un ensemble d'une épaisseur pouvant dépasser 100 m.

ii) **Miocène moyen** : "Serravallien", repose souvent en discordance sur le miocène inférieur, déformé et partiellement érodé. Il est constitué essentiellement par une épaisse série d'argiles marneuses grises ou bleutées, qui par altération deviennent ocre. Au sein de cette série, s'intercalent de nombreux bancs décimétriques de grès jaunes, plus fréquents au sommet de la série. La base du Serravallien, en particulier dans le bassin de la Tafna, est marquée par un niveau discontinu de poudingues relativement peu consolidés à ciment argilo-gréseux.

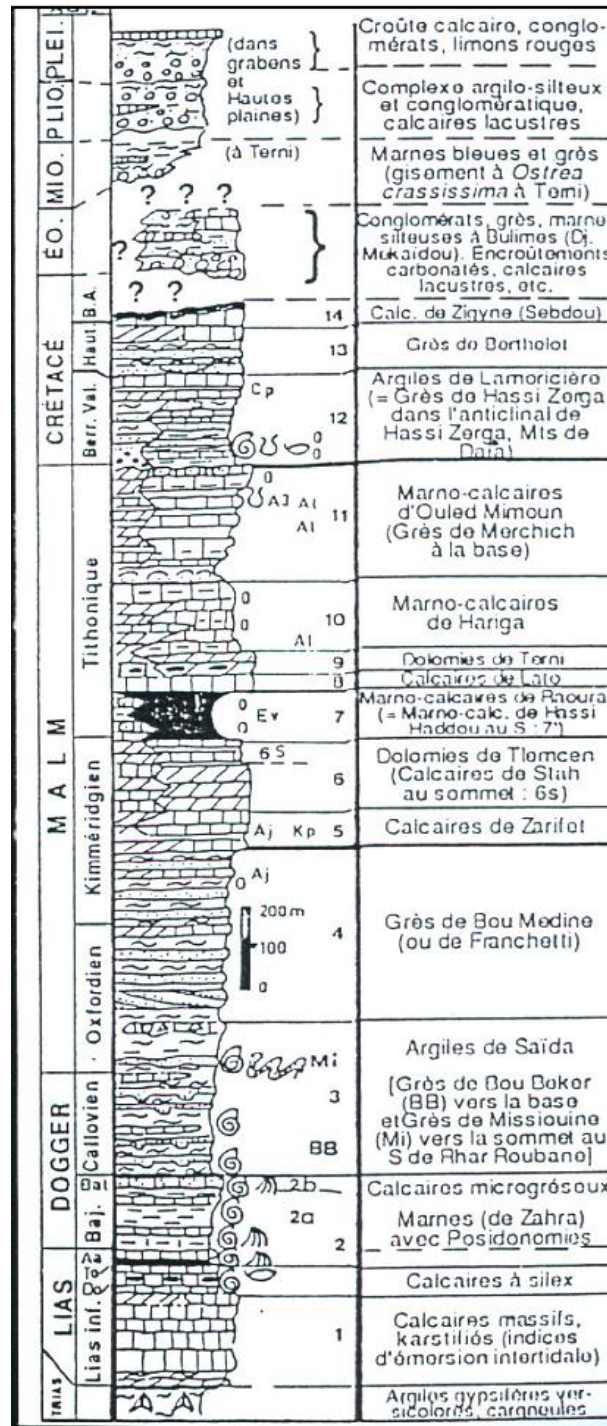


Figure 6 : Colonne stratigraphique des monts de Tlemcen jusqu'aux hautes plaines (Benest et Bensalah, 1999).

iii) Miocène supérieur : "Tortonien", formé par des dépôts de grès durs, jaunes d'or ou citron, peu consolidés atteignant 20 à 30 m d'épaisseur. Ces grès s'appuient sur les marnes sérravalliennes ou directement sur le Jurassique comme.

I. 4. 4 Plio-Quaternaire :

Représenté par des sédiments continentaux d'âges comparables, bien que de natures variables. Il s'agit d'une série complexe de dépôts discontinus formés d'éléments hétérométriques et hétérogènes. On y rencontre les faciès suivants :

- Les travertins villafranchiens situés en bordure des monts de Tlemcen, qui sont représentés par des travertins fortement consolidés et des calcaires lacustres ;
- Le complexe de sédiments plio-villafranchiens : la bordure des massifs secondaires est soulignée par des éboulis de piémont plus ou moins encroûtés et remaniés, d'épaisseur très variable mais toujours assez faible ;
- Des marnes avec peu ou pas de galets, plus ou moins tufeuses, parfois très épaisses ;
- Des anciennes alluvions allant des marnes alluvionnaires verdâtres aux galets en passant par les limons et les graviers ;
- Les limons, sables et graviers récents. Les limons sont jaunes en général avec des couches rougeâtres et à leur base se trouvent les galets en lits ;
- Quelques lambeaux de basaltes inter stratifiés, témoins d'une activité volcanique.

I. 5 Conclusion :

Le bassin versant de Tafna situé au Nord-Ouest de l'Algérie. Il comprend 37 communes de la wilaya de Tlemcen. Lithostratigraphiquement, la région d'étude est caractérisée par des formations d'âge allant du primaire jusqu'au Plio-quaternaire.

CHAPITRE II
HYDROCLIMATOLOGIE

II. 1 Introduction :

Afin de réaliser une étude hydroclimatologique, nous nous appuyons sur l'analyse des précipitations et des températures. Ces données nous permettent de déterminer le climat dominant, d'estimer les infiltrations et l'évaporation et de connaître les réserves d'eau.

Les données climatiques utilisées dans cette étude ont été collectées auprès de la station météorologique de Tlemcen sur une période de 12 ans d'observation.

Tableau 02 : Caractéristiques de la station

Stations	Altitude (m)	Coordonnées UTM		Période d'observation
		X	Y	
Tlemcen	247	120.610	198.389	2009-2021

Source : ONM, 2021.

II. 2 Caractérisation du climat :

II.2.1 Diagramme ombrothermique :

Il représente les variations mensuelles des températures et des précipitations. Il met en évidence les périodes sèches et humides.

Selon BAGNOULS et GAUSSEN (1953), un mois est considéré comme sec, si le total des précipitations (P) exprimées en millimètre est égal ou inférieur au double de la température moyenne (T) du mois, exprimée en degré centigrade ($P \leq 2T$).

D'après ces diagrammes représentés par les Figure 7 nous pouvons déduire deux périodes bien distinctes :

- Une saison sèche et chaude qui s'étale du mois d'Avril (19.21 °C) jusqu'à la fin du mois d'Octobre.
- Une saison humide qui s'étend du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril.

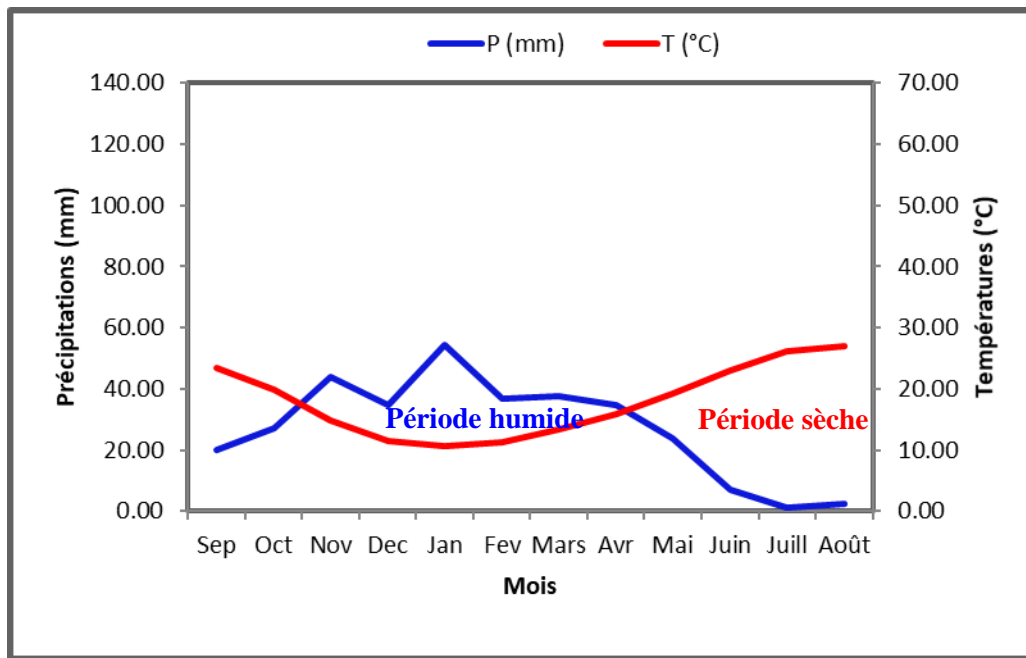


Figure 7 : Diagramme omrothermique de la station de Tlemcen (2009-2021).

II. 2. 2 Climagramme de Louis Emberger :

Pour déterminer les types de climat, L. Emberger a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q.

Ce dernier dépend des précipitations moyennes annuelles et des moyennes des températures minimales et maximales, respectivement des mois les plus froids et les plus chauds.

$$Q = \frac{p}{\frac{(M+m)(M-m)}{2}} \cdot 1000$$

Où :

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (degrés/Kelvin).

m : moyenne des minima du mois le plus froid (degrés/Kelvin).

L'application numérique pour la station de Tlemcen donne les résultats suivants :

Tableau 3 : Paramètres du climagramme d'Emberger.

Stations	Années	P (mm)	M (°K)	m (°K)	Q	Type de climat
Tlemcen	2009/2021	312.93	307.19	278.50	37.24	Aride

Il est à noter que Q a été calculé pour suivre l'évolution du climat. Le rapport des stations météorologiques utilisées permet de dire que l'étage climatique de Tlemcen est aride tempéré.

II. 2. 3 Calcul de l'indice d'aridité de De Martonne :

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible. Dans les régions dites arides, les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP) (Bakria M., 2017).

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible. Dans les régions dites arides, les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP) (Bakria M., 2017).

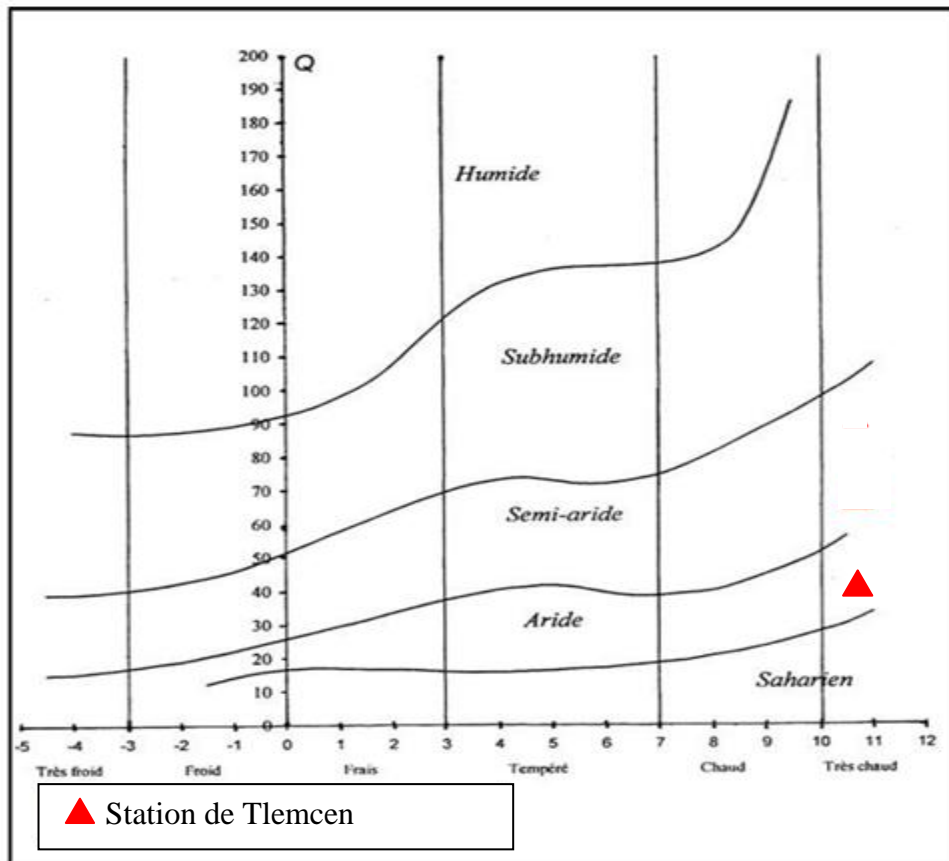


Figure 8 : Climagramme d'Emberger de la station de Tlemcen.

II. 2. 3 Calcul de l'indice d'aridité de De Martonne :

Cet indice a été élaboré par Emmanuel de Martonne en 1926, c'est un système de classification des climats par une méthode statistique, afin de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température et la précipitation (Figure 9). Cet indice est calculé selon la formule suivante :

$$IDM = \frac{P}{(T + 10)}$$

- IDM : Indice d'aridité annuelle.
- P : précipitation moyenne annuelle en mm.

- T : température moyenne annuelle en °C.

Le type de climat selon la valeur de l'indice de De Martonne :

- $IDM < 5$: climat hyperaride.
- $5 < IDM < 7,5$: climat désertique.
- $7,5 < IDM < 10$: climat steppique.
- $10 < IDM < 20$: climat semi-aride.
- $20 < IDM < 30$: climat tempéré.
- $30 < IDM < 55$: Humide

L'aridité augmente quand l'indice diminue.

L'interprétation des données météorologiques pour la période 2009-2021 ont que :

Station de Tlemcen :

P = 312.93 mm. T = 17.99°C

IDM = 11,18

La valeur de l'Indice d'aridité annuelle $IDM = 11.18$, se positionne entre 10 et 20 ($10 < IDM < 20$), ce qui implique que le climat est de type semi aride.

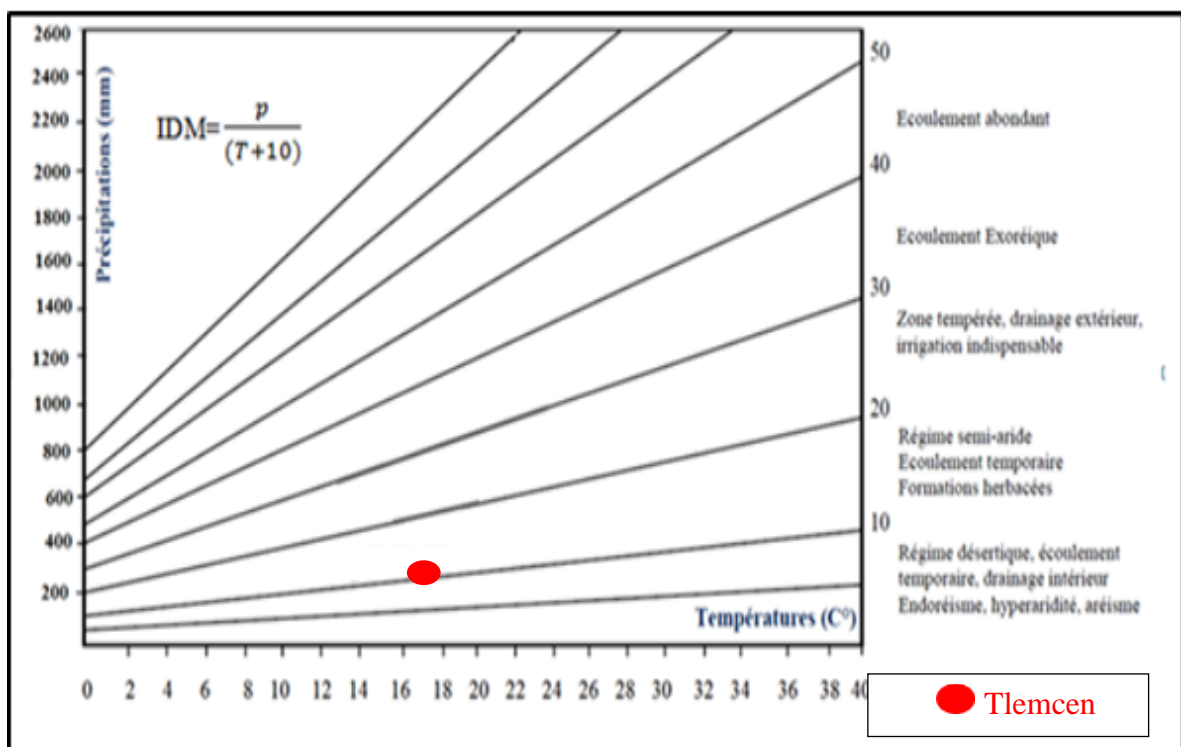


Figure 9 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.

II. 3 Les facteurs climatiques :

Ce sont des facteurs climatiques qui permettent d'expliquer quantitativement l'intensité et la variabilité spatio-temporelle des composantes du régime hydrologique, en interaction avec les conditions physico-géographiques de l'écoulement.

II. 3. 1 Les précipitations :

Les précipitations sont un facteur essentiel caractérisant le climat d'une région et un élément principal du bilan hydrique. Les précipitations jouent un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eaux et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines pour constituer à moyen terme des ressources mobilisables non négligeables (Haied N., 2015).

II. 3. 1. 1 Les précipitations moyennes mensuelles :

Les précipitations moyennes mensuelles sont calculées à partir des données des hauteurs des précipitations de chaque mois sur une période de 10 ans (2009-2021) pour les trois stations. Les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations sont résumées dans le (Tableau 4):

Tableau 4 : Les précipitations moyennes mensuelles (mm).

Mois Station	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Jui.	Juill.	Août	Moyenne
Tlemcen	21,62	27,56	41,59	33,94	49,51	30,75	33,95	40,77	23,16	6,58	1,14	2,35	312,93

L'histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Figure 10) de la station de Tlemcen montre une hétérogénéité importante des précipitations d'un mois à l'autre, un maximum enregistré durant le mois de Janvier de l'ordre de 49.51 mm et 1.14 mm un durant le mois de Juillet en tant que le mois enregistrant le minimum des précipitations.

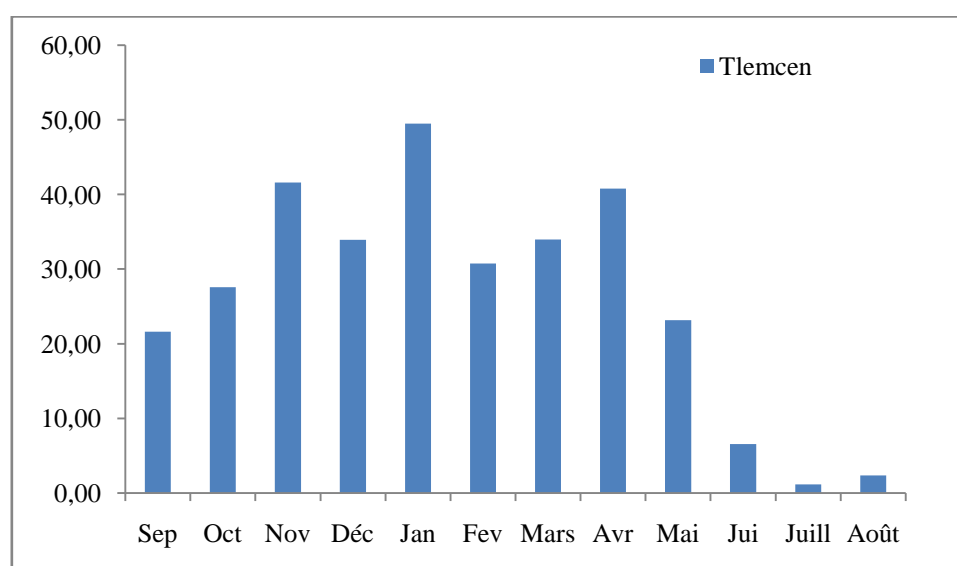


Figure 10 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles aux stations de Tlemcen.

