



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret–
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie
Département Nutrition et Technologie Agro Alimentaire



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Présenté par :

Bouadou Abdenour Med

Djilaili Youcef

Thème

**Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux
changements climatiques, modélisation par le logiciel
Weap 21 : Cas du bassin versant de Tiaret (Ouest de
l'Algérie**

Soutenu publiquement le 28/09/2021

Jury:

Président: M. Saboua T.

Encadrante: Mme. Zerkaoui L.

Examineur : M. Zerarka A.

Année universitaire 2020-2021

اهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(قل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله و المؤمنون)

صدق الله العظيم

الهي لا يطيب الليل الا بشكرك ولا يطيب النهار الا بطاعتك .. ولا تطيب اللحظات الا بذكرك .. ولا تطيب الآخرة الا بعفوك .. ولا تطيب الجنة

الا برويتك الله جل جلاله

الى من بلغ الرسالة و ادى الامانة .. ونصح الامة .. الى نبي الرحمة ونور العالمين ..

سيدنا محمد صلى الله عليه و سلم

يا من أحمل اسمك بكل فخر

يا من أفتقدك منذ الصغر

يا من يرتعش قلبي لذكرك

يا من اودعتني لله أهديك هذا البحث أجي

الى ملاكي في الحياة .. الى معنى الحب و الى الحنان و التفاني .. الى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي الى اعلى الحبايب امي الحبيبة

الى من بها اكبر و عليها أعتد .. الى امي الثانية .. جدتي فاطمة

الى الغالية صاحبة القلب الطيب خالتي وهيبه

الى الحبيبة صاحبة النوايا الصادقة

عمتي حورية .. الى اخوتي الاعزاء .. الى كل الاقارب

الى من ارى التفاؤل بعينيه .. و السعادة في ضحكته

الى شعلة النكاح و النور .. الى خالي أخي حمزة و خالتي فتيحة

الى الجه المقعم بالبراءة .. الى الزميلة إنتصار دحام

الى كل عائلة يوغنجة و عائلة بوادو

الى من معهم سعديت و برفقتهم في دروب الحياة الحلوة و الحزينة سرت .. الى من كانوا معي على طريق النجاح و الخير

الى من عرفت كيف اجدهم و علموني ان لا اضيعهم .. اصدقائي حسين خير الدين جبار وليد جمال امين احمد .

Bouadou Abdelmour Meid

Dédicaces

Tout d'abord, louange à « الله » qui m'a aidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti. Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et remerciements à : A mes très chers parents qui m'ont aidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin à mon cher père, ma mère qui a été à mes côtés et m'a soutenu durant toute ma vie, ma grand-mère, mes tantes, mes frères. Ainsi qu'à toutes la famille Djilalli , A celui qui m'a collaboré dans la réalisation de ce mémoire, à toi Abdénour Boudaoud . Je ne saurai terminer sans remercier tous mes amis, Ainsi que toute la promotion d'Hydrogéologie

Djilali Youcef

(وما توفيقي إلا بالله و عليه توكلت و إليه انيب)

Dédicaces

Tout d'abord, louange à « الله » qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti. Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et remerciements à : A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin à mon cher grand-père et père Ammar qui nous a quitté et nous a laissé dans les mains de Dieu, ma mère qui a été à mes côtés et m'a soutenu durant toute ma vie, ma grand-mère Fatma ma deuxième mère, mes tantes (Fatima et Wahiba), mes frères . Ainsi qu'à toutes la famille Boughendja et la famille Bouadou , A celui qui m'a collaboré dans la réalisation de ce mémoire, à toi Youcef Djilaili . Je ne saurais terminer sans citer mes amis : Hossin Khaayro Djabbar Walid Djamal Amin Ahmed , Ainsi que toute la promotion de Hydrogéologie

Bouadou Abdenour Med

(قل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله و المؤمنون)

صدق الله العظيم

Remerciement

Toute notre gratitude, grâce et remerciement vont à dieu le tout puissant qui nous a donné la force, la patience, le courage et la volonté pour élaborer ce travail. C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que nous remercions notre promotrice: *Mme Zerkaoui L.*

Ma gratitude à :

Monsieur. *Mouchara Nabil* chef de département

Au frère *Benzegh Mostafa* Ingénieur d'Etat en hydrogéologie de (DRE. Tiaret)

Au directeur du barrage de Bakhda

Nous remercions les membres de jury qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

Monsieur saboua T

Monsieur Zerarka A

Toute notre gratitude va à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation. nous remercions aussi tous nos amis pour leur aide, leur patience.