II. 3. 1. 2 Répartition saisonnière des précipitations :

Les précipitations diffèrent d'une saison à l'autre, afin de déterminer les quantités saisonnières nous sommes intéressés aux précipitations de l'**Automne** (Septembre, Octobre, Novembre), l'**Hiver** (Décembre, Janvier, Février), le **Printemps** (Mars, Avril, Mai) et l'**Été** (Juin, Juillet et Août). Ce choix nous a amené aux constatations suivantes :

Tableau 5 : Variation saisonnière des précipitations de la station de Tlemcen (2009-2021).

Saisons	Automne		Hiver		Printemps		Été		Total	
	mm	%	Mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Tlemcen	90,77	29,01	114,21	36,50	97,88	31,28	10,07	3,22	312,93	100

D'après le tableau 5 et la figure 11, l'hiver est la saison la plus pluvieuse avec 114.21 mm, suivi par le Printemps avec un le total des précipitations de 97.88 mm, puis l'automne avec des précipitations de 90.77 mm et enfin l'Été où la pluviométrie enregistrée est la plus faible par rapport aux autres saisons, elle est de 10.07 mm. Ceci implique que le climat de la wilaya de Tlemcen est de type HPAE.

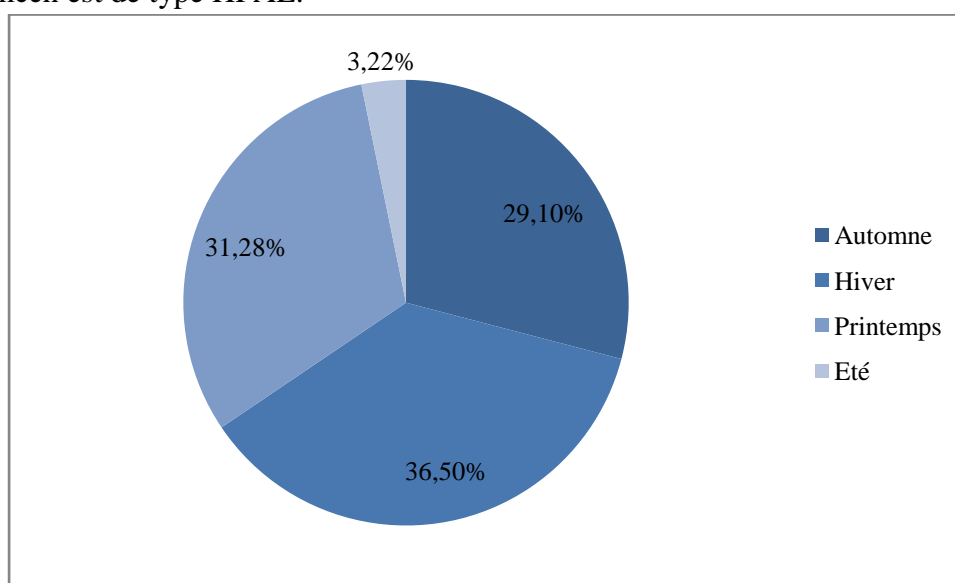


Figure 11 : Répartition saisonnière des précipitations de la station de Tlemcen (2009-2021).

II. 3. 1. 3 Les précipitations moyennes annuelles :

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP). Ce paramètre est très important dans la détermination des années excédentaires et déficitaires. Il est obtenu par le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne d'une série à une station donnée.

$$CP = \frac{P}{\bar{P}}$$

Le coefficient pluviométrique est en relation proportionnelle avec la pluviométrie
Nous avons deux cas :

- CP > 1: année excédentaire.
- CP < 1: année déficitaire (Haied N, 2015).

Remarque : la pluviométrie annuelle moyenne (\bar{P}) est : $\bar{P} = 312.93$ mm.

Tableau 6 : Précipitations moyennes annuelles et Coefficients pluviométriques de la station de Tlemcen (2009-2021).

Années	Hauteur annuelle des précipitations P (mm)	Coefficient Pluviométrique	Les années déficitaires et excédentaires
2009/2010	383,82	1,23	Excédentaire
2010/2011	380,73	1,22	Excédentaire
2011/2012	272,94	0,87	Déficitaire
2012/2013	544,84	1,74	Excédentaire
2013/2014	294,45	0,94	Déficitaire
2014/2015	340,35	1,09	Excédentaire
2015/2016	201,91	0,65	Déficitaire
2016/2017	226,06	0,72	Déficitaire
2017/2018	310,38	0,99	Déficitaire
2018/2019	283,69	0,91	Déficitaire
2019/2020	314,18	1,00	Déficitaire
2020/2021	201,76	0,64	Déficitaire

D'après le tableau 6, on peut remarquer que les années déficitaires sont supérieurs aux années excédentaires. Les années déficitaires sont de l'ordre de 8 sur les douze (12) ans de la période d'observation.

II. 3. 2 La Température :

Elle est parmi les facteurs climatiques les plus importants. Elle est en interaction avec les autres facteurs météorologiques (humidité, précipitation, etc.) et biogéographiques, le développement de la végétation, le phénomène de l'évapotranspiration et ainsi que le déficit d'écoulement annuel et saisonnier (Khadri S. 2009).

II. 3. 2. 1 La température moyenne mensuelle :

La température moyenne mensuelle figure dans le tableau suivant :

Tableau 7: Températures moyennes mensuelles de la station de Tlemcen (2009-2021).

Mois Station	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne
Tlemcen	23,48	19,72	14,88	11,76	10,64	11,54	13,51	16,05	19,58	22,93	26,22	26,94	18,10

A partir de la figure 12 nous pouvons déduire qu'il y'a une différence assez proche entre les valeurs de la température. Nous remarquons aussi que le mois le plus chaud est le mois d'Août (avec une température de l'ordre de 26.92 °C), le mois le plus froid est le mois de Janvier avec 10.64 °C.

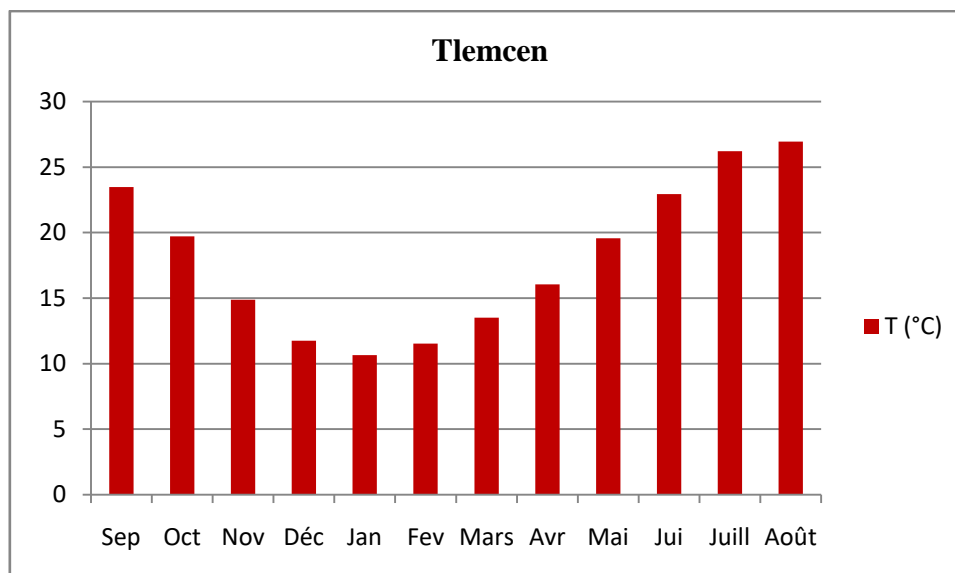


Figure 12 : Histogramme des températures moyennes mensuelles de la station de Tlemcen (2009-2021).

II. 4 Estimation des paramètres du bilan hydrique :

La température moyenne annuelle sur une période de 10 ans pour les trois stations de mesure est reportée dans le tableau n°10 et sont respectivement de 17.99 °C à Tlemcen, 18.35 °C à Mostaganem et 17.68 °C à Saida.

Tableau 8 : Températures moyennes annuelles (C°).

Années	Tlemcen
2009/10	18,58
2010/11	18,20
2011/12	17,59
2012/13	17,34
2013/14	17,77
2014/15	18,31
2015/16	18,27
2016/17	18,61
2017/18	17,51
2018/19	17,73
2019/20	18,81
2020/20	18,54
Moyenne	17,99

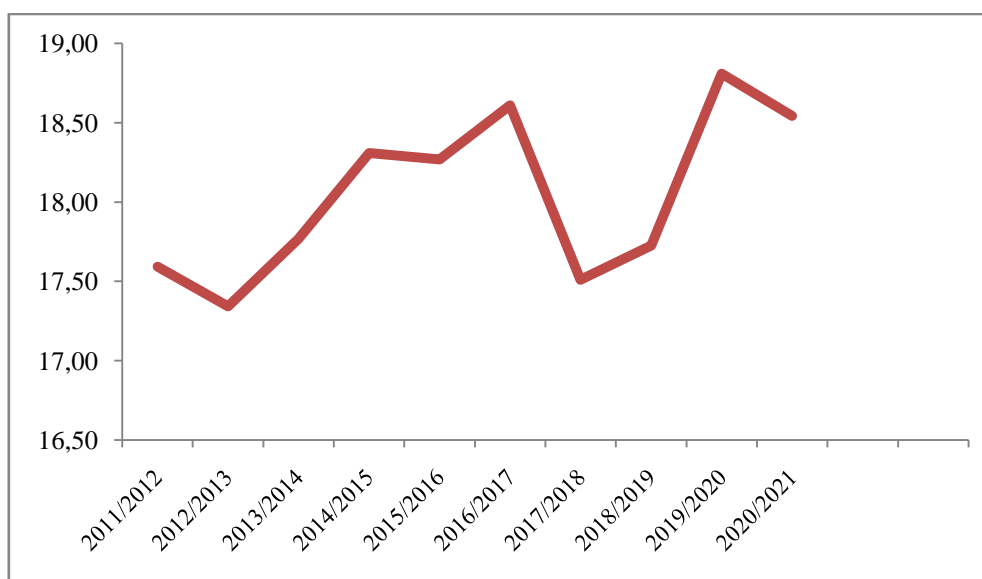


Figure 13 : Courbe de variation des températures moyennes annuelles de la station de Tlemcen (2009-2021).

Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnés par comparaison entre les apports et les pertes en eau dans ce lieu et pour cette période. Les apports d'eau sont effectués par les précipitations. Les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et la transpiration, que l'on désigne sous le terme d'évapotranspiration. Le bilan hydrique englobe l'étude des paramètres suivants :

- L'évapotranspiration.
- Les écoulements de surface ou ruissellement.
- L'infiltration

II. 4. 1 Définition de l'évapotranspiration :

L'évapotranspiration constitue un élément important du bilan hydrologique. Elle représente la quantité d'eau qui s'évapore et retourne vers l'atmosphère sous forme de vapeur.

Elle résulte de la combinaison de deux phénomènes l'un physique (évaporation) et l'autre biologique qui est lié au couvert végétal (transpiration) (Haied N, 2015).

II. 4. 2 Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

L'ETR est la quantité d'eau généralement exprimée en mm évaporée ou transpirée par : le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant (mer, lac, cours d'eau...) et se manifeste de fait en conditions naturelles dans un site donné, compte tenu de la demande climatique de l'air et de la disponibilité en eau du sol (Haied N, 2015). Pour le calcul de L'ETR trois formules sont utilisées :

🚦 Formule de Turc.

- ✚ Formule de Coutagne.
- ✚ Formule de Thornthwaite.

A- Formule de Turc :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{(0,9 + \frac{P^2}{L^2})}} \quad L = 300 + 25t + 0.05t^2$$

Avec :

ETR : Évapotranspiration réelle annuelle en mm.

P : Précipitation annuelle en mm.

T : Température moyenne annuelle en °C.

L : Pouvoir évaporant.

Les résultats sont portés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : ETR annuelle selon la méthode de Turc.

Paramètres Stations	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm/an)
Tlemcen	312.93	18.10	768.88	303.14

B- Formule de Coutagne:

$$ETR = P - \lambda P^2$$

Cette formule n'est valable que si la quantité des précipitations répond à la condition suivante :

$$\frac{1}{8\lambda} < p < \frac{1}{2\lambda} \quad \text{pour} \quad \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.1T}$$

Avec :

ETR : L'évapotranspiration réelle en m.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

T : Température moyenne annuelle en °C.

Tableau 10 : ETR selon la méthode de Coutagne.

Paramètres Stations	P (m)	T (°C)	λ	$\frac{1}{8\lambda}$	$\frac{1}{2\lambda}$	ETR (mm/an)
Tlemcen	0,31293	17.99	0.55	0.22	0.90	259,93

II. 4. 3 Interprétation du bilan hydrique :

D'après le bilan hydrique de la station de Tlemcen, selon la méthode de Thornthwaite, la RFU (réserve facilement utilisable) (figure 15) commence à se reconstituer à partir du mois de Novembre pour atteindre son maximum 26 mm au mois de Janvier et s'épuise totalement

au mois de Mai accompagnée par l'apparition du Déficit Agricole (DA) (figure 15) qui s'étend jusqu'au mois d'Octobre.

L'ETP (figure 14) atteint son maximum au mois de Juillet 159.7 mm et son minimum au mois de Janvier 20.3 mm.

Tableau 11 : Bilan hydrique à la station de Tlemcen pour la période (2009-2021).

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	23,48	10,4	1,03	107,6	21,616	-86,0	-0,8	0,0	0,0	21,6	86,0	0,0
O	19,72	8,0	0,97	72,8	27,562	-45,2	-0,6	0,0	0,0	27,6	45,2	0,0
N	14,88	5,2	0,86	37,8	41,593	3,7	0,1	3,7	3,7	37,8	0,0	0,0
D	11,76	3,6	0,81	22,8	33,944	11,2	0,5	11,2	14,9	22,8	0,0	0,0
J	10,64	3,1	0,87	20,3	49,508	29,2	1,4	11,1	26,0	20,3	0,0	18,1
F	11,54	3,5	0,85	23,1	30,753	7,7	0,3	0,0	26,0	23,1	0,0	7,7
M	13,51	4,5	1,03	37,7	33,947	-3,8	-0,1	-3,8	22,2	37,7	0,0	0,0
A	16,05	5,8	1,10	55,9	40,774	-15,1	-0,3	-15,1	7,1	55,9	0,0	0,0
M	19,58	7,9	1,21	89,6	23,158	-66,5	-0,7	-7,1	0,0	30,3	59,3	0,0
J	22,93	10,0	1,22	121,9	6,5825	-115,3	-0,9	0,0	0,0	6,6	115,3	0,0
J	26,22	12,3	1,24	159,7	1,1417	-158,6	-1,0	0,0	0,0	1,1	158,6	0,0
A	26,94	12,8	1,16	157,4	2,3483	-155,0	-1,0	0,0	0,0	2,3	155,0	0,0
Annuel	18,10	87,3		906,6	312,9	-593,6				287,1	619,4	25,8

II. 5 Estimation de la lame d'eau écoulée :

II. 5. 1 Le ruissellement :

L'évaluation du ruissellement est nécessaire pour évaluer l'apport en eau de surface et d'apprécier l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface du sol.

- Formule de Tixerant-Berckaloff

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Avec :

P : Précipitation moyenne en **m**.

R : Ruissellement en **m**.

ETP : Evaporation potentiel en **m**

Tableau 12 : Ruissellement selon la formule de Tixerant-Berckaloff.

Paramètres Stations	P (m)	ETP (m)	R(m)
Tlemcen	0.3129	0.9066	0.0139

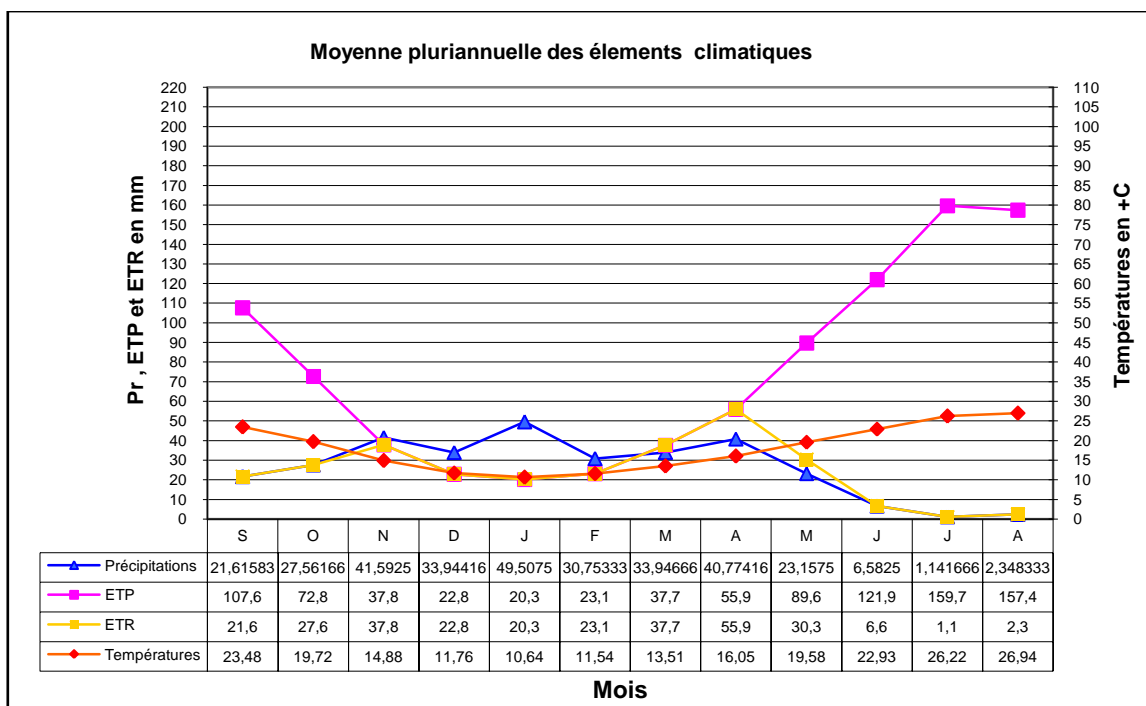


Figure 14 : Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques à la station de Tlemcen pour la période (2009-2021).

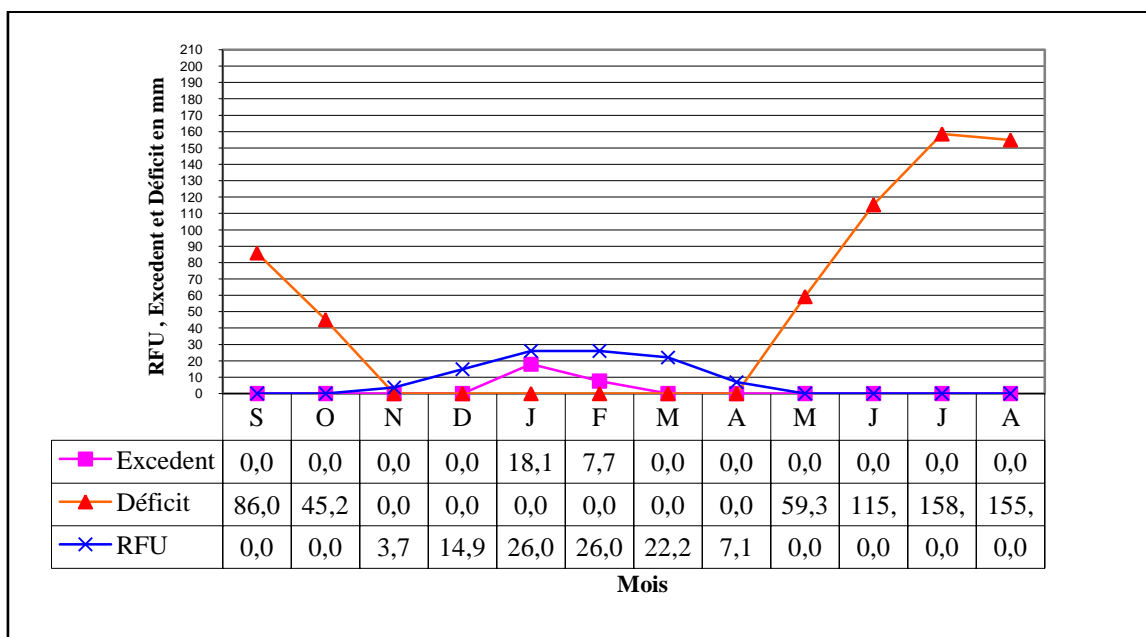


Figure 15 : Diagramme de la variation de la RFU, du Déficit Agricole et de l'Excédent à la Station de Tlemcen (2009-2021).

Le bilan hydrique est défini selon l'équation suivante.

$$P = ETR + R + Ie$$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles en mm/an.

ETR : Evapotranspiration réelle en mm /an.

Ie : Infiltration efficace en mm/an.

II. 5. 2 Infiltration efficace :

L'infiltration efficace est déduite de l'équation du bilan hydrique :

$$Ie = P - ETR - R$$

- Si $Ie > 0$: Les entrées sont supérieures aux sorties.
- Si $Ie < 0$: Les entrées sont inférieures aux sorties.

Tableau 13 : Les valeurs de l'infiltration efficace.

Paramètres	P (mm)	ETR		R		Ie	
		(mm/an)	(%)	(mm/an)	(%)	(mm/an)	(%)
Stations							
Tlemcen	323.92	283	87.37	13.9	4.29	27.02	8.34

II. 6 Hydrographie :

Le bassin versant de la Tafna situé au Nord-Ouest du territoire algérien (figure 1, chapitre I), s'étend sur la totalité de la wilaya de Tlemcen sur une superficie de 7245 km². Selon la nouvelle structuration des unités hydrologiques en Algérie, le bassin de la Tafna appartient au bassin hydrographique de l'Oranie Chott Chergui (Baba Hamed K. & Bouanani A., 2016).

Globalement, la Tafna peut être subdivisée en trois grandes parties (figure 16) :

- partie orientale avec comme principaux affluents l'oued Isser et l'oued Sikkak,
- partie occidentale comprenant la Haute Tafna (oued Sebdou et oued Khemis) et l'oued Mouilah,
- partie septentrionale : qui débute pratiquement du village Tafna et s'étend jusqu'à la plage de Rachgoune, embouchure de la Tafna sur la Méditerranée. Les oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun constituent les principaux affluents.

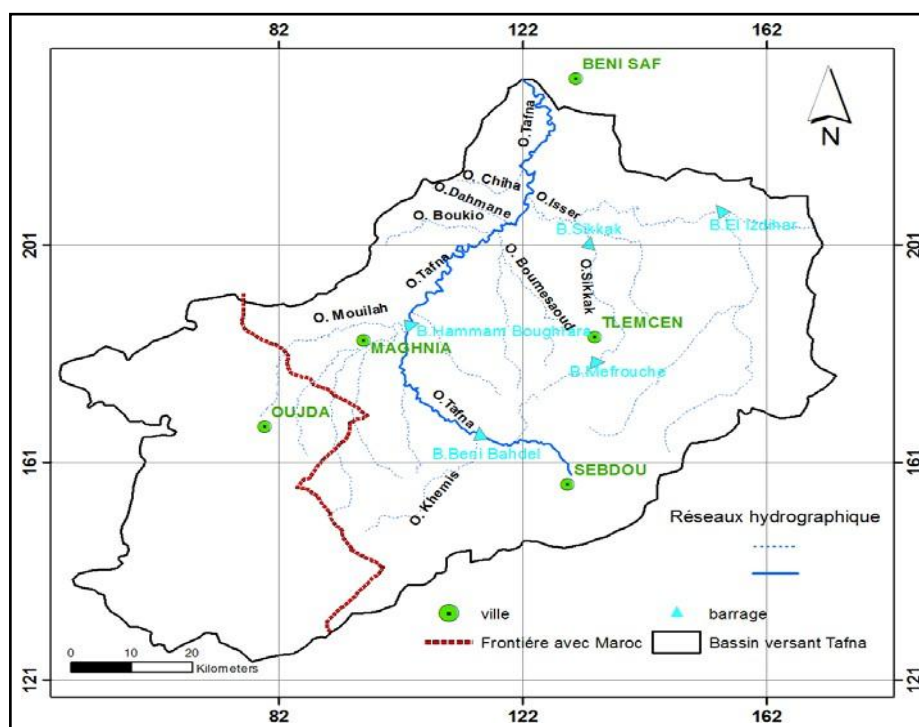


Figure 16 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de la Tafna.

II. 6. 1 Caractères physiographiques :

Les sous bassins de la Tafna présentent, dans l'ensemble, une forme moyennement allongée. Mais l'influence du relief est encore plus déterminante. Les valeurs de l'indice de compacité (tableau 14) montrent que les bassins des oueds Mouilah (Baba Hamed 2001, 2007, Bouanani, 2004 in Baba Hamed K. & BouananiA., 2016) et Chouly (Gherissi, 2012 in Baba HamedK. &BouananiA., 2016) sont les plus compactes ($K_c < 1.3$), alors que le bassin relativement le plus allongé correspond à celui de l'oued Boumessaoud ($K_c = 1.52$) (Meddane, 2012 in Baba Hamed K. & Bouanani A., 2016). Outre ces données extrêmes, toutes les autres valeurs sont très rapprochées, les formes des bassins correspondants (Sebdo, Khemis, Boukiou, Sikkak et Zitoune) étant donc plus ou moins semblables (Baba Hamed & Kerzabi, 1991, Seladji, 2001, Zennaki, 2015, Hayane, 1983 in Baba Hamed K. & BouananiA., 2016).

Tableau 14 : Caractéristiques de forme des unités hydrologiques de la Tafna (Baba Hamed, 2001, Bouanani, 2004).

Bassin	Superficie (Km)	Périmètre (Km)	Coefficient de compacité Kc	Rectangle équivalent	
				L (Km)	L (Km)
Oued Khemis	350	93	1.39	37.23	9.4
Oued Sebdo	255.5	78	1.37	30.7	8.32
Oued Mouillah	2650	230	1.25	82.96	31.49
Oued Zitoun	140	65	1.54	24	5.83
Oued Boumessaoud	118	59	1.52	24.53	4.81
Oued Sikkak	463	116	1.50	48.49	9.55
Oued Chouly	288.9	115	1.28	21.7	13.31
Oued Isser	1139.74	180	1.49	85.26	13.37
Oued Boukiou	117.3	58	1.50	23.91	4.9

II. 6. 2 Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique de la Tafna est constitué par un ensemble important d'oued et de chaâbat qui déversent tous dans l'oued Tafna (figure 16), soit directement ou par intermédiaire de l'un de ses affluents. Les plus importants sont les oueds Isser, Mouillah, Sikkak, Boumassaoud, Khemis, Boukiou, Dahmane et Chiha (Benmoussat, 2011). L'oued Tafna mesure 170 Km de long et subdivisé en trois parties :

- La haute Tafna : L'oued prend naissance dans Ouled Ouriach jusqu'à Sidi Medjahed.
- La moyenne Tafna : à partir de Sidi Medjahed jusqu'aux gorges de Tahouart vers le village de Hadjer et El-gat.
- La basse Tafna : à partir des gorges de Tahouart jusqu'à la mer de Rachgoun.

Tableau 15 : Densité de drainage, altitudes caractéristiques et état des sous bassins de la Tafna (Baba Hamed, 2001, Bouanani, 2004, Bensaid & Belkadi, 2015 in Baba Hamed K. & BouananiA., 2016).

Bassin	Dd (Km/km ²)	Altitude moyenne (m)	Altitude fréquente (m)	Altitude de fréquence ½ (m)	Etat du bassin	Rapport de confluence Rc	Rapport des longueurs RL
Khemis	3.22	1010	1400-12500	1410	Jeune	3,88	2,08
Sebdo	2.88	666	1100-1000	1060	Equilibre	3,43	2,38
Mouillah	0.16	430	600-400	687	Vieux	3,88	2,36
Zitoun	2.42	429	500-400	485	Vieux	3,5	3,16
Boumessaoud	2.51	623	800-700	630	Vieux	3,55	2,83
Sikkak	1.51	1110	400-300	575	Vieux	3,76	2,63
Chouly	0.61	700	1400-1300	1075	Equilibre	3,76	2,81
Isser	1.08	745	800-600	785	Equilibre	3,7	2,05
Boukiou	2.97	134	300-200	362	Vieux	4,25	2,53

II. 6. 3 Hydrologie :

II. 6. 3. 1 Ressources en eaux superficielles :

Elles sont essentiellement représentées par les apports de l'oued Tafna qui constitue le cours d'eau principale de la région, ainsi les sources jaillissantes qui sont d'origine d'eau souterraine qui se trouve dans les nappes et les aquifères (Benabdellah, 2012).

A- Mobilisation des eaux superficielles :

A- 1 Grands barrages :

Cinq barrages ont été construits afin de mobiliser les eaux superficielles de la Tafna (Benabdellah, 2012). Il s'agit du :

- ✓ Barrage de Beni-Bahdel.
- ✓ Barrage D'El-Mafrouche.
- ✓ Barrage De Sidi-AbdelIzdihar.
- ✓ Barrage de Hammam Boughrara.
- ✓ Bbarrage de sikkak.

A- 2 Petits barrages :

Les ressources en eau mobilisées à partir de ces ouvrages ont des fins agricoles (Benmoussat, 2011). On mentionne :

- Le petit barrage de Sidi Senouci, Sidi Abdeli.
- Le petit barrage de Chaabat Alia et Tiloua, Bensekrane.
- Le petit barrage sur l'oued Atchan, Ouledriah.
- Le petit barrage Aich de Beni Boussaid.
- Le petit barrage El Guettara, Amieur.
- Le petit barrage Khalfoun, Ouled Mimoun.
- Le petit barrage de Magoura, Sidi Djilali.

A- 3 Retenues collinaires :

Ces retenues sont localisées à Maghnia, Mansourah, Ghazaouet, Sebdou, Remchi, Nédroma, Bab El Assa, Sabra Chetouane, Honaine, Fillaoucène, Ain Tellout, Traras, Ouled Mimoun.

A- 4 Sources :

Il s'agit de Ain Sidi Youcef, Ain El Karma, Ain Elhdjer, Ain El Ghorab , Ain Safsaf, Ain Bouchkour, Ain Sidi Abdallah , Ain Tanfif , Ain Ghata, Ain Defla, Ain Taghra, Ain El Ainyoun, Ain Tahoudine, Ain Ben hellal, Ain Sidi El Mekhfi, Ain Dammam, Ain Talat, Ain Boulefane, Ain Missert, Ain Mélala, Ain Tazroud, Ain Djerrir,...

On ce qui concerne les sources thermales, on peut citer : Ben Raho, Berkani, Tahammamit, Chiguer, Sidi Belkhir, Ain El Hammam. Tahammamit, Dayet El Ferd

II. 6. 3. 2 Ressources en eaux souterraines :

La disponibilité relative des sources en eaux superficielles a fait que les différents aquifères étaient très peu sollicités et donc pratiquement inconnus. Jusqu'au début des années 70 quelques nappes ont été étudiées et exploitées :

- La nappe de Maghnia.
- La nappe des hauts plateaux pour le pastoralisme.
- La nappe alluviale de l'oued Ghezouana.

Cependant à partir des années 80 et en raison d'une demande en eau sans cesse croissante ainsi que des déficits pluviométriques enregistrés, les pouvoirs publics vont engager d'importantes campagnes de reconnaissance pour la mise en évidence ainsi que l'exploitation de nouvelles ressources en eaux souterraines.

Ces reconnaissances ont permis de mettre en évidence un aquifère sur la retombée Nord de la chaîne des Monts de Tlemcen le long d'une ligne passant par Sebra, Beni Mester, Tlemcen, Zediga, Sidi Abdelli. Il s'agit d'un aquifère de type karstique caractérisé par une circulation de fissures au niveau des dolomies de Tlemcen (Tadlaoui S., et Bouabdallah M. E., 2016).

A- Nappes d'eau souterraine :

Les principales nappes d'eau souterraines de la wilaya de Tlemcen sont :

- ✓ La nappe karstique des monts de Tlemcen avec une capacité importante.
- ✓ La nappe de Maghnia.
- ✓ La nappe de Zriga où l'eau est légèrement saumâtre elle est par conséquent peu exploitée.
- ✓ La nappe d'Hennaya.
- ✓ La nappe de Sidi Snouci.
- ✓ La nappe de Sebdou.
- ✓ La nappe phréatique de Remchi.

II. 7 Conclusion :

Cette étude hydroclimatologique a démontré que le bassin versant de la Tafna est caractérisé par un climat aride dont les précipitations ne dépassent pas 323.92 mm durant une période d'observation s'étalant entre 2009 et 2022. Quant à la température moyenne annuelle, elle est de l'ordre de 17.99 °C.

Le bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite témoigne d'un déficit qui se poursuit durant six mois de l'année (entre les mois de Mai et d'Octobre).

Hydrologiquement notre bassin versant est caractérisé par un réseau hydrographique dense ce qui a permis de construire plusieurs ouvrages hydrauliques (grands barrages, petits barrages et retenues collinaires), ainsi que par une multitude de nappes d'eau souterraines.

CHAPITRE III

MATERIELS ET METHODES

III.1 Approche méthodique :

Le but de ce travail est de connaître l'impact du bassin versant de Tafna sur Wilaya de Tlemcen et son développement. L'approche adoptée vise à faire une idée sur l'état actuel et futur de la consommation d'eau et du rôle et de l'impact de ce bassin sur la région, en s'appuyant sur des recherches bibliographiques et en collectant et analysant des informations liées à la région.

III.1.1 Recherche bibliographie :

Phase essentielle dans la recherche scientifique, elle est basée sur divers documents tel que les mémoires, les thèses, les articles scientifiques, les livres les rapports...etc., qui ont traités la thématique et/ou la région d'étude. C'est une étape qui consiste aussi à une collecte d'informations auprès des organismes concernés (voir le tableau 16).

Tableau 16 : Collecte des données à partir des différentes institutions.

Les documents	Les organismes
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mémoires, thèses et livres. ➤ Articles scientifiques. ➤ Rapports, données numériques et statistiques. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La bibliothèque de la Faculté des Science de la Nature et de la Vie et du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, ainsi que la bibliothèque centrale de l'université Ziane Achour à Djelfa, ainsi que les sites des autres universités. ➤ Internet. ➤ ANRH : Agence National de Ressources Hydrique (Tlemcen) ; DPAT : Direction de la Planification et de l'Aménagement du territoire ; ONM : Office National de la Météorologie ; ONS : Office National des Statistiques ; RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat.

III.1.2 Analyse des informations collectées :

Il s'agit d'une étape importante et nécessaire dans toute recherche scientifique, dans laquelle nous utilisons et nous analysons les informations que nous avons précédemment collectées, puis nous les organisons et les représentons dans des tableaux et des graphiques pour faciliter et clarifier le travail.

Ce travail est basé sur :

- Le diagnostique quantitatif des ressources en eau de la zone
- Le calcul et l'estimation des besoins actuels et futurs des trois secteurs consommateurs (AEP, AEA et AEI)
- L'élaboration d'un scénario réal afin de comparer les besoins et l'offre afin d'avoir une idée sur l'année de transition vers la rareté et le déficit.
- Le développement de plusieurs scénarii (optimiste : l'apport des eaux non-conventionnelles, pessimiste : l'impact de la diminution des apports pluviométriques et effet du tourisme) afin de connaître l'impact de ce bassin sur les agglomérations de la zone d'étude.

III.2 Données de base :

Pour mener notre étude, nous nous sommes appuyés sur l'étude des paramètres suivants :

- La Population du recensement de 2008 (comme une année de référence).
- L'Agriculture avec ces composantes irrigations et cheptel.
- L'Industrie comme un troisième consommateur.

III.2.1 Population :

La population de la Wilaya de Tlemcen qui est recouverte par le bassin versant de la Tafna est estimée à 1 121 135 habitants en 2022 (voir le tableau 17).

Tableau 17: Evolution de la population dans la zone d'étude.

	Population			Taux d'accroissement 2008-2018%
	2008	2018	2022	
Population de la wilaya de Tlemcen	949 135	1 069 383	1 121 135	1.2%

Source : Monographie de Tlemcen 2013.

III.2.2 Agriculture :

L'agriculture est une activité primordiale ou la wilaya de Tlemcen contient une superficie agricole de 537 301 Ha dont la superficie agricole utile SAU est de 350 312 Ha soit 65.19 % de la SAT et la superficie agricole utile en irrigué est de 26 260 Ha soit 4.88 % de la SAT. Ainsi que le nombre du cheptel est de l'ordre de 367 091 têtes en 2008 selon MADR.

III.2.3 Industrie :

L'industrie est le moteur du développement et son existence ne peut être ignorée; la superficie industrielle dans la wilaya de Tlemcen est de 218.8133Ha; avec une augmentation

de 2 % des besoins actuels toutes les cinq années et d'une dose de (4.5 l/j/m^2) . Et les zones d'activités avec une superficie de 164.623Ha.

Tableau 18 : Tableau récapitulatif des données exploitées.