LISTE DES FIGURES

Liste des Figures

Liste des Figures

FIG. II.1. LES CINQ AFFICHAGES DU MODELE WEAP	27
FIG. II. 2. FENETRE CARTOGRAPHIE WEAP	28
FIG.II. 3. FENETRE BASSE DE DONNEES	29
FIG.II. 4 ORGANIGRAMME DU FONCTIONNEMENT DU LOGICIEL WEAP 21	31
FIGURE III.1. LOCALISATION BASSIN VERSANT D'OUED BAKHADDA.....	35
FIG .III.2. LA CARTE DES PENTES AU NIVEAU DE LA PLAINE DE LA MINA.....	37
FIG .III.3. CARTE DES TRANCHES D'ALTITUDES DE LA PLAINE DE LA MINA	38
FIG.III.4. REPRESENTE LE PROFIL AU LONG D'OUED MINA.	39
FIG .III.5. RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA MINA	40
FIG.III.6.COUBE GEOLOGIQUE PASSANT PAR LES FORAGES DE SEBKHA BENZIAN	48
FIG .III.7.COUBE GEOLOGIQUE PASSANT PAR SEBKHA BENZIANE	50
FIG .IV.1 REPARTITION DES PLUIES MENSUELLES	55
FIG .IV.2 REPARTITION DES PLUIES ANNUELLES	56
FIG.IV.3. TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES DE LA STATION DE TIARET	57
FIG .IV.4. FREQUENCES DES VENTS.....	58
FIG.IV .5. DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE GAUSSEN.....	60
FIG.IV .6. CLIMAGRAMME D'EMBERGER (STATION DE TIARET).	61
FIG. V.1. LE SOUS BASSIN VERSANT D'OUED MINA AMONT D'APRES LE MODELE WEAP.....	64
FIG. V.2. LE SOUS BASSIN VERSANT D'OUED MINA AMONT.....	65
FIG. V.3. LA DEMANDE EN EAU SANS PERTE DU SCENARIO DE REFERENCE.....	66
FIG. V.4: RECOUVREMENT DE SITE DE DEMANDE POUR LE SCENARIO DE REFERENCE	66
FIG. V.5 DEMANDE EN EAU INSATISFAITE DES SITES DE DEMANDE POUR LE SCENARIO DE REFERENCE.....	67
FIG. V.6. DEMANDE EN EAU SANS PERTE POUR LES SCENARIOS	67
FIG. V.7. DEMANDE EN EAU NON SATISFAIRE DES SCENARIOS	68
FIG. V.9 EAU DISTRIBUEE A CHAQUE SITE DE DEMANDE SCENARIO DE REFERENCE	69
FIG. V.10 EAU DISTRIBUEE EN SCENARIO DE REFERENCE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE	69
FIG. V.11. RUISSELEMENT D'EAU DE PLUIE	70
FIG. V.12. INFILTRATION ET RUISSELEMENT D'EAU	70
FIG. V.13 .EVOLUTION DES DEBITS D'EAU DE SURFACE	71

LISTE DES FIGURES

FIG. V.14. VARIATION DEBIT SORTANT DANS LE SCENARIO DE REFERENCE ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE	71
FIG. V.15. EVOLUTION DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE POUR LE SCENARIO DE REFERENCE ET SCENARIO DE CHANGEMENT CLIMATIQUE	72
FIG. V.16. DEBITS DES SITES DE DEMANDE EN EAU -SCENARIO 'CHANGEMENT CLIMATIQUES'	73
FIG. V.17. DEBIT DU SITE DE DEMANDES SCENARIO DE REFERENCE.....	73

LISTE DES TABLEAUX

Liste des Tableaux

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU .III.1. REPARTITION DE LA SUPERFICIE DE LA PLAINE PAR CLASSES DES PENTES.....	37
TABLEAU .III.2. REPARTITION DE LA SUPERFICIE DE LA PLAINE PAR CLASSES D'ALTITUDES.	38
TABLEAU .III.3. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA MINA	39
TABLEAU III.4 DES BESOINS PAR COMMUNE	41
TABLEAU .III.5. LES CARACTERISTIQUES DU BARRAGE DE BAKHADA.....	42
TABLEAU III.6. DES FORMATIONS DES AQUIFERES (MULTICOUCHE).....	46
TABLEAU .IV.1. PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES PERIODE 2000-2020	54
TABLEAU .IV.2. PRECIPITATIONS MOYENNES SAISONNIERES (2000-2020)	55
TABLEAU IV.3. DES VARIATIONS DES TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES.....	56
TABLEAU .IV.4. LES FREQUENCES MOYENNES MENSUELLES ET ANNUELLES DES VENTS (2014) ..	57
TABLEAU .IV.5. LA DUREE D'INSOLATION.	58
TABLEAU .IV.6. L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE MOYENNE (ETP).	59
TABLEAU .IV.7. LES HUMIDITES RELATIVES MENSUELLES ET ANNUELLES EN % (ANNEE 2006). .	59
TABLEAU .IV.8. INDICE BIOCLIMATIQUE D'EMBERGER (2000-2020), TIARET	60
TABLEAU .IV.9. INDICE DE DEMARTONNE.....	61