Données	La zone d'étude
Nombre de population en 2008 (hab)	949 135
Potentialités hydrique (Hm^3/an)	415
Volume d'eau mobilisé en Hm^3/an	103.57
Dotation théorique en eau potable (l/j habitants)	100
Superficie agricole utile en irrigué (ha)	26 260
Nombre du cheptel (Tête)	367 091
la Superficie industrielle (ha)	383.4156

III.4. 4. Calcul des besoins en eau de la wilaya de Tlemcen:

Ce calcul va nous permettre d'avoir une idée sur les besoins futurs (l'horizon 2060) des différents secteurs : l'alimentation en eau potable (AEP), l'alimentation en eau pour l'agriculture (AEA) et l'alimentation en eau pour le secteur industriel (AEI). Les besoins vont être calculées en se basant sur les estimations de l'accroissement du nombre d'habitants avec une dotation théorique de l'ordre de 100 l/j/ha (Baghli N., 2018) pour l'AEP, les besoins de l'irrigation avec une dose de l'ordre de $(1270 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an})$ (Ouanouki B., 2012) et une extension des terres irriguée de 20 ha chaque année, ainsi que les besoins du cheptel avec une dotation de (10 l/j/tête) et une évolution de 1% des espèces élevés chaque année, ces deux nous donne les besoins de l'AEA et enfin les besoins en eau pour l'industrie, en prévoie une dose de l'ordre d'environ $(4,5 \text{ l/j/m})$ (Bousslimi M., 2004) avec une augmentation de 2 % des besoins actuels toutes les cinq années.

CHAPITRE IV
GESTION DES
RESSOURCES EN EAU

IV. 1. Introduction :

Afin de connaître l'impact du bassin versant de la Tafna sur le développement des agglomérations, il est nécessaire d'obtenir des informations complètes sur les ressources en eau, leur nature et leurs origines, ainsi qu'une connaissance des besoins actuels, et une projection de ces besoins pour les différents secteurs consommateurs d'eau, et il est nécessaire de développer des scénarios basés sur ces résultats en incluant la possibilité d'une sécheresse.

IV. 2. Diagnostique quantitatif des ressources en eau :

IV. 2. 1. Les potentialités hydriques :

IV. 2. 1. 1. Le potentiel hydrique superficiel :

- **Barrages :**

La wilaya de Tlemcen dispose cinq (05) barrages d'une capacité totale de Hm^3 (tableau 19).

Tableau 19 : les barrages du bassin versant de la Tafna.

Barrage	Wilaya	Capacité initiale Hm^3	Volume Hm^3
Beni Bahdel	Tlemcen	63	11.95
Meffrouch	Tlemcen	15	0.41
Sidi Abdelli	Tlemcen	110	5.10
H.Bougharara	Tlemcen	177	44.28
Sikkak	Tlemcen	27	10.03

Source : ANBT 2006 in Hamlat A., 2014.

- **Les retenues collinaires :**

La région d'étude comprend les retenues collinaires suivantes : Maghnia, Mansourah, Ghazaouet, Sebdou, Remchi, Nédroma, Bab El Assa, Sabra Chetouane, Honaine, Fillaoucène, Ain Tellout, traras, Ouled Mimoun (Tadlaoui S. et Bouabdallah M. E. H., 2016).

IV. 2. 1. 2. Le potentiel hydrique souterrain:

Les ressources en eaux souterraines sont de l'ordre de 53 Hm^3 contenues dans deux nappes d'eau souterraines (Tableau 20).

Tableau 20 : Les nappes existantes dans le bassin versant de la Tafna.

Nom de l'unité hydrogéologique	Bassin versant	Ressource renouvelable
Monts de Tlemcen	Tafna	35
Plaine de Meghnia	Tafna	18
TOTAL	-	53

Source : ANBT 2006 in Hamlat A., 2014.

IV. 2. 2. Mobilisation des ressources en eaux :

Le pourcentage des ressources en eau mobilisées du bassin versant de Tafna est évalué à près de 331.49 Hm³ par an, soit à peu près 36.9 % des ressources en eau mobilisables (Tableau 21).

Tableau 21 : Potentiel hydrique global du bassin versant de Tafna.

Ressources en eau	Potentiel reconnu	R ^{ces} Mobilisables	R ^{ces} Mobilisé
Superficielles	392	352.8	71,77
Souterraines	53	31.8	31.8
Total	415	384.6	103.57

IV. 3. Calcul des besoins en eau :

Tenter de connaître les usages actuels de l'eau et anticiper la demande future dans tous les secteurs (AEP, AEA et AEI)

IV. 3. 1. L'alimentation en eau potable (AEP) :

L'estimation des besoins en eau potable de la population est en relation étroite avec l'évolution démographique de la zone d'étude. Afin de calculer l'évolution de la population, on utilise la formule bien connue utilisée par les services des statistiques et de la population. (ONS).

$$Pf = Pn (1 + a)^n$$

Où :

- Pf : Population à l'horizon voulu.
- Pn : Population à une année de référence.
- a : Taux d'accroissement démographique global moyen (%)
- n : Nombre d'années qui séparent l'année de référence à l'horizon voulu.

Au cours de notre étude, les perspectives souhaitées passent de 2008 comme année de référence à 2060, par pas de cinq ans.

Le taux de croissance démographique global des agglomérations incluses dans notre bassin est d'environ 1,2% selon les données du Bureau National des Statistiques et la dotation, moyenne de 100 l/j/ha selon Baghli N., 2018.

Tableau 22 : Perspective de l'évolution de la population et de la demande en eau potable du bassin versant de la Tafna (2008 - 2060).

	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Population	949135	972051	1 031 791	1 095 202	1 162 510	1 233 955
Besoins AEP Hm³/an	34.64	35.48	37.66	39.97	42.43	45.04
	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Population	1 390 287	1 475 730	1 475 730	1 566 425	1 662 693	1 764 878
Besoins AEP Hm³/an	47.81	50.75	53.86	57.71	60.69	64.42

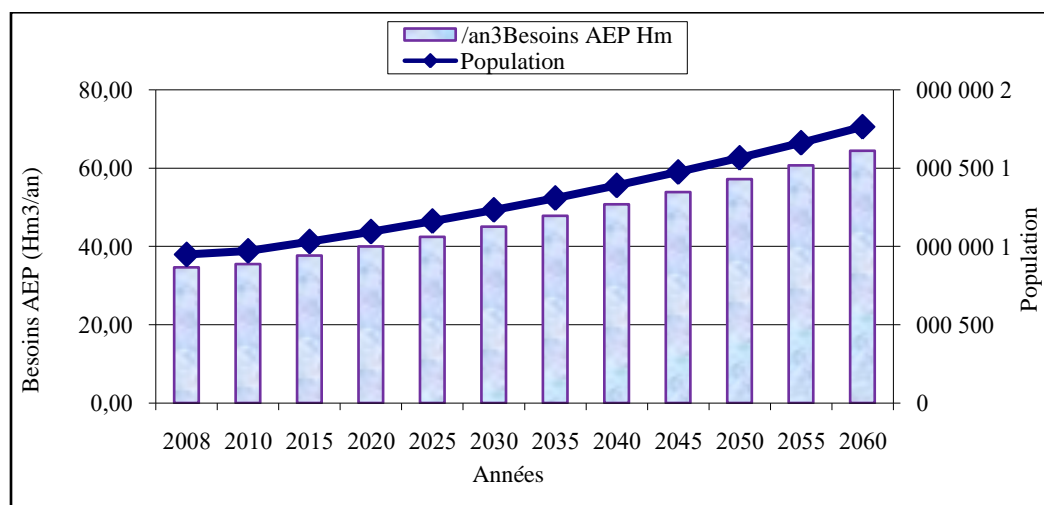


Figure 17 : Graphe des Perspectives de l'évolution de la population et de la demande en eau potable du bassin versant de la Tafna (2008 - 2060).

Le tableau 22 ci-dessus représente l'évolution des besoins en eau potable avec l'évolution de la population et selon ses résultats : la population de la région passe de 949 135 à 1 233 955 habitants entre 2008 et 2022, elle devrait atteindre 1 764 878 habitants à l'horizon 2060.

On observe aussi que les besoins AEP augmentent de 34.64 millions m³ en 2008, pour atteindre en 2022 environ de 40,92 millions m³ et ils s'élèveraient au total en 2060 à environ 64.42 millions de m³.

IV. 3. 2. L'alimentation en eau de l'agriculture (AEA) :

IV. 3. 2. 1. Le périmètre irrigué :

Sur la superficie agricole totale de 537 301 hectares, les terres agricoles irriguées (ou utiles) représentent 65,19 % de cette superficie, soit 350 312 hectares, et la superficie irriguée ne dépasse pas 26 260 hectares, soit seulement 4,88 % (Tableau 23).

Tableau 23 : Présentation du périmètre agricole irrigué du bassin versant de la Tafna.

Surface (Ha)	SAT	SAU	SAU en Irrigué
Wilaya de Tlemcen	537 301	350 312	26 260

Source : MADR 2014.

IV. 3. 2. 2. Le cheptel :

Le nombre total du cheptel est de 367 091 tête dans Wilaya de Tlemcen (Tableau 24).

Tableau 24 : Nombre du cheptel du bassin versant de Tafna.

Cheptel	Total
Wilaya de Tlemcen	367 091

Source : MADR 2001.

IV. 3. 2. 3. Les besoins en eau de l'agriculture :

Les besoins en eau de l'agriculture regroupent à la fois les besoins de l'irrigation et du cheptel.

IV. 3. 2. 3. 1. Les besoins en eau de l'irrigation :

L'estimation des besoins en eau de l'irrigation passe par l'évaluation de l'évolution des terres irrigables. Ces besoins sont de l'ordre de 33,70 Hm³/an et elles avoisineront les 34,67 Hm³/an à l'horizon 2060 (tableau 25 et fig 18).

Tableau 25: Evolution dans le temps des besoins en eau de l'irrigation du bassin versant de la Tafna (2008 - 2060).

	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Superficie irriguée (ha)	26 260	26 300	26 400	26 500	26 600	26 700
Besoins en eau de l'irrigation (Hm³/an)	33,35	33,40	33,52	33,65	33,78	33,90
	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Superficie irriguée (ha)	26 800	26 900	27 000	27 100	27 200	27 300
Besoins en eau de l'irrigation (Hm³/an)	34,03	34,16	34,29	34,41	34,54	34,67

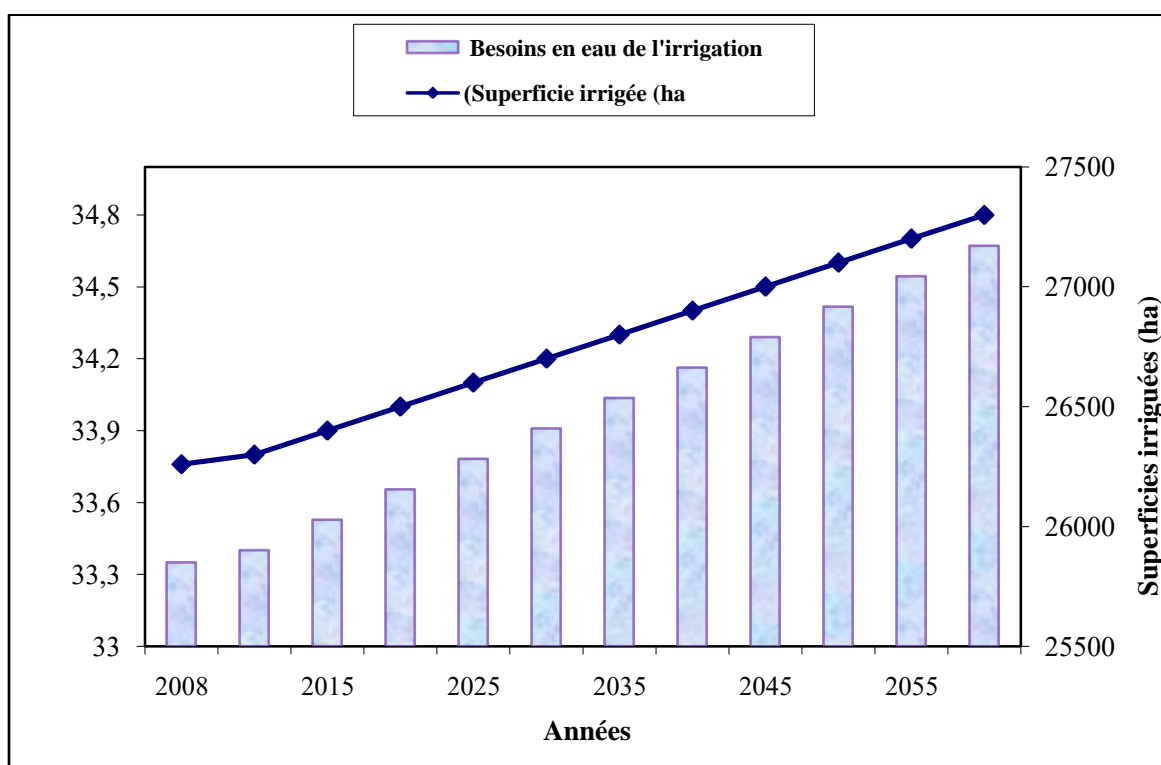


Figure 18 : Evolution dans le temps des surfaces irriguées et leurs besoins en eaux du bassin versant de la Tafna (2008 - 2060).

IV. 3. 2. 3. 2. Les besoins en eau du cheptel :

D'après les résultats du tableau 26, les besoins en eau du cheptel pour l'année 2022 sont 1.52 Hm³ et ils dépasseront les 2.23 Hm³ vers 2060.

Tableau 26: Evolution dans le temps des besoins en eau pour le cheptel du bassin versant de la Tafna (2008 - 2060).

	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Nombre du cheptel (Tête)	367 091	374 433	393 154	412 812	433 453	455 125
Besoins en eau du cheptel (Hm³/an)	1.34	1.37	1.44	1.51	1.58	1.66
	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Nombre du cheptel (Tête)	477 882	501 779	526 865	553 208	580 868	609 912
Besoins en eau du cheptel (Hm³/an)	1.74	1.83	1.92	2.02	2.12	2.23

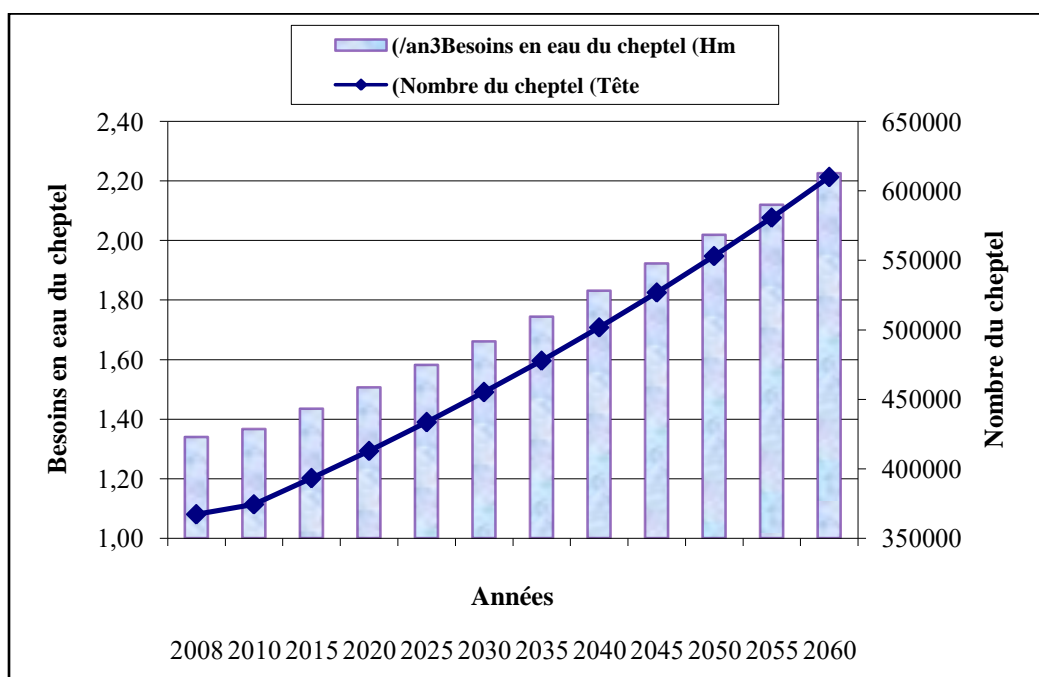


Figure 19: Evolution dans le temps du cheptel et ces besoins en eaux dans le bassin versant de la Tafna (2008 - 2060).

Les besoins en eau de l'agriculture (AEA) peuvent être estimés en additionnant ceux de l'irrigation et du cheptel, ce qui nous donne des besoins de l'ordre de 35,22 Hm³/an en 2022, les résultats figurent dans le tableau suivant :

Tableau 27 : Evolution dans le temps des besoins en eau pour l'agriculture dans le bassin versant de la Tafna (2008 - 2060).

Année	2008	2010	2015	2020	2025	2030
AEA (Hm³/an)	34,69	34,77	34,96	35,16	35,36	35,57
Année	2035	2040	2045	2050	2055	2060
AEA (Hm³/an)	35,78	35,99	36,21	36,44	36,66	36,90

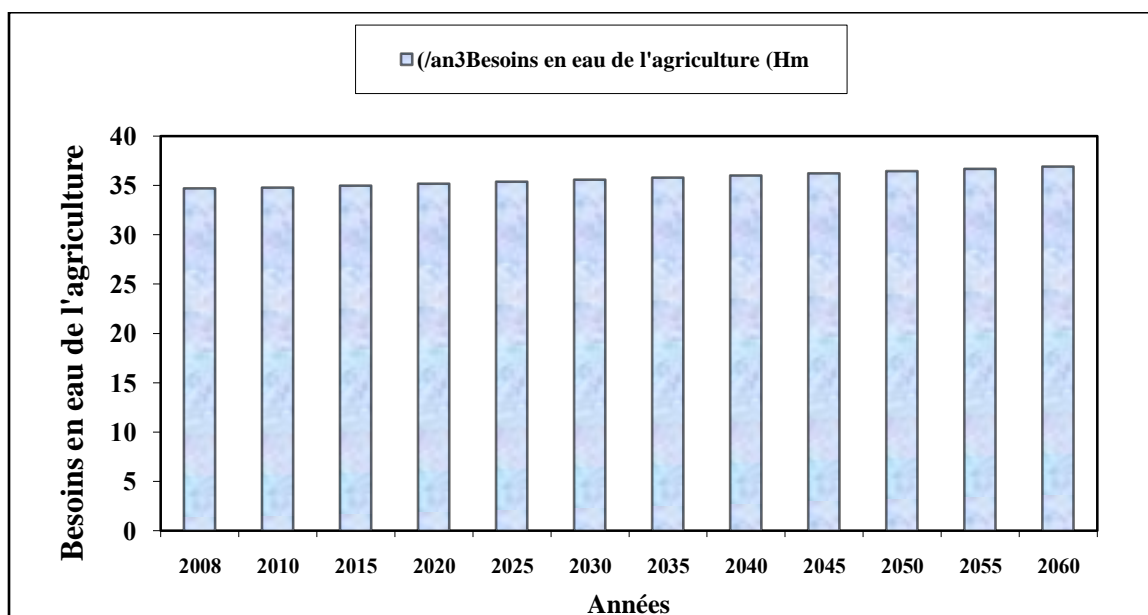


Figure 20 : Evolution dans le temps des besoins en eau de l'agriculture dans le bassin versant de la Tafna (2008 - 2060).