Abréviations

Abréviations

CCNUCC : la convention des cadres des Nations Unies sur les changements climatiques
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques
CFC : Chlorofluorocarbones
CH₄ : Méthane
Co₂ : Dioxyde de carbone
Cov : Composés Organiques Volatils
ENM : Elévation du niveau de la Mer
GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental des Nations unies sur l'évolution du climat
HCFC : Hydro chloro fluoro carbones
HF₆ : Hydrohexa fluorides
HFC : Hydrofluorocarbones
HFCS : Hydrofluorocarbones sulfuré
INESG : Institut National des Etudes de stratégie Globale
IPCC : intergouvernemental panel on climat change (comité intergouvernemental des changements climatiques)
IR : Rayonnement infra rouge
MCG : Modèles de Circulation générales
N₂O : Oxyde nitreux
OMM : Organisation Météorologique Mondiale
ONG : Organisation Non Gouvernementale
ONM : Office Nationale de la Météorologie
ONU : Organisation des Nations Unies
PFC : Perfluorocarbones
PFCS : Perfluorocarbones sulfuréones sulfuré
PPM : Parts Per Million
SF₆ : Sulfure Hexafluorides
UE : L'union Européenne
USD : United States Dollar (Dollar des Etats Unies d'Amérique)
PRG : Potentiel de Réchauffement Global.
ENSO : Ensemble du phénomène El Nino-Oscillation Australe
AEP : Alimentation (Adduction) en Eau Potable
WEAP: Water Evaluation and planning System
SEI : Stockholm Environnement Institue

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
ABREVIATIONS	
SOMMAIRE	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I: LES RESSOURCES EN EAU ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES	
INTRODUCTION	4
1. TYPES DE RESSOURCES EN EAU	4
2. PRECIPITATION OU L’EAU DE PLUIE	4
3. EAU DE SURFACES	4
4. EAU DES FLEUVES ET RIVIERES	4
5. EAU DU DESSALEMENT	5
6. EAUX SOUTERRAINES	5
7. DEFINITION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	5
8. VARIABILITE ET LES TERMES CLES, DISTINCTIONS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	6
8.1. Climat.....	6
9. VARIABILITE CLIMATIQUE	6
10. SYSTEME CLIMATIQUE MONDIAL	6
11. RECHAUFFEMENT PLANETAIRE	7
12. EXPLICATIONS SCIENTIFIQUES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	7
13. CHANGEMENT CLIMATIQUE RAPIDE	8
14. LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES REGIONAUX	8
15. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE GLOBAL « MONDIAL »	8
16. LES PRINCIPES CAUSES DES VARIATIONS CLIMATIQUES AU NIVEAU DE LA PLANETE	9
17. LES CYCLES GLACIAIRES-INTERGLACIAIRES	10
18. PRINCIPES NATURELLES	10
19. L’EFFET DE SERRE	10
20. LES ACTIVITES HUMAINES QUI PARTICIPENT AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	11
21. LA CONDITION DU CLIMAT	12

SOMMAIRE

21.1. La condition passée du climat mondial	12
21.2. La condition actuelle du climat mondial	12
21.3. La future condition du climat mondial « Prévisions ».....	12
22. LIEN ENTRE LA COMPOSITION DE L'ATMOSPHERE ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE	13
23. LES PROBLEMES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	13
24. LES RESULTATS POSSIBLES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	14
25. LES CONSEQUENCES PHYSIQUES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	14
26. LES CONSEQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR I' HOMME ET LA NATURE	15
27. CONSEQUENCES NEGATIVES POUR L'HUMANITE	16
28. CONSEQUENCES POSITIVES POUR L'HUMANITE	16
29. LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	17
30. LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ENVIRONNEMENT	17
31. VARIATIONS CLIMATIQUES	18
32. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE A L'ECHELLE DE LA MEDITERRANEE.....	20
33. IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES PAYS DU MAGHREB	21
34. CATASTROPHE NATURELLE FRAPPANT LES PAYS DU MAGHREB.....	21
35. CATASTROPHE CLIMATIQUE EN ALGERIE EN NOVEMBRE 2001.....	21
36.CATASTROPHE CLIMATIQUE AU MAROC EN NOVEMBRE 2002.....	22
37. VULNERABILITE ET BESOIN D'ADAPTATION	22
38. MESURES D'ADAPTATION PRISES PAR LES GOUVERNEMENTS DES TROIS PAYS DU MAGHREB DANS LE DOMAINE DE L'EAU DANS LES SITUATIONS DE SECHERESSE AIGUË	22
38.1. Maroc	22
38.2. Tunisie.....	22
38.3. ALGERIE	23
39. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN L'ALGERIE	23
CONCLUSION.....	24

CHAPITRE II: METHODE D'APPROCHE, DE LOGICIEL

INTRODUCTION	26
1. ETAT DE L'ART DU MODELE WEAP 21	26
2. DESCRIPTION DU LOGICIEL	26
3. PRINCIPAUX OBJECTIFS DU LOGICIEL	26
4. ACQUISITION DU LOGICIEL	26
5. STRUCTURE DU LOGICIEL WEAP.....	27
5.1. CARTOGRAPHIE.....	27