IV. 3. 3. L'alimentation en eau industrielle (AEI) :

La consommation totale de l'eau par l'industrie dans la Wilaya de Tlemcen est estimée par le calcul de la somme des consommations de la zone industrielle ainsi que les zones d'activité.

La consommation dans les zones proches de l'industrie « future parc industrielle » peut être estimée à 4,5 l/j/m². (Boulimi M., 2004)

IV. 3. 3. 1. Les besoins futurs en eau industrielle :

Le besoin industriel en eau pour 2022 est d'environ 6,56 Hm³ et peut atteindre 7,74Hm³ à l'horizon 2060 (tableau 28).

Tableau 28 : Evolution dans le temps des besoins en eau pour l'industrie dans le bassin versant de la Tafna (2008 - 2060).

	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Besoins en eau AEI (Hm³/an)	6,30	6,35	6,47	6,60	6,74	6,87
	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Besoins en eau AEI (Hm³/an)	7,01	7,15	7,29	7,44	7,59	7,74

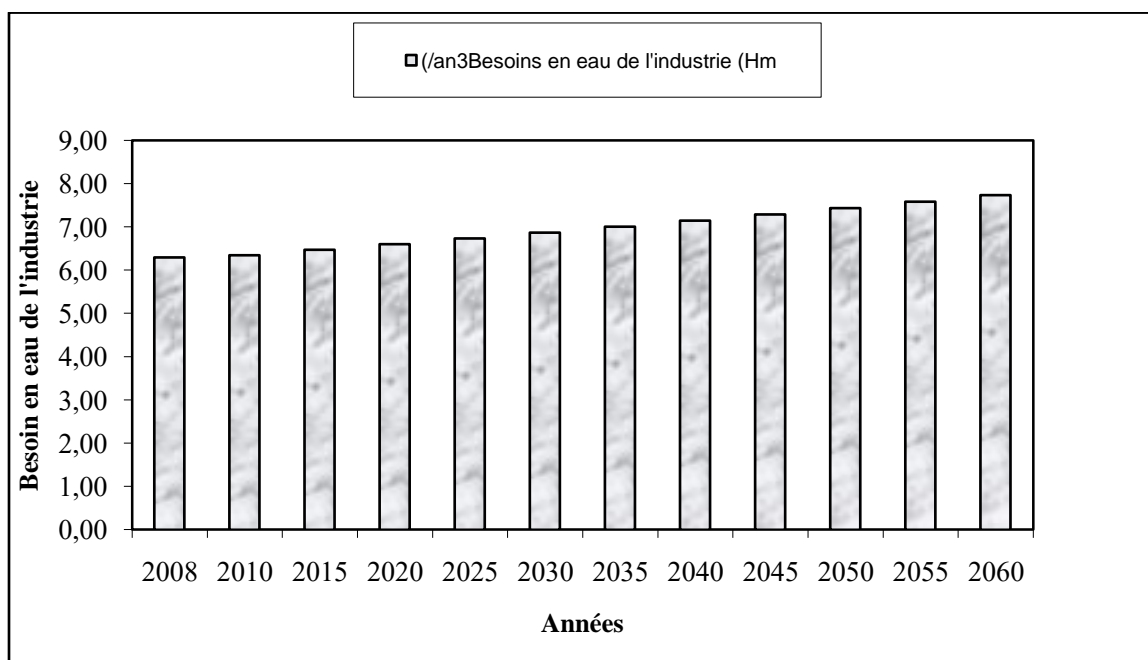


Figure 21 : Evolution dans le temps des besoins en eau pour l'industrie dans le bassin versant de la Tafna (2008 - 2060).

IV. 3. 4. Les besoins en eaux globales dans le bassin versant de la Tafna :

Les besoins en eau globaux pour les différents secteurs dans le bassin versant de la Tafna s'élèvent en 2022 à près de 82,7 Hm³/an. Selon les projections dans le temps, les besoins en eau globaux se situeront en l'an 2030 à près de 87,48 Hm³/an et ils s'élèveront à moyen terme (2045) à 97,37 Hm³/an. Ces besoins atteindront à l'horizon 2060 les 109,05 Hm³/an (Tableau 29).

Tableau 29 : Besoins en eaux globaux des différents secteurs usagers dans le bassin versant de la Tafna (2008 - 2060).

	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Besoins en AEP (Hm³/an)	34.64	35.48	37.66	39.97	42.43	45.04
Besoins en AEA (Hm³/an)	34,69	34,77	34,96	35,16	35,36	35,57
Besoins en AEI (Hm³/an)	6,30	6,35	6,47	6,60	6,74	6,87
Besoins Globaux	75,63	76,60	79,10	81,74	84,53	87,48
	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Besoins en eau AEP (Hm³/an)	47.81	50.75	53.86	57.71	60.69	64.42
Besoins en AEA (Hm³/an)	35,78	35,99	36,21	36,44	36,66	36,90
Besoins en AEI (Hm³/an)	7,01	7,15	7,29	7,44	7,59	7,74
Besoins Globaux	90,60	93,89	97,37	101,05	104,94	109,05

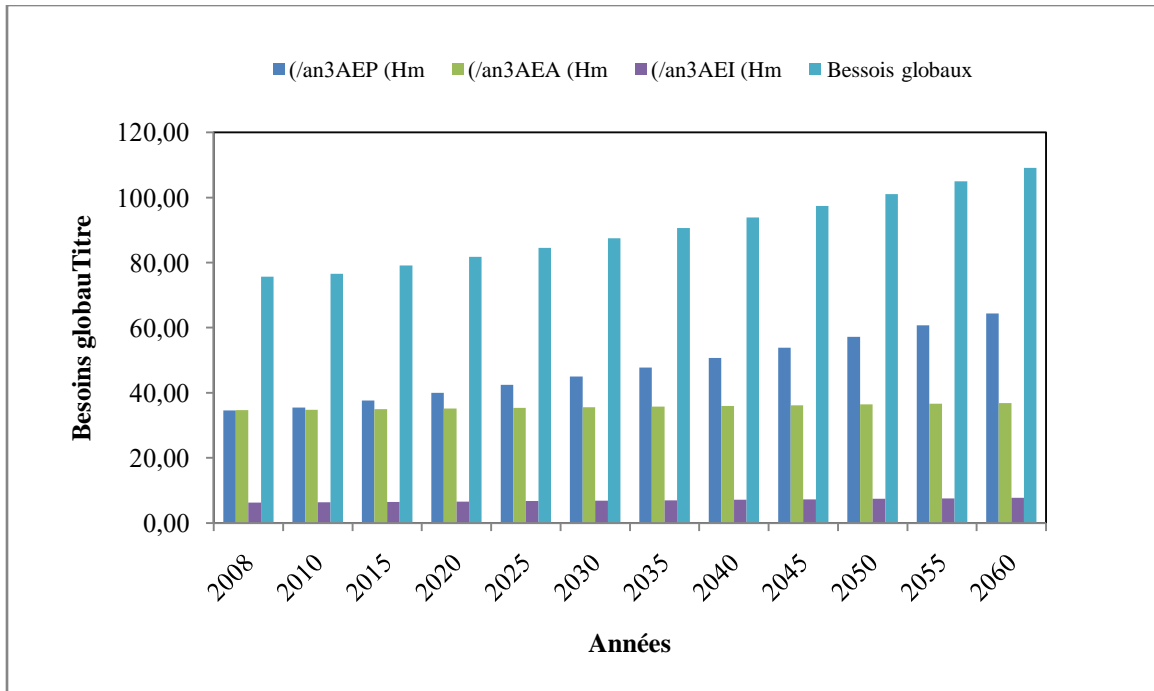


Figure 22: Evolution des besoins en eau globaux des différents secteurs usagers dans le bassin versant de la Tafna (2008 - 2060).

IV.4 La confrontation "Besoins/ Ressources" en eaux pour les agglomérations du bassin versant des Côtiers Oranaisaux différents horizons (2008- 2060) :

La confrontation entre les besoins et les ressources en eau est la comparaison entre la demande actuelle et prévue en eau et les ressources existantes. Elle fonctionne sur le principe de constater l'adéquation ou la pénurie des ressources et de révéler les problèmes posés par l'apparition de cette dernière (pénurie) à long terme. (Khalifaoui F., 2008).

L'indicateur de consommation est le rapport entre les besoins totaux en eau et les ressources en eau naturelles renouvelables dans la zone d'étude, et à court terme (2030) cet indicateur est d'environ 21,07%, et à moyen terme (2045) il monte à 23,46%. À long terme (2060), cela représente environ 26,27 %, car les besoins totaux en eau dans notre zone d'étude sont d'environ 82,7 Hm³/an en 2022, et les ressources en eau naturelles renouvelables actuelles sont estimées à 415 Hm³/an. (tableau 30).

Tableau30 : Besoins en eau globaux et indices de consommation des différents secteurs usagers dans le bassin versant de la Tafna(2008-2060).

	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Besoins Globaux	75,63	76,60	79,10	81,74	84,53	87,48
Indice de consommation (%)	18.22	18.45	19.06	19.69	20.36	21.07
	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Besoins Globaux	90,60	93,89	97,37	101,05	104,94	109,05
Indice de consommation (%)	21.83	22.62	23.46	24.34	25.28	26.27

A- Scénario de référence (réel) :

D'après la Figure 23 on remarque que la transition vers la rareté, lorsque les besoins en eau atteignent la quantité d'eau mobilisée, commence en 2054, et l'approche de la gestion de l'eau passe de la phase de la gestion de l'offre vers la phase de la gestion de la demande.

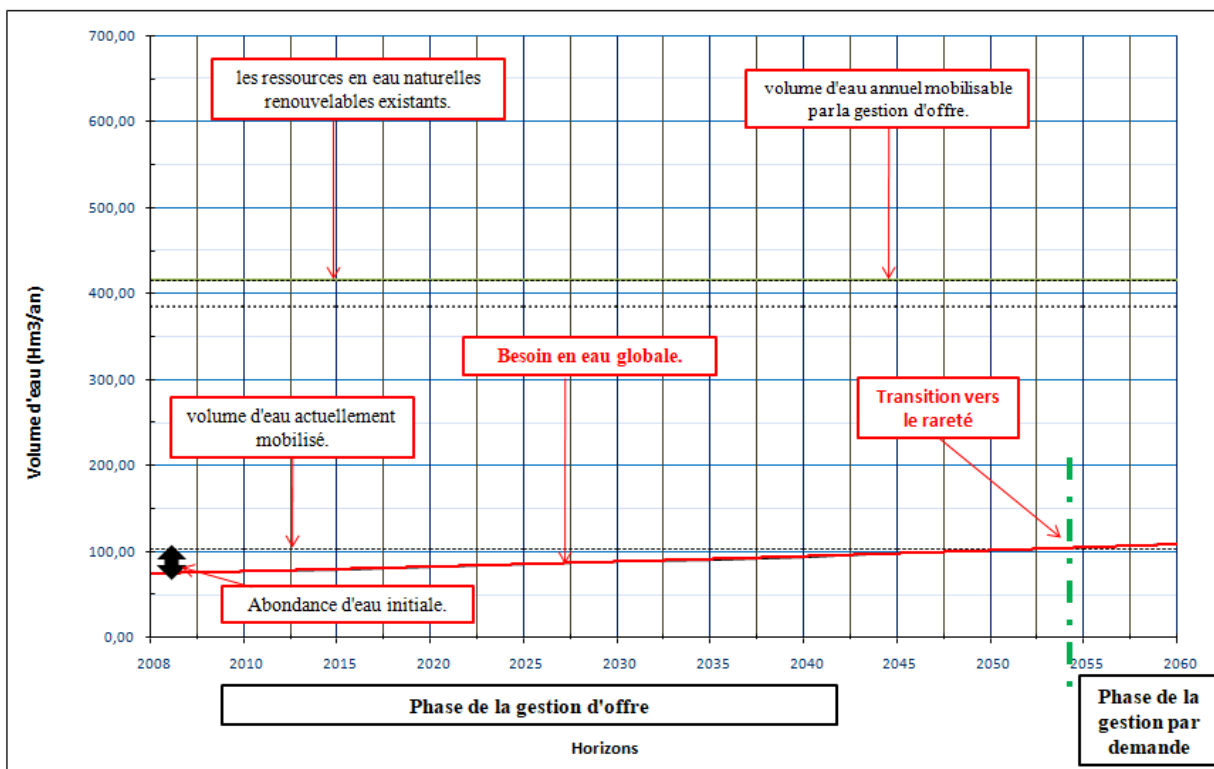


Figure 23 : Modèle théorique de la transition de la gestion de l'eau par l'offre à la gestion de la demande en eau dans le bassin versant de la Tafna aux différents horizons (2008-2060) : courbe de l'évolution des besoins en eau globaux et des ressources mobilisées (D'après Treyer S., 2006. Modifiée).

B- Scénario optimiste (apport des eaux non-conventionnelles) :

Ce scénario repose sur l'ajout de ressources non conventionnelles (dessalement de l'eau de mer et traitement des eaux usées) afin de résoudre le problème de pénurie d'eau auquel nous serons peut-être confrontés à l'avenir, avec des capacités de production différentes (60 %, 80 % et 100 %). À de telles capacités, les usines peuvent produire respectivement $102,64\text{Hm}^3$, $136,85\text{Hm}^3$ et $171,07\text{Hm}^3$.

D'après les figures 24, 25 et 26, il ressort que l'impact des ressources non conventionnelles comble la situation de rareté même au-delà de l'année 2060 pour les trois capacités de production.

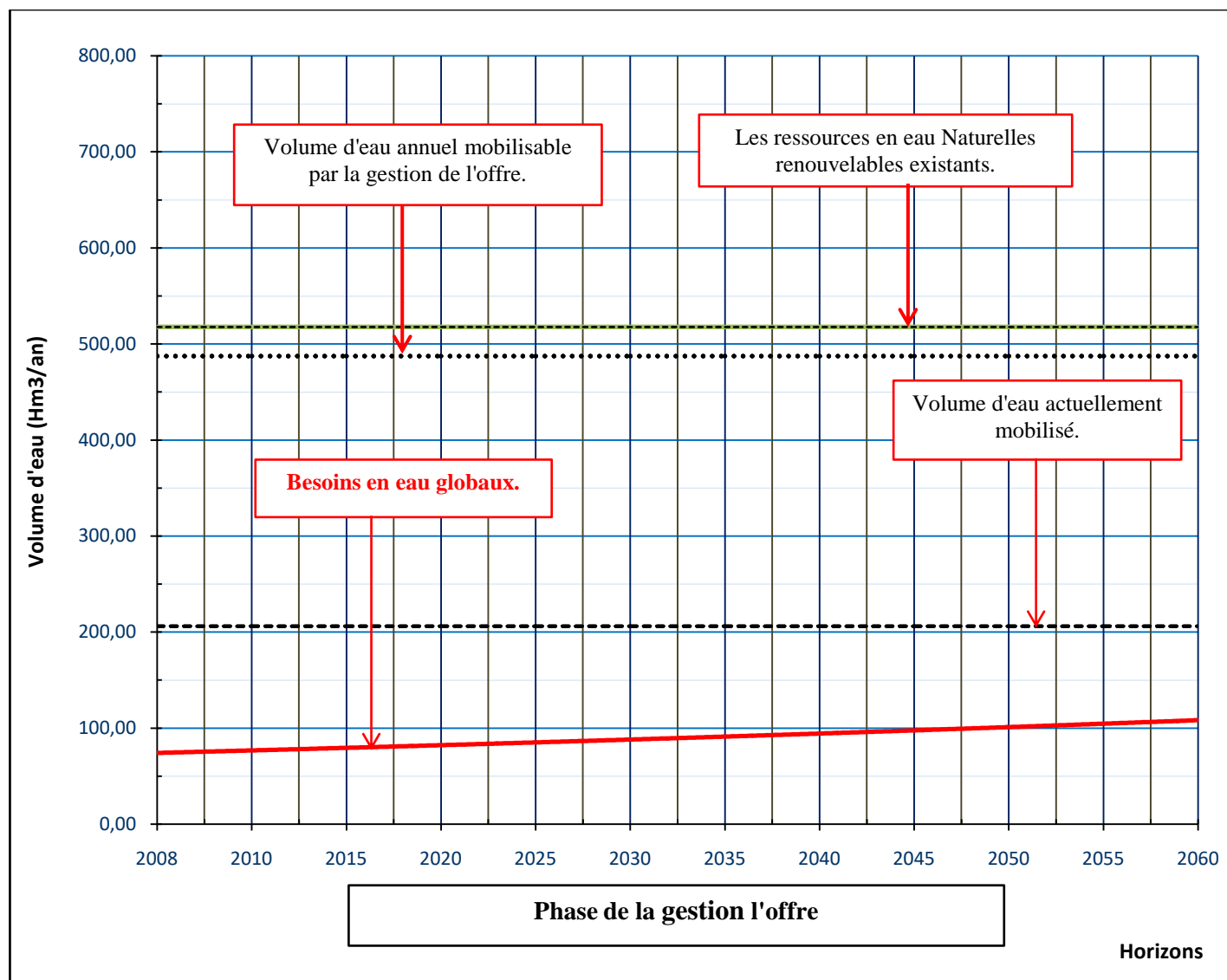


Figure 24 : Modèle théorique de la transition de la gestion de l'eau par l'offre à la gestion dans le bassin versant de la Tafna aux différents horizons pour le scénario optimiste avec un apport des eaux non-conventionnelles à 60% de capacité de production (2008-2060) : courbe de l'évolution des besoins en globaux et des ressources mobilisées. (D'après S. Treyer. 2006 Modifiée).