SOMMAIRE

5.2. Base de données	28
6. PRESENTATION DES RESULTATS	29
7. REPRESENTATION GRAPHIQUE	29
8. BLOC NOTES	29
9. FONCTIONNEMENT DU LOGICIEL.....	29
9.1. Créer une zone d'étude.....	29
9.2. Créer les hypothèses clés et références	30
9.2.1. Hypothèses clés	30
9.2.2. Références	30
10. PROPOSITION DE SCENARIOS	30
11. SAISIR LES DONNEES.....	30
12. PRESENTER LES RESULTATS	30
13. DONNEES NECESSAIRES	31
13.1. Etude de l'offre et de la demande en eau	32
13.2. Etude de la qualité de l'eau	32
13.3. Etude hydrologique	32
13.4. Etudes hydro-électriques	32
CONCLUSION.....	32
CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	
INTRODUCTION	34
1. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE.....	34
2. ETUDE DES CARACTERISTIQUES DU RELIEF.....	37
2.1. LA PENTE.....	37
2.2. Altitude.....	38
3. RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	38
4. BASSIN VERSANT DE LA MINA	38
5. RUISSELEMENT.....	40
6. CARACTERISTIQUES SPECIFIQUES DU BARRAGE BAKHADDA	41
7. ETUDE HYDROGEOLOGIQUE	42
8. LES PRINCIPALES COUCHES AQUIFERES	43
8.1. Le complexe «Alluvial plio-quadernaire ».....	43
8.2. Aquifère du poliocène.....	44
9. CARACTERISTIQUES SEDIMENTOLOGIQUES DES PUIITS.....	45
10. ETUDE GEOLOGIQUE	45

SOMMAIRE

11. APERÇU GEOLOGIQUE	45
12. LITHOSTRATIGRAPHIE	46
12.1. Les formations anté-Néogène (substratum).....	46
12.2. Le Trias.....	46
12.3. Le Crétacé.....	46
12.4. Le Nummulitique (Paléogène)	47
12.5. Les formations « Néogène ».....	47
12.6. Le Pliocène marin.....	48
12.7. Le Quaternaire récent (Holocène)	49
13. APERÇU STRUCTURAL	49
14. APERÇU PEDOLOGIE DU SOL	50
15. RESSOURCES EN EAU	51
16. ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES	51
17. SYSTEME AGRICOLE INSTALLE	51
CONCLUSION	52
CHAPITRE IV : ETUDE CLIMATOLOGIQUE	
INTRODUCTION.....	54
1. PRECIPITATIONS	54
2. ETUDE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES	54
3. LES PLUIES MOYENNES ANNUELLES.....	54
4. LES PRECIPITATIONS SAISONNIERES	55
5. Etude des Températures	56
5.1. TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES.....	56
6. LE VENT	57
7. L'INSOLATION	58
8. L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (ETP).....	58
9. GELEE ET SIROCCO	59
10. HUMIDITE.....	59
11. SYNTHESE CLIMATIQUE	59
12. DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE GAUSSEN	59
13. CLIMAGRAMME D'EMBERGER	60
14. INDICE D'ARIDITE DE DEMARTONNE.....	61
CONCLUSION.....	62
CHAPITRE V: RESULTATS ET DISCISIONS	

SOMMAIRE

1. MODELISATION DU BASSIN VERSANT	64
2. RESSOURCES EN EAU DU BASSIN	65
2.1. Disponibilité en quantité des ressources en eau existantes.....	65
2.2. Evaluation du besoin pour le scénario de référence	65
2.3. Evaluation des besoins en eau pour les scénarios créés	67
2.4. EVALUATION DE L'EAU POUR LES SCENARIOS DE REFERENCE	70
2.5. EAU DE SURFACE ET VULNERABILITE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	70
2.6. EVAPOTRANSPIRATION ET VULNERABILITE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	71
2.7. Débit du site de demandes pour l'horizon 2040	72
3. BILAN DE GESTION DES RESSOURCES EN EAU	74
CONCLUSION	74
CONCLUSION GENERALE	75
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES	77
ABSTRACT	79
الملخص	80
RESUME.....	80

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un élément vital pour toute société et un facteur prépondérant pour son sort économique des pays et dans la survie des écosystèmes naturels, Les diverses utilisations de l'eau influent sur sa disponibilité, des points de vue de la quantité, de la qualité et du temps des divers besoins économiques, sociaux et écologiques. Les pays membres régionaux (PMR) reconnaissent que les ressources en eau deviennent rares, et devront être exploitées à bon escient.

Au cours des dernières années, les activités dans le secteur de l'eau ont autorisé aux pays africains d'atteindre des objectifs sectoriels tels que : l'apport d'eau salubre et de services d'assainissement aux populations rurales et urbaines ; l'expansion des superficies irriguées en vue d'augmenter la production alimentaire; le renforcement de l'approvisionnement des eaux potable....etc. Des politiques sectorielles ont été élaborées pour orienter l'exécution des projets.

En Algérie, pays à climat généralement aride, la demande en eau, tant pour l'AEP, que pour l'agriculture et l'industrie ne cesse de s'accroître d'année en année et par conséquent de plus en plus difficile à satisfaire par la conjugaison de la multiplicité des besoins face à leur vulnérabilité de la ressource aux changements climatiques.

En même temps, les ressources en eau commencent à se raréfier pour des multiples raisons :

La mauvaise gestion des ressources existantes, le gaspillage dû à l'usage effréné de l'eau, la variation et le changement du climat. Une connaissance des ressources en eau disponible, des besoins des différents usagers et de leur modèle est nécessaire pour mieux gérer l'eau. Mais la gestion ne peut pas être intégrée et durable si on ne tient pas compte à la fois de tous les différents types de ressources en eau et ceci dans leur système de gestion naturel ou leur bassin versant.

Face à des conditions de pénuries ou de déficit chronique, les pouvoirs publics tentent de construire des ouvrages hydrauliques pour stocker les eaux pluviales pour pouvoir les mettre au service des usagers en temps opportun, en quantité et en qualité suffisante et souhaité. Cela se traduit par une programmation, préparée minutieusement, permettant de planifier plusieurs actions engagées.

L'objectif de cette contribution consiste à étudier la dynamique de l'ouvrage de stockage hydraulique dans la politique de la gestion intégré des ressources en eau et ce, à travers le cas du barrage Bakhadda wilaya deTiaret (Nord Ouest algérien), et l'étude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques. Outre, l'absence d'une synchronisation entre l'offre et la demande, s'ajoute également le non maîtrise des enjeux internes, marqués par des conflits d'usage de cette infrastructure hydro-agricole.

La démarche adoptée est basée sur l'application du modèle WEAP (*Water Evaluation and planning System*), développé par SEI (*Stockholm Environment Institute*) et recommandé par le FAO en tant qu'outil de prévision des ressources en eau, simulant l'offre et la demande. Ce logiciel d'optimisation permettra de fournir des éléments de réponse à la problématique de la gestion de l'eau à l'échelle d'un bassin, notamment :

- évaluation des besoins en eau par chaque secteur d'utilisation ;
- modélisation, simulation et optimisation de la gestion des ressources en eau ;
- appréciation des acquis et de la stratégie de la GIRE mise en œuvre.

Pour atteindre ces objectifs, le présent mémoire est structuré en quatre chapitres successifs :

- Le premier chapitre, nous parlerons sur les différentes ressources en eau et le changement climatique au niveau mondial, dans les pays de Maghreb, particulièrement en Algérie et des différentes ressources en eau, de la vulnérabilité vis-à-vis de la variabilité puis des impacts majeurs de cette vulnérabilité.
- Le second chapitre, est consacré à l'état de l'art du modèle WEAP 21.

- Le troisième chapitre, présentation de la zone d'étude.
- Dans le quatrième chapitre est consacrée à la modélisation par le WEAP l'application du modèle dans le bassin versant bassin du Barrage Bekhadda, avec les résultats et discussions avec l'interprétation avant de conclure et de proposer quelques recommandations sur l'adaptation à ce phénomène de changements climatiques.

CHAPITRE I

***LES RESSOURCES EN EAU ET CHANGEMENTS
CLIMATIQUES***

Introduction

L'eau est un facteur important pour la vie et pour l'évolution socio-économique réelle et durable d'un pays. Donc il est obligatoire d'avoir une meilleure compréhension sur les ressources en eau existantes dans le bassin versant surtout les informations concernant :

- Les différents types des ressources en eau et leur potentialité
- Les éventuels facteurs de la vulnérabilité des ressources
- Les mesures primordiales pour développer, gérer et protéger les ressources

Le changement climatique a un effet très important sur les ressources en eau à long terme qui découle de l'influence exercée sur l'atmosphère par l'activité humaine.

1. Types de ressources en eau

Dans la nature, on peut signaler d'une part les petites ressources en eau comme l'humidité de l'air et l'humidité du sol que certains animaux et plantes en profitent. Et d'autre part les grandes ressources d'eau dont :

- l'eau des pluies (précipitations)
- l'eau de surface (eau des fleuves et rivières, des lacs et des marais, des étangs et des petites dépressions fermées)
- les eaux souterraines (dans les différents magasins aquifères)
et l'eau de mer.

2. Précipitation ou l'eau de pluie

Les précipitations sont toutes l'eau météorique qui tombe sur la surface de la terre tant sous forme liquide que sous forme solide. C'est une source primaire d'eau douce. Par des précipitations efficaces, l'eau de pluie alimente à la fois les nappes souterraines par l'infiltration (**I**) et l'eau de surface par le ruissellement (**R**).

Dans certaines régions, la pluie est captée directement pour l'approvisionnement en eau de certains villages par l'impluvium.

La pluie tombée peut être mesurée ou quantifiée à l'aide d'un pluviomètre ou d'un pluviographe à une station d'observations. Les précipitations exprimées en lame d'eau ou en hauteur de pluie en millimètre indiquent la pluie globale précipitée dans un intervalle de temps (journalière, mensuelle, annuelle) de la région et par unité de surface.

3. Eau de surfaces

L'eau de surfaces inclue : les eaux des ruisseaux, des rivières et fleuves, des lacs et marais. Elle provient de l'eau de pluie tombée sur le bassin versant récepteur et (ou) de vidange des nappes souterraines au niveau des sources et suintements.

4. Eau des fleuves et rivières

Algérie dispose d'un ensemble d'oueds qui représente 92 % du total des écoulements, bien qu'ils ne drainent que 7 % de la surface du territoire, puisqu'il faut exclure le Sahara et les Hauts plateaux, environ de fleuves et rivières réparties dans 5 unités hydrologiques.

Actuellement, 98 ouvrages de retenues des eaux de surface sont en exploitation, ils représentent une capacité totale initiale de 4,319.109 m³. Ils se répartissent d'après les données de l'ANB en :

- 40 barrages de capacité égale ou supérieure à 10.106 m³ totalisant un volume de retenue initiale de 4,237.109 m³ pour un volume régularisable prévu de 2,052 10 9 m³ ;

- 58 petites retenues de moins de 10.106 m³ qui totalisent 0,082.109 m³.