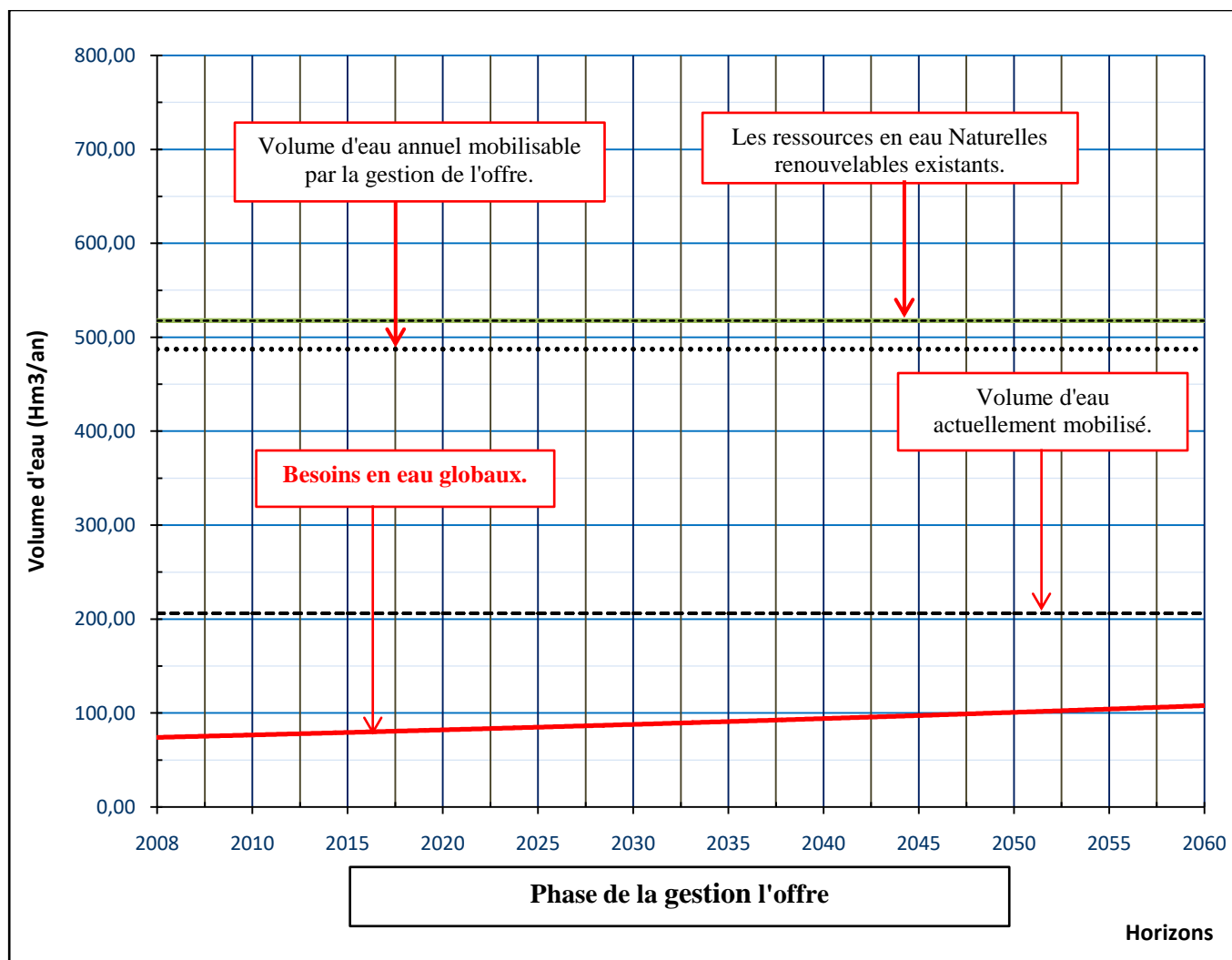


Figure 25 : Modèle théorique de la transition de la gestion de l’eau par l’offre à la gestion dans le bassin versant de la Tafna aux différents horizons pour le scénario optimiste avec un apport des eaux non-conventionnelles à 80% de capacité de production (2008-2060) : courbe de l’évolution des besoins en globaux et des ressources mobilisées. (D’après S. Treyer. 2006 Modifiée).

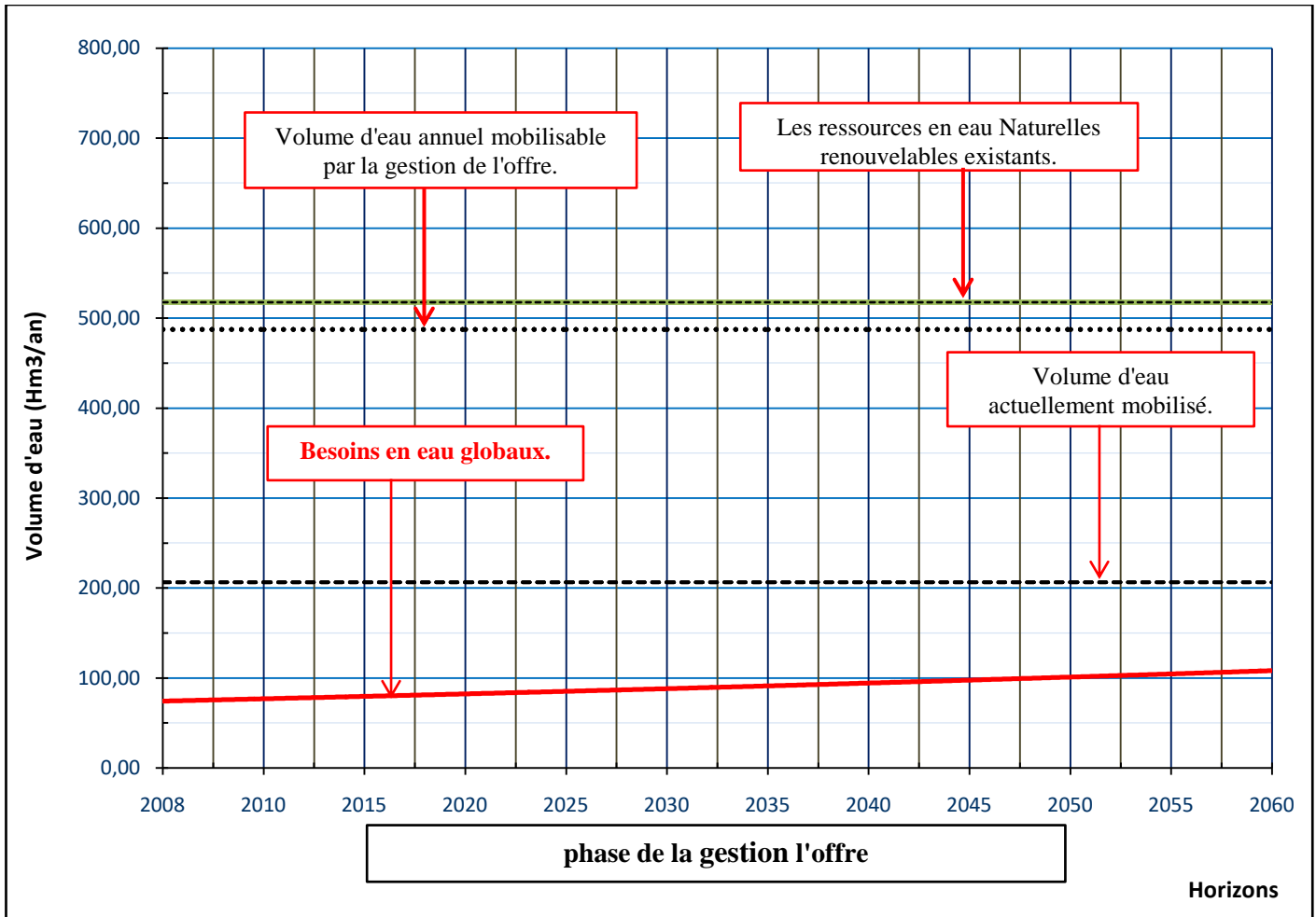


Figure 26: Modèle théorique de la transition de la gestion de l'eau par l'offre à la gestion dans les agglomérations du bassin versant de la Tafna aux différents horizons (2008-2060) pour le scénario optimiste avec un apport des eaux non-conventionnelles à 100% de capacité de production: courbe de l'évolution des besoins en globaux et des ressources mobilisées. (D'après S. Treyer. 2006 Modifiée).

C-Scénario pessimiste :

Dans ce scénario, nous incluons l'impact du changement climatique et plus particulièrement la sécheresse qui sévit depuis plusieurs décennies (depuis 1975 selon Djellouli F. et al.). Selon les Modèles Globaux de Circulation de prévision de la sécheresse du GCM, y compris CMIP (Compared Model Intercomparison Project), le projet de comparaison de modèles couplés dans la version 2 prévoit une diminution des précipitations de 15 mm et une augmentation de la température de 2 °C. Une telle situation pourrait entraîner une réduction d'environ 10% du volume de ruissellement et d'intrusion dans une zone au climat similaire à la notre (Djelfa) (Benlahrech A. I., 2019).

Sur la base de la diminution des ressources mobilisable et mobilisées précitée (d'environ 10%) notre scénario pessimiste est élaboré sur la base du scénario réel et du scénario optimiste (apport en eau non conventionnelle).

Selon les figures 27, 28, 29 et 30, ce scénario montre que le déficit enregistré en 2054 dans le scénario réel va être avancé de 14 ans, soit l'année 2040 (Figure 27), quant à la contribution des eaux non conventionnelles (60%, 80% et 100% de la capacité de production), la situation de rareté va être surement avancée par rapport au scénario optimiste.

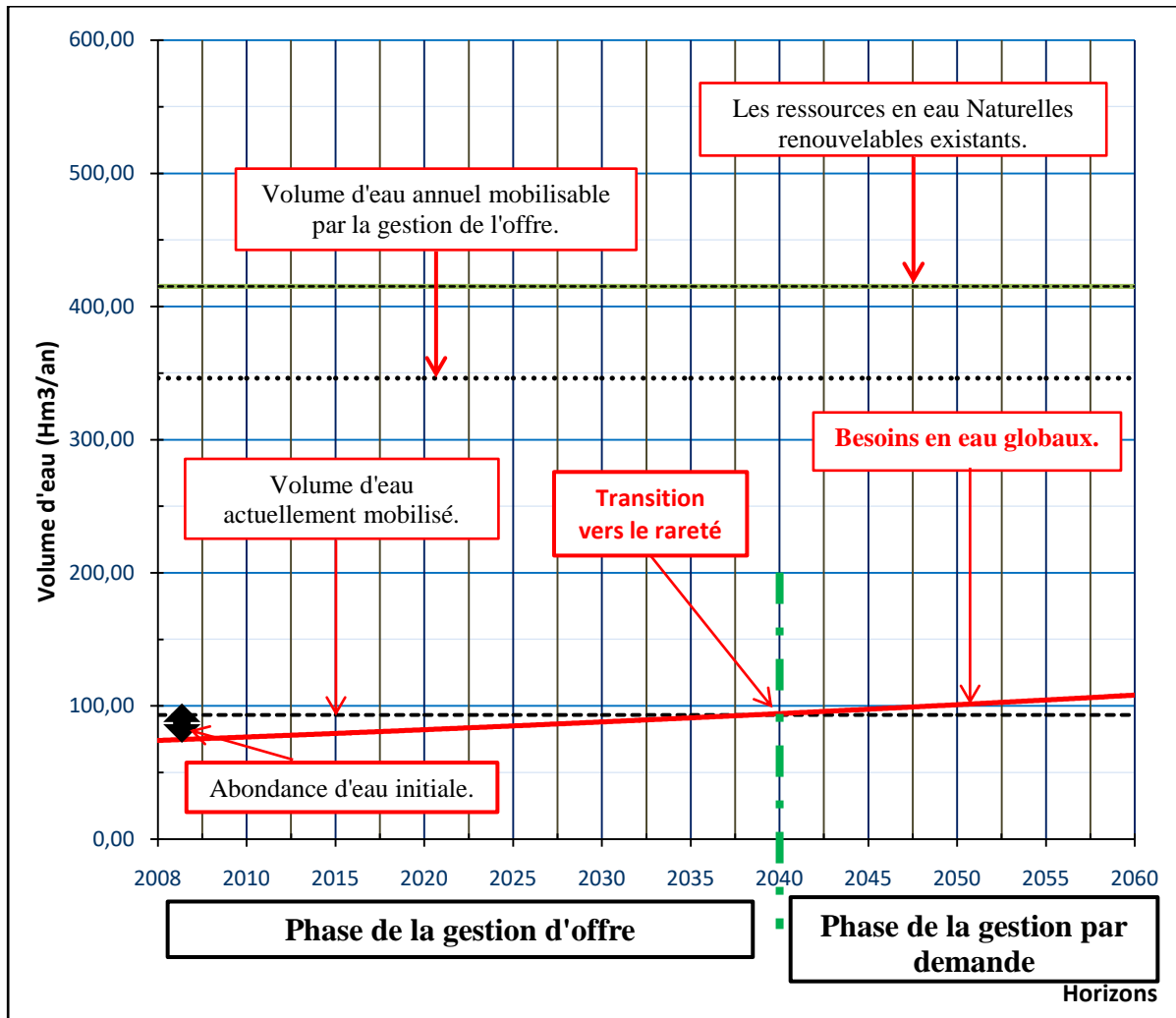


Figure 27 : Modèle théorique de la transition de la gestion de l'eau par l'offre à la gestion de la demande en eau dans le bassin versant de la Tafna aux différents horizons (2008-2060) pour le scénario pessimiste avec une diminution des ressources mobilisables et mobilisés de 10% : courbe de l'évolution des besoins en eau globaux et des ressources mobilisées (D'après Treyer S., 2006. Modifiée).

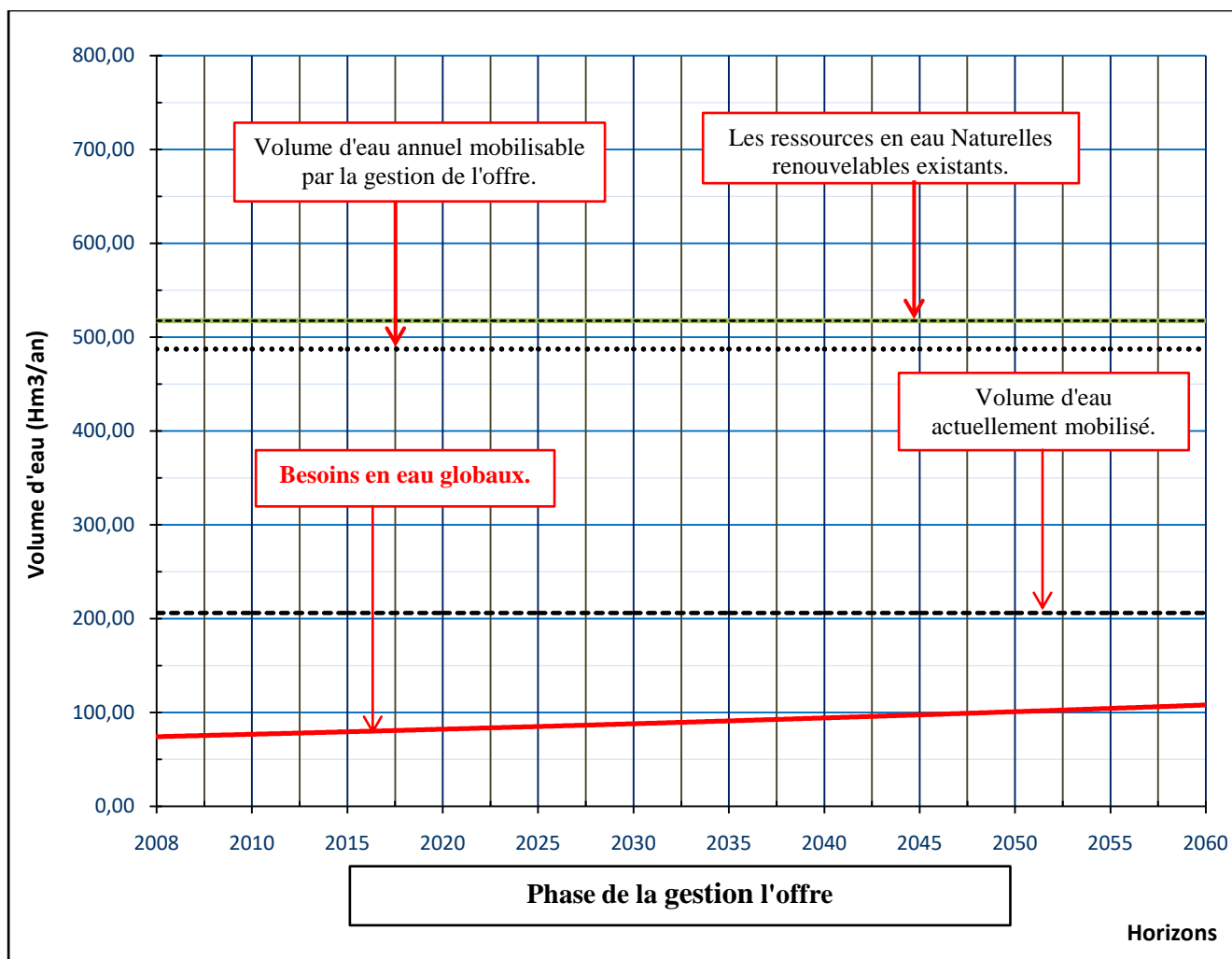


Figure 28 : Modèle théorique de la transition de la gestion de l'eau par l'offre à la gestion de la demande en eau dans le bassin versant de la Tafna aux différents horizons (2008-2060) pour le scénario pessimiste avec l'apport des ressources non-conventionnelles à 60% de la capacité de production : courbe de l'évolution des besoins en globaux et des ressources mobilisées (D'après Treyer S., 2006. Modifiée).

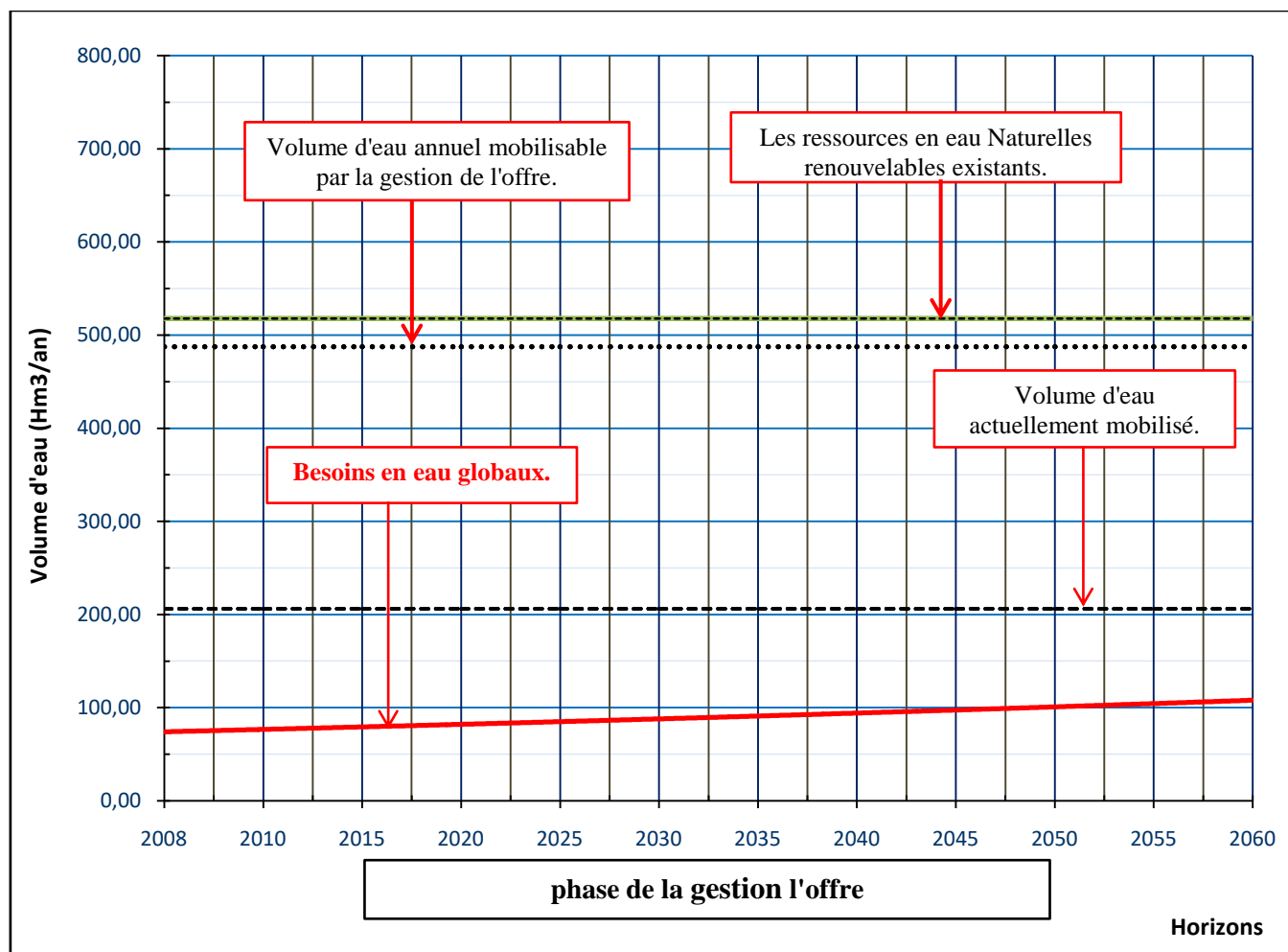


Figure 29 : Modèle théorique de la transition de la gestion de l'eau par l'offre à la gestion de la demande en eau dans le bassin versant de la Tafna aux différents horizons (2008-2060) pour le scénario pessimiste avec l'apport des ressources non-conventionnelles à 80% de la capacité de production : courbe de l'évolution des besoins en globaux et des ressources mobilisées (D'après Treyer S., 2006. Modifiée).