Les eaux des réseaux de surface peuvent aussi alimenter ou drainer les nappes par le système rivière – eaux souterraines.

5. Eau du dessalement

Le recours aux unités de dessalement permet également de réserver une partie plus importante des eaux de barrages à l'agriculture. L'Algérie compte en 2013 neuf grandes stations de dessalement en exploitation à même de produire jusqu'à 1,4 millions de m³ d'eau dessalée par jour. La mise en exploitation de deux autres stations portera la capacité de production totale à 2,1 millions de m³ /jour. En moyenne, ces stations ont une capacité de production qui se situe entre 100000 et 200000 m³ par jour.

6. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont constituées par toutes les eaux contenues dans le sol et sous sol. On peut distinguer : les eaux adsorbées, pelliculaires et de rétention, non mobilisables par gravitaire ; les eaux gravifiques ou gravitaires.

Nous ne considérons ici que les eaux mobilisables ou eaux gravitaires qui circulent dans la zone saturée du sous-sol constituant les nappes souterraines et on peut distinguer trois types de nappes, nappe libre, nappe captive, nappe semi-captive.

Ces nappes peuvent être directement exploitées à l'aide des ouvrages de captage hydrogéologique (puits, forages,...) [11] ou au niveau des sources par gravitaire.

Pour évaluer leur potentialité, on procède souvent à des tests de productivité aux puits et aux forages appelés essais de pompage soient essai de puits qui est un pompage à courte durée effectué dans un puits ou forages en vue de déterminer ses caractéristiques et en particulier son débit ou pompage d'essai qui est un pompage de longue durée opéré dans un forage pour contrôler l'évolution du débit de l'ouvrage et du rabattement du niveau statique de la nappe [10].

La pérennité des nappes peut être caractérisée aussi par des mesures et suivis périodiques de certains paramètres physico-chimiques (niveau piézométrique ou niveau statique, conductivité, ...) des eaux des ouvrages et des points d'eau existants.

Institutions (ANRH, Ministère des ressources en eaux et de l'Équipement) et chercheurs s'accordent autour d'un bilan de réserves exploitables de l'ordre de 1.256.109 m³ /an. En 1995, un volume de 0,849.109 m³ a été soutiré. Il est prévu de porter ce volume à 1,180.109 m³ en 2010 soit un accroissement de 38 %. Un programme d'urgence de 2000 forages permettra ce renforcement en même temps que des efforts sont faits pour destiner les eaux souterraines aux seuls besoins en eau potable.

L'aquifère du Sahara et du Sahel contient plus de 60000 milliards de m³ en eau et le taux de renouvellement avoisine un milliard de m³ par an. Par l'intermédiaire de cette coopération avec la Tunisie et la Libye, l'Algérie projette de disposer de 2,5 milliards de m³ de ressources en eau [17].

7. Définition du changement climatique

La confusion qui entoure la question du changement climatique est attribuable en partie au fait de nombreux termes, scientifiques ou non, nous viennent à l'esprit lorsque nous entendons L'expression changement climatique. Il s'agit, par exemple, du «changement climatique», du «réchauffement de la planète » et de «l'augmentation de l'effet de serre », qui ont chacun une signification scientifique précise. Pourtant, ces concepts ont récemment été vulgarisés à la fois par la Communauté scientifique et par les médias. Pour lever le conflit et pour bien déchiffrer le Problème du changement Climatique, nous devons absolument saisir la distinction entre les différents termes qui seront utilisés.

8. Variabilité et les termes clés, distinctions au changement climatique

8.1. Climat

C'est l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, humidité, ensoleillement, pression, vent, précipitations) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un lieu donné. Au sens étroit du terme, le climat désigne généralement le "temps moyen"; il s'agit plus formellement d'une description statistique en fonction de la moyenne et de la variabilité de grandeurs pertinentes sur des périodes variant de quelques mois à des milliers, voire à des millions d'années (la période classique, définie par l'Organisation météorologique mondiale, est de 30 ans). Ces grandeurs sont le plus souvent des variables de surface telles que la température, les précipitations et le vent. Dans un sens plus large, le climat est la description statistique de l'état système climatique. Les climats résultent [15]

- De facteurs cosmiques (la source d'énergie solaire : variation de l'activité solaire) ;
- De facteurs planétaires (répartition de cette énergie en fonction de la sphéricité de la Terre, de ses mouvements ; de l'état, en même temps que du dynamisme de l'atmosphère)
- De facteurs géographiques (les terres, le lien entre l'atmosphère et les océans, les reliefs, la végétation, les volcans, les installations humaines).