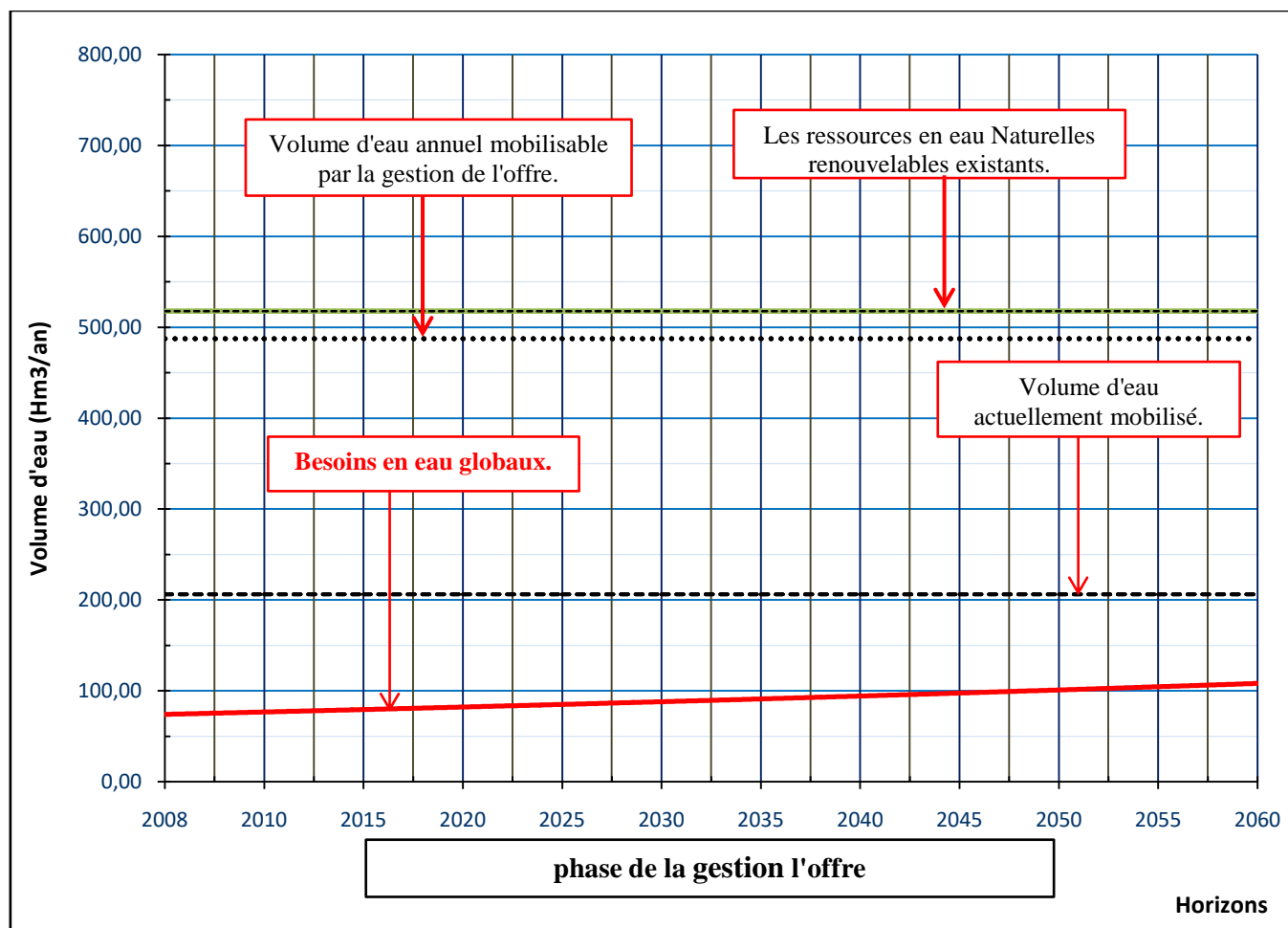


Figure 30 : Modèle théorique de la transition de la gestion de l'eau par l'offre à la gestion de la demande en eau dans le bassin versant de la Tafna aux différents horizons (2008-2060) pour le scénario pessimiste avec l'apport des ressources non-conventionnelles à 100% de la capacité de production : courbe de l'évolution des besoins en globaux et des ressources mobilisées (D'après Treyer S., 2006. Modifiée).

D- Scénario "Effet du tourisme" :

Tlemcen est l'une des villes côtières les plus importantes de l'Algérie, alliant beauté de la nature et monuments. Elle reçoit des milliers de touristes chaque année, ce qui affecte la consommation d'eau, et selon les attentes, le nombre de touristes pour 2022 est de 20 390 touristes (nous simulons ici que le nombre de touristes augmentera de 5% tous les 5 ans avec une dotation moyenne de 100 l/j/ha).

D'après les graphes représentés par les figures 31, 32, 33, 34 et 35, il semble que la situation s'aggrave par rapport au scénario réel, il sera avancé de 15 ans (2039). Quant au scénario apport des eaux non-conventionnelles, le tourisme n'aura pas un effet considérable sur le scénario en question.

Dans le scénario pessimiste, l'impact du tourisme augmentera inévitablement la rareté de 13 ans de plus, ce qui signifie l'année 2027.

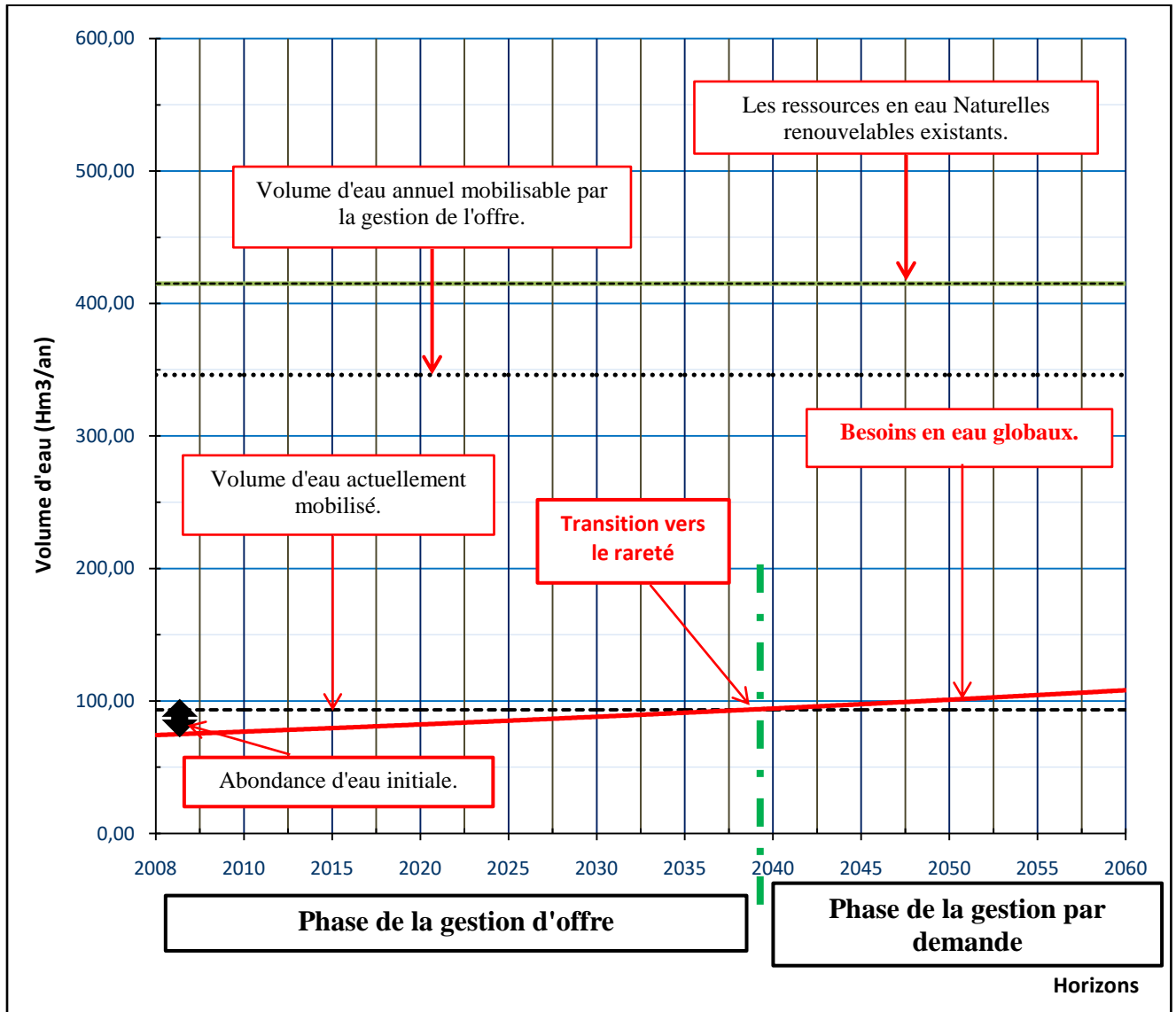


Figure 31 : Modèle théorique de la transition de la gestion de l'eau par l'offre à la gestion de la demande en eau dans le bassin versant de la Tafna aux différents horizons (2008-2060) pour le scénario "Effet du tourisme" : courbe de l'évolution des besoins en eau globaux et des ressources mobilisées (D'après Treyer S., 2006. Modifiée).

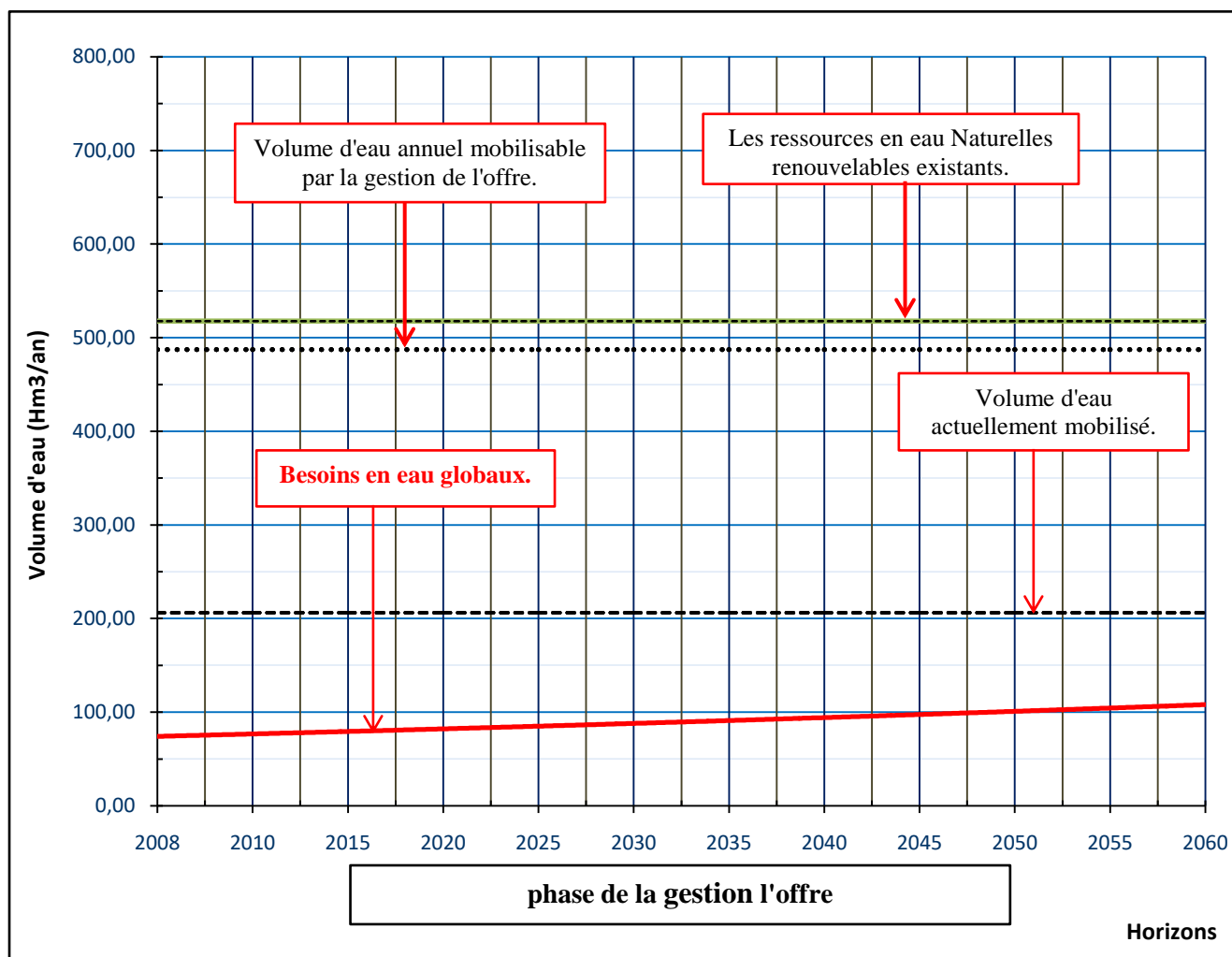


Figure 32 : Modèle théorique de la transition de la gestion de l'eau par l'offre à la gestion de la demande en eau dans le bassin versant de la Tafna aux différents horizons (2008-2060) pour le scénario "Effet du tourisme" avec un apport des ressources non-conventionnelles à 60% de la capacité de production: courbe de l'évolution des besoins en eau globaux et des ressources mobilisées (D'après Treyer S., 2006. Modifiée).

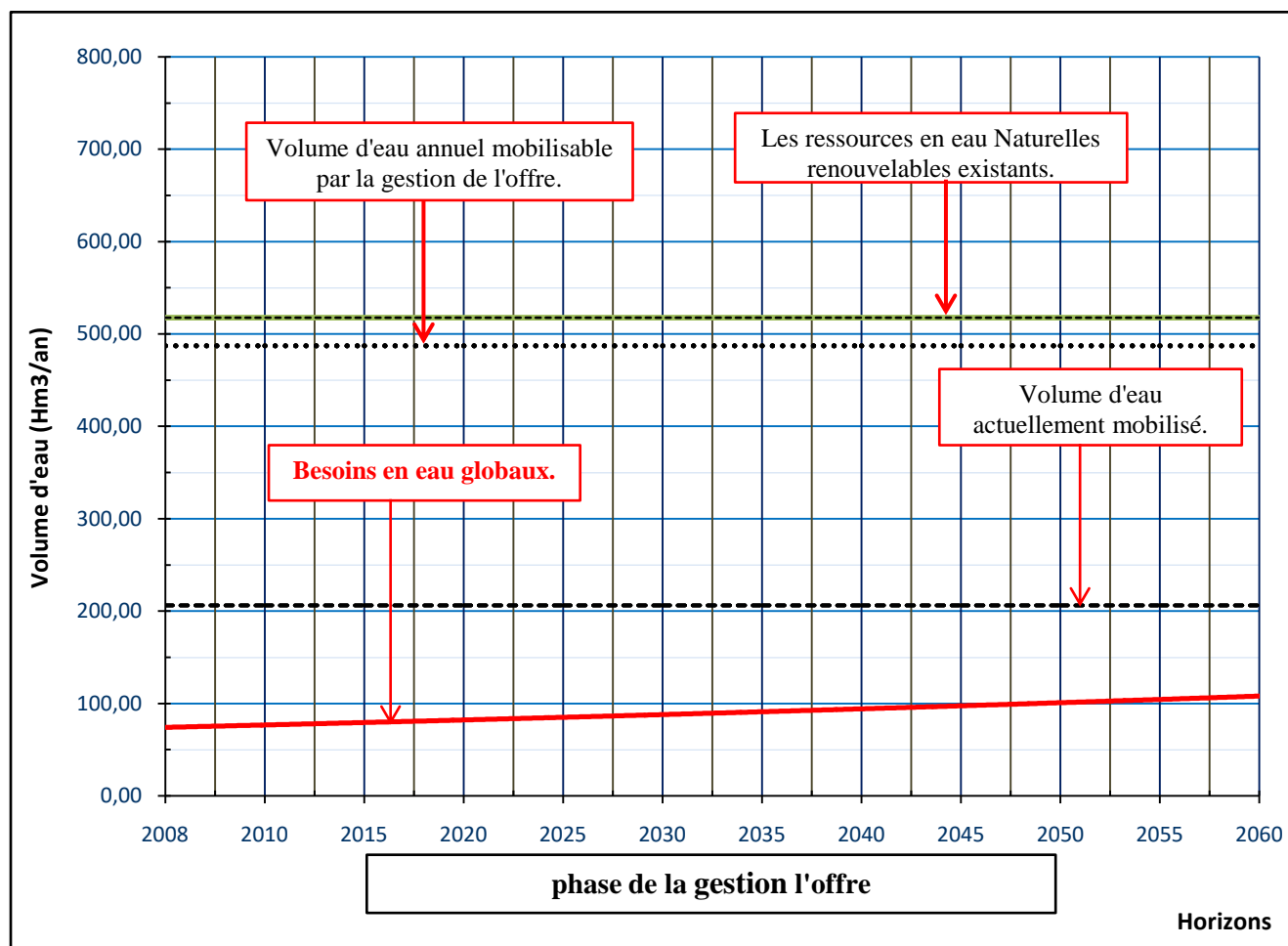


Figure 33 : Modèle théorique de la transition de la gestion de l'eau par l'offre à la gestion de la demande en eau dans le bassin versant de la Tafna aux différents horizons (2008-2060) pour le scénario "Effet du tourisme" avec un apport des ressources non-conventionnelles à 80% de la capacité de production: courbe de l'évolution des besoins en eau globaux et des ressources mobilisées (D'après Treyer S., 2006. Modifiée).

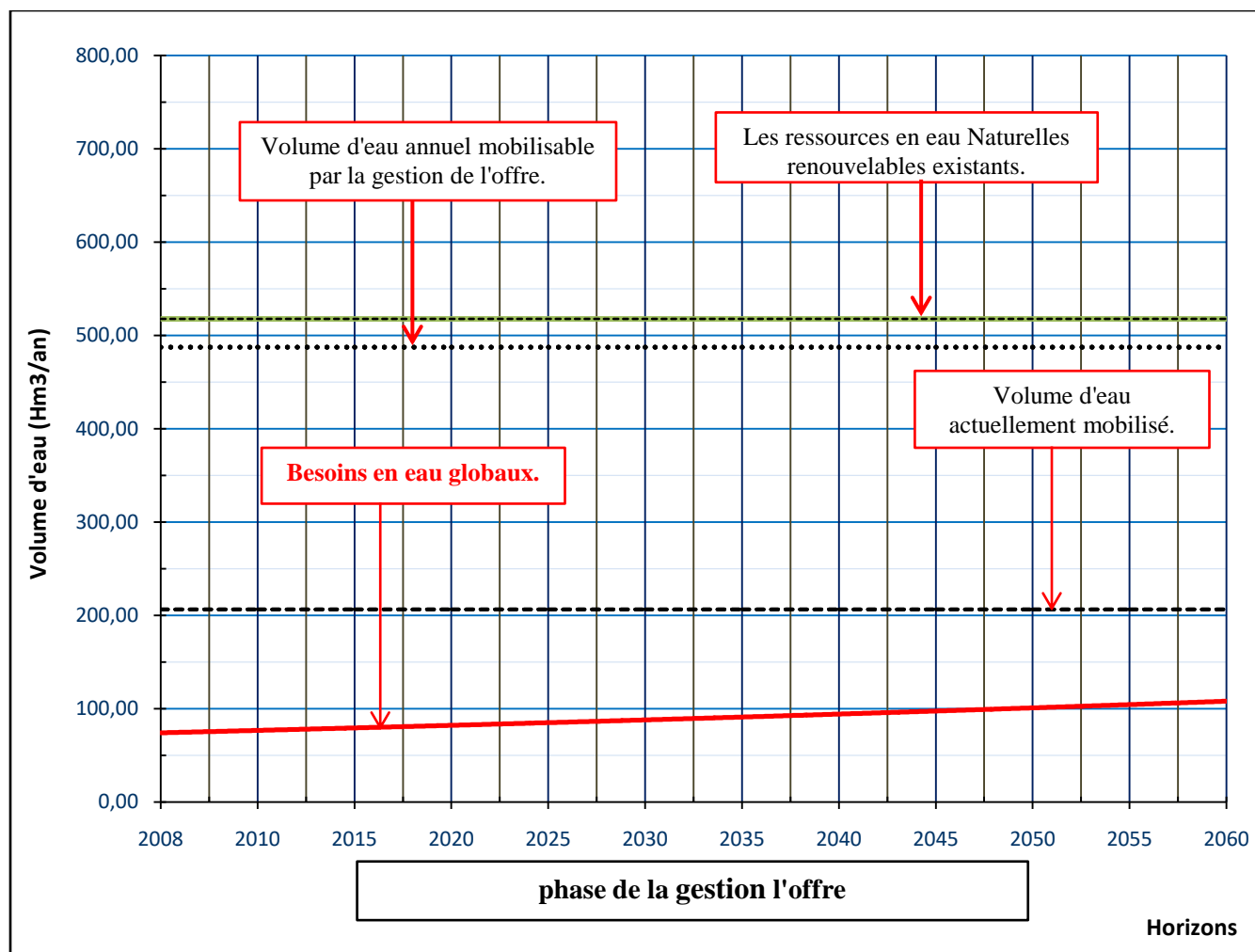


Figure 34 : Modèle théorique de la transition de la gestion de l'eau par l'offre à la gestion de la demande en eau dans le bassin versant de la Tafna aux différents horizons (2008-2060) pour le scénario "Effet du tourisme" avec un apport des ressources non-conventionnelles à 100% de la capacité de production: courbe de l'évolution des besoins en eau globaux et des ressources mobilisées (D'après Treyer S., 2006. Modifiée).

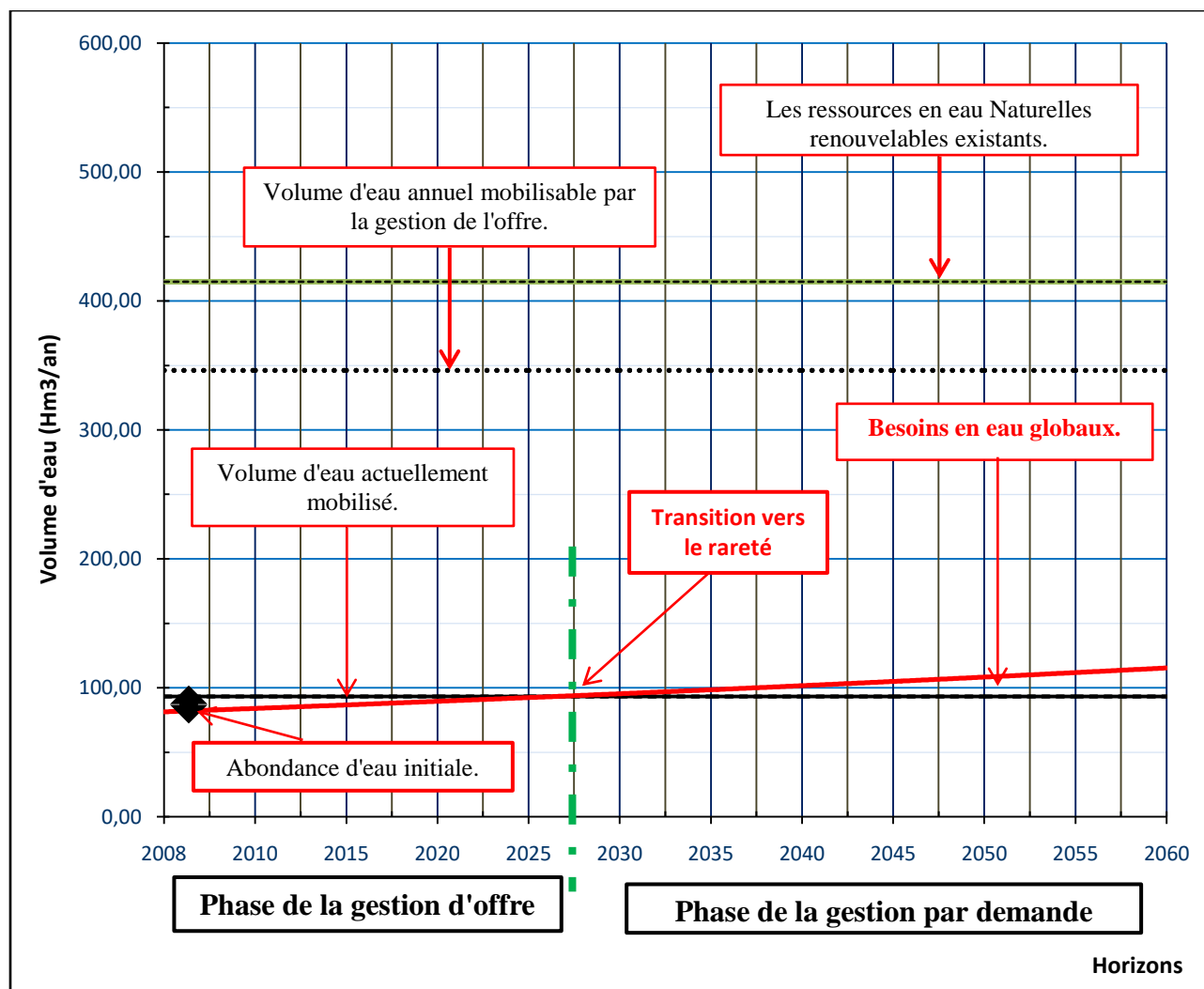


Figure 35: Modèle théorique de la transition de la gestion de l'eau par l'offre à la gestion de la demande en eau dans la le bassin versant de la Tafna aux différents horizons (2008-2060) pour le scénario "Effet du tourisme" avec une diminution de 10% des ressources mobilisables et mobilisés : courbe de l'évolution des besoins en eau globaux et des ressources mobilisées (D'après Treyer S., 2006. Modifiée).

IV.5 Conclusion :

Le diagnostic du bassin versant de la Tafna en terme de ressources en eau nous démontré des volumes de l'ordre de 415 Hm³ comme des ressources renouvelables parmi lesquelles 384.6 Hm³/an sont mobilisables et 103.57 Hm³/an mobilisé.

Les calculs ont montré que les besoins en eau globaux sont de 82,7 Hm³/an en 2022, de 87,48Hm³/an à court terme (2030), de 97,37Hm³/an à moyen terme (2045) et de 109,05Hm³/an à long terme (2060).

La confrontation entre les besoins et les ressources en eau existantes a démontrée une transition vers la rareté d'eau vers l'année 2054, à partir de laquelle l'approche de la gestion de l'offre sera remplacée par la gestion par la demande. Comme réponse à de tel problème, l'eau non-conventionnelle a été utilisée comme solution, reportant ainsi la rareté après l'horizon 2060.

Et si l'on tient compte de l'impact potentiel de la sécheresse, la pénurie apparaît en l'an 2040, quatorze ans en avance par rapport au scénario réel. Cependant, en ajoutant le volume des eaux non-conventionnelles, la rareté va être reportée au-delà de l'horizon 2060.

Dans le scénario de "Effet du tourisme", la rareté commence à partir de l'année 2039 par rapport au scénario réel et à partir de l'année 2027 dans le scénario pessimiste ce qui implique une aggravation de la situation actuel. Pour le scénario optimiste, la rareté ne sera pas observé d'ici l'année 2060.

***CONCLUSION
GENERALE***

Conclusion générale :

A travers ce mémoire de fin d'études de master, nous avons abordé la problématique de ce mémoire qui parlait des ressources en eau et leurs impacts sur le développement des agglomérations du bassin versant de Tafna, et nous avons pu conclure que :

Le bassin versant de Tafna situé au Nord-Ouest de l'Algérie, Il couvre la majeure partie de wilaya de Tlemcen.

Lithostratigraphiquement, la région d'étude est caractérisée par des formations d'âge allant du primaire jusqu'au Plio-quaternaire. Du point de vu géologiques, les formations de la région ont un âge allant du Jurassique supérieur jusqu'au début du Crétacé.

Le bassin versant de la Tafna est caractérisé par un climat aride. Les précipitations durant la période (2009-2022) sont de 323.92 mm, la température moyenne annuelle est de 17.99 °C. L'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR) déterminées par la méthode de Thornthwaite, sont respectivement égales à : 906.6 mm/an et 287.1 mm/an.

Hydrologiquement notre bassin versant est caractérisé par un réseau hydrographique dense, ainsi que par une multitude de nappes d'eau souterraines.

Le diagnostique du bassin versant de la Tafna en terme de ressources en eau nous a donné des volumes de l'ordre de 415 Hm³/an comme des ressources renouvelables parmi lesquelles 384.6 Hm³/an sont mobilisables et 103.57 Hm³/an mobilisé. Les besoins en eau globaux sont de 82,7 Hm³/an en 2022, de 87,48 Hm³/an à court terme (2030), de 97,37 Hm³/an à moyen terme (2045) et de 109,05 Hm³/an à long terme (2060). La confrontation entre l'offre (ressources disponibles) et la demandes en eau actuelles et futures a mis en évidence une transition vers la rareté d'eau vers l'année 2054, à partir de laquelle l'approche de la gestion de l'offre sera remplacée par la gestion par la demande. Comme réponse à de tel problème, l'eau non-conventionnelle a été utilisée comme solution, reportant ainsi la rareté après l'horizon 2060. Et si l'on tient compte de l'impact potentiel de la sécheresse, la rareté apparaît en l'an 2040, quatorze ans en avance par rapport au scénario réel. Cependant, en ajoutant le volume des eaux non-conventionnelles, la rareté va être reportée au-delà de l'horizon 2060. Dans le scénario de "Effet du tourisme", la rareté commence à partir de l'année 2039 par rapport au scénario réel et à partir de l'année 2027 dans le scénario pessimiste ce qui implique une aggravation de la situation actuel. Pour le scénario optimiste, la rareté ne sera pas observée d'ici l'année 2060.

Les recommandations suivantes seront proposées pour conserver les ressources en eau et répondre aux défis hydriques qui se poseront pour l'avenir dans la zone d'étude :

- Conservation des ressources en eau pour assurer leur survie et leur sécurité ;
- Mener des campagnes de sensibilisation pour rationaliser la consommation d'eau ;

CONCLUSION GENERALE

- Lutter contre le gaspillage en diffusant une culture de consommation et sensibiliser les citoyens à l'importance de l'eau par des flashes publicitaires pour sensibiliser à l'importance de l'eau comme richesse vitale et essentielle et pour un développement global et durable ;
- Rénovation du réseau de distribution des eaux ;
- Soutenir l'investissement privé dans le domaine du développement des ressources en eau ;
- La nécessité de développer un système de gestion intégrée et flexible des ressources en eau.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Adjim M et Bensaoula F., 2008. Larhyss Journal ISSN 1112-3680.n°07. Tlemcen : s.n., 2008. pp. 79-92.

Alkanej Y., 2008. Etude de l'effet de l'aération naturelle sur la pollution résiduaire des eaux épurées de la zone de l'Hennacha W. Souk haras (N.E.Algérien).Mémoire magister, Université Badji Moukhtar Annaba, p 45.

A.N.R.H., 2013. Annuaire hydrologique de l'Algérie et étude pédologique du bassin de la Tafna.

Baba Hamed K. & Bouanani A., 2016. Caractérisation d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques : Cas du bassin versant de la Tafna. (Nord-ouest algérien). Geo-Eco-Trop., 2016, 40, 4 : 277-286.

Badraoui A & Tiar S., 2019. Apport du modèle WEAP dans l'étude prospective de la balance offre/demande en eau dans le bassin versant de la Tafna, MEMOIRE, Université AboubakrBelkaïd – Tlemcen –, 164 p.

Bahmed D., 2015. Bilan hydrique et évaluation des ressources en eau superficielle du bassin de la Mecta. These de Doctora, Option : Hydraulique, fac.AGC, Univ. des Sciences et de la Technologie d'Oran, 167p.

Baghli N., 2018. Elaborations d'une méthodologie d'organisation de l'information pour une meilleure gestion des ressources en eau. These de Doctora, Option : Hydraulique, fac.TECHNOLOGIE, Université AboubakrBelkaïd – Tlemcen –, 164 p.

Bakria M., 2017. Essai de gestion intégrée des ressources en eau dans la wilaya de Guelma, mémoire de Master en sciences de la terre et de l'univers option : Villes et Dynamiques Spéciales, fac. SNV, Univ. de Djelfa, 72p.

Benabdellah M., 2012. Analyse photoécologique des groupements à thuya et à chêne vert dans les monts de Tlemcen. Magister. Tlemcen, Algérie : Université de Tlemcen,.

Benest M., 1985. Evolution de la plate forme de l'Ouest algérien et du Nord - Est marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : Stratigraphie, milieux de dépôts et dynamique sédimentaire. Thèse, Doctorat, Lab., Géol. Univ, Lyon. Fasc. 1., 367 p., 107 fig.

Benlahrech A. I., 2019. Evaluation de la sécheresse et comparaison de son impact sur la gestion des ressources en eau des agglomérations des sous bassins versants de la basse Seybouse et de l'oued Djelfa-Hadjia. Mémoire de Master, option : Villes et Dynamiques Spéciales, fac. SNV, Univ. de Djelfa, 104p.

Benmoussat A., 2011. Impacte de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin de la Tafna. Doctorat. Tlemcen, Algérie : Université de Tlemcen.

Bouanani A., 2004. Modélisation et étude de quelques sous bassins de la Tafna. Doctorat. Tlemcen, Algérie : Université de Tlemcen. 236 p.

Boulimi M., 2004. Alimentation en eau potable, Note de cours. Tunis, 142p.

Chaib D et Tani M., 2019. Acteurs de l'eau et leurs interactions dans la gestion de l'eau au niveau du bassin versant Tafna, Mémoire, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –, 96 p.

Dahmani A., 2010. Impact des changements climatiques sur les ressources en eau dans le bassin versant de Oued Fekan wilaya de mascara. Thèse de doctorat es-sciences, Univ. des Sciences et de la Technologie d'Oran, 71p.

Djellouli F., Bounani A. & Babahamed K., 2016. Climate change: assessment and monitoring of meteorological and hydrological drought of wadi el hammam basin (NW-Algeria). J. Fundam. Appl. Sci., 8(3), 1037-1053.

Elouissi A., 2016. Changement climatique, impacts et vulnérabilité. cas du bassin versant de la macta. These de Doctora, option : Hydraulique, fac.SI, Univ. Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, 240p.

Hamlat A., 2014. Contribution a la gestion des ressources en eau des bassins versants de l'Ouest algérien a l'aide d'un système informatise. Thèse de Doctorat, Option : Hydraulique, fac. AGC, Univ. des Sciences et de la Technologie d'Oran, 164p.

Khadri S., 2009. Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impacts des néofacteurs de pollution. Mémoire de Magister, En Géologie, option : Géo-Sciences, FST, Univ. d'Annaba, 108p.

Khalfaoui F., 2008. Ressources en eau et gestion intégrée Dans le bassin versant du saf-saf (Nord-Est Algérien), mémoire de Magister en géologie, option : Hydrogéologie, Fac. ST, Univ. d'Annaba, 129p.

Mahammedi H., 2017. Analyse et tendance des écoulements superficiels entrant aux barrages du BV de la Tafna, Mémoire, Université Aboubekr Belkaid – TLEMCEM, 67 p.

Ministre de l'Agriculture et de développement rural in Annuaire statistique de l'Algérie 2000/2001.

Ministre de l'Agriculture et de développement rural in Annuaire statistique de l'Algérie 2013/2014, 324p.

Ministre de L'Hydraulique, Bureau National des Etudes Forestières, Etude d'aménagement du bassin versant de l'oued Rhiou. phase 2, 4205, 80p.

Monographie de la wilaya de Tlemcen, 2013.

ONS: Office National des Statistiques, 2008.

ONM: Office National des Météo, 2021.

Ouanouki B., 2012. Modélisation de la demande en eau dans une région aride. Cas de la Wilaya de Djelfa. Revue Nature & Technologie. N° 06. PP 93-105.

Réalisation de l'étude d'actualisation du plan national de l'eau, 2011. Programme MDEA de l'Union Européenne.

SALAMI N., 2021. Mobilisation et gestion des ressources en eau dans la région de l'Oranie., Mémoire, Université Ziane Achour–Djelfa, 102 p.

Tadlaoui S. & Bouabdallah M. E., 2016. L'eau dans le bassin de la Tafna. Mémoire de Master, Univ. Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, 33 p.

Treyer S., 2006. Quelle raréfaction de l'eau faut-il se préparer ? Construire une intervention prospective au service de la planification pour les ressources en eau Tunisie. Thèse de Doctorat, Inst. National Agronomique de Paris, 670p.