9. Variabilité climatique

Les variations de l'état moyen et autres variables statistiques (écart-type, apparition d'extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales autres que celles des phénomènes météorologiques particuliers. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne) ou à des variations du forçage externe naturel ou anthropique (variabilité externe)

10. Système climatique mondial

A l'échelle mondiale, le climat obéit essentiellement à la quantité d'énergie que la Terre reçoit du soleil et qu'elle rejette dans l'espace. Le climat mondial subit aussi l'influence d'autres flux d'énergie à l'intérieur du système climatique comme tel. Ces flux d'énergie sont régulés par l'atmosphère (qui fournit les gaz, les aérosols, les nuages et les vents), les océans (qui aident à répartir la chaleur par l'entremise des courants), les précipitations (sous forme de pluie, de neige et de glace), l'eau (sous forme de lacs et de rivières) et les sols (qui reflètent ou absorbent l'énergie du soleil). Des changements dans l'un ou l'autre de ces éléments peuvent affecter l'équilibre de tout le système, entraînant un changement du climat. Prenons par exemple le phénomène météorologique El Nino. Des températures de l'eau. [2]

✓ **Changement d'affectation des terres**

Changement apporté par l'homme dans l'utilisation ou l'aménagement des sols, qui peut entraîner une modification de la couverture terrestre. La modification de la couverture terrestre et le changement d'affectation des terres peuvent avoir une incidence sur l'albédo, **l'évapotranspiration**, les sources et les puits de gaz à effet de serre, ou sur d'autres propriétés du système climatique et peut donc avoir des répercussions sur le climat, au plan local ou à l'échelle du globe.

✓ **Changements climatiques**

Le changement climatique c'est le changement qui est attribué directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours des périodes comparables. (**Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques**) [16].

Le changement climatique est le changement « significatif » de la moyenne pluriannuelle, changement de la distribution statistique ou variation statistiquement significative de l'état moyen

du climat ou de sa variabilité, persistant pendant une période prolongée (généralement des décennies et plus). Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, ou encore à la persistance de variations anthropiques de la composition de l'atmosphère ou de l'utilisation des sols. [10]

Les changements climatiques sont davantage qu'une tendance au réchauffement planétaire. L'accroissement des températures engendrera des changements dans de nombreuses dimensions dans le temps, telles que la configuration des vents, la quantité et le type de précipitations, et la gravité et la fréquence des phénomènes météorologiques exceptionnels.

Puisque le climat influe sur tant de chose dans nos vies –allant du lieu où nous habitons aux vêtements que nous portons on passant par ce que nous mangeons de notre choix de mode de vie – tout changement pourrait avoir de lourdes conséquences sur les plans de la santé, de l'environnement, de la société et de l'économie. Mais pour comprendre les changements climatiques, il est essentiel de comprendre le système climatique mondial et son fonctionnement.

11. Réchauffement planétaire

Le réchauffement planétaire est l'un des phénomènes les plus importants du 21^{ème} siècle, ce fait par la pollution, effet de serre, montée du niveau des mers du fait de la fonte des glaces, climats dérégés un peu partout sur la planète, autant de problèmes qui sont le signe de changements profonds attestant du réchauffement de la planète, menaçant directement l'équilibre naturel, la faune, la flore et être humain. [15]

Le réchauffement planétaire, également appelé réchauffement global ou, changement climatique est un phénomène d'augmentation, à l'échelle mondiale et sur plusieurs années, de la température moyenne des océans et de l'atmosphère. Ce terme est appliqué au changement climatique observé depuis environ vingt-cinq ans, c'est-à-dire depuis la fin du 20^{ème} siècle.

Au sens strict, «le réchauffement planétaire » et « refroidissement planétaire » font référencer aux périodes de réchauffement et refroidissement que la Terre a connu depuis sa création. Toutefois, le terme « réchauffement planétaire » a été vulgarisé et englobe désormais tous les phénomènes qui lient du changement climatique, à savoir l'influence des activités humaines sur le système de climat.

12. Explications scientifiques au changement climatique

Le changement climatique désigne l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné, au cours du temps: réchauffement ou refroidissement. Certaines formes de pollution de l'air, résultant d'activités humaines, menacent de modifier sensiblement le climat, dans le sens d'un réchauffement global. Ce phénomène peut entraîner des dommages importants :

- Élévation du niveau des mers.
- Augmentation des incidents climatiques extrêmes (sécheresses, inondations, cyclones,...).
- Déstabilisation des forêts, menaces sur les ressources d'eau douce.
- Difficultés agricoles, désertification, réduction de la biodiversité, extension des maladies tropicales,... etc.

On utilise souvent les expressions« Réchauffement planétaire » et « changements climatiques» pour décrire le même phénomène. En fait, on peut les distinguer à titre de cause et d'effet, ou encore de problème et de conséquence. Le réchauffement planétaire n'est que l'augmentation de la température de la basse atmosphère de la terre à la suite de l'accroissement de l'effet de serre. Les répercussions de cette augmentation des températures - la modification de nombreuses dimensions du temps - sont ce que nous appelons les changements climatiques. Cela comprend la modification de la configuration des vents ainsi que l'abondance et le type de précipitations, qui à leur tour

influent sur les types et la fréquence des phénomènes météorologiques exceptionnels auxquels on peut s'attendre dans une région donnée. Ainsi, c'est le réchauffement planétaire qui engendre les changements climatiques. L'expression variabilité du climat sert à décrire la façon dont le climat varie en fonction des conditions climatiques moyennes, sur des échelles de temps calculées en saisons, années, décennies et ainsi de suite. Une bonne partie de la variabilité du climat dépend des oscillations naturelles des courants océaniques et de la pression atmosphérique. Toutefois, les changements climatiques causés par les êtres humains peuvent aussi influencer sur la variabilité du climat. [5]

Dans certain point de vu les changements climatiques indiquent, par définition, des variations statistiquement significatives du climat, persistant sur des périodes de l'ordre de quelques décades et plus, incluant des décalages en fréquence et intensité de certains phénomènes climatiques ainsi qu'une augmentation lente et continue de la température globale moyenne de la surface de la Terre. Comme le climat a une influence importante sur les systèmes écologiques et socio-économiques, sa modification pourrait, suivant les régions du monde, avoir des incidences plus ou moins prononcées sur l'agriculture et la sécurité alimentaire, les zones côtières et le niveau des mers, la diversité biologique, les ressources en eau, la santé, l'énergie et l'industrie, pour ne citer que ces principaux secteurs.

13. Changement climatique rapide

La non linéarité du système climatique peut entraîner des changements climatiques rapides, appelés parfois événements brusques, voire surprendre. Certains de ces événements brusques sont concevables, comme la réorganisation spectaculaire de la circulation thermohaline, la déglaciation rapide ou la fonte massive du pergélisol entraînant de rapides changements dans le cycle du carbone. [8]

D'autres peuvent être totalement imprévisibles, par exemple lorsqu'ils sont causés par un puissant forçage, en évolution rapide, d'un système non linéaire. Dans certains point de vu, les termes "changement climatique" et le "réchauffement planétaire" sont souvent utilisés l'un pour l'autre. Pourtant, ils ne sont pas synonymes. Le changement climatique inclut à la fois le réchauffement et le refroidissement de la planète. Le réchauffement planétaire correspond uniquement aux changements climatiques provoqués par les augmentations de température.

Toutefois, pour comprendre les aspects scientifiques de ce réchauffement, nous devons commencer par nous placer dans le contexte du changement climatique régional et global « Mondial » [4].

14. Les changements climatiques régionaux

Les activités humaines modifient le climat de certaines régions. Les villes créent des microclimats et élèvent la température de quelques degrés. La déforestation accélère la sécheresse. Les changements à échelle régionale ont déjà des conséquences visibles [5]:

- ✓ Retrait des glaciers.
- ✓ Perturbation du cycle gel/dégel dans les hautes latitudes.
- ✓ Déplacement vers les pôles ou en altitude de certaines espèces animales et végétales.
- ✓ Précocité de la floraison des arbres et de la ponte des oiseaux.
- ✓ Fréquence accrue des inondations.

15. Le changement climatique global « mondial »

Le changement climatique correspond à un changement du « temps moyen » observé dans une région donnée. Le temps moyen comprend tous les éléments que nous associons habituellement au temps, à savoir la température, les caractéristiques des vents et les précipitations.

Lorsque nous parlons de changement climatique à l'échelle de la planète, nous faisons référence aux modifications que connaît l'ensemble du climat de la terre. A long terme, la rapidité et l'ampleur des changements climatiques peuvent avoir de nombreuses conséquences sur les écosystèmes naturels.

Le changement climatique mondial est bel et bien un phénomène naturel. Le système climatique naturel de la Terre a toujours connu, et continue de connaître des changements. Les scientifiques ont étudié les données qu'ont emmagasinées au fil des époques les roches et les nappes glaciaires. Ils ont ainsi découvert que la Terre a connu de nombreuses périodes de réchauffement et de refroidissement au cours du dernier million d'années.

La variabilité naturelle du système climatique a toujours existé. Sa réalité scientifique a pris corps grâce aux relevés historiques, aux cercles de croissance des arbres, des coraux, des sédiments et des glaces qui ont permis de reconstituer les températures depuis le 20^{ème} siècle [5]. Au cours du 21^{ème} siècle, de nombreux changements ont pu être observés : augmentation de la température moyenne du globe de 0,6°C (+ 0,9°C en France), réduction de la couverture neigeuse, recul des glaciers, augmentation du niveau moyen des océans, blanchiment du corail, augmentation des précipitations dans l'hémisphère nord. Pour les scientifiques, tous ces phénomènes concourent à démontrer que depuis la révolution industrielle (1850), nous assistons à un réchauffement rapide et brutal du climat qui serait essentiellement dû à une accumulation de carbone dans l'atmosphère, sous forme de gaz carbonique (CO₂) ayant pour origine les activités humaines [21].

En examinant les roches, les couches glaciaires et les anneaux des arbres, on peut obtenir des renseignements sur les conditions climatiques passées. On les appelle les indicateurs paléo-climatiques. Grâce à ces indicateurs, les scientifiques ont pu établir que les températures de la planète ont connu des cycles de variations régulières et de longue durée au cours du dernier million d'années. Il semble que des températures extrêmement basses, qui correspondent à la principale période glaciaire, se soient produites à des intervalles d'environ 100 000 ans pendant les 800 000 dernières années. Chacune de ces périodes glaciaires a été suivie d'un réchauffement considérable de 4 à 6 (°C), ce qui a créé des périodes interglaciaires d'une durée de 10 000 à 20 000 ans. De plus, à l'intérieur de ce cycle de 100 000 ans, de moins importantes et plus fréquentes fluctuations de température se sont produites à des intervalles compris entre 20 000 et 40 000 ans.

16. Les principales causes des variations climatiques au niveau de la planète

- Traversons-nous présentement une période de changement climatique?
- Le climat de la planète devient-il plus chaud, plus froid, plus humide ou plus aride?
- Si c'est le cas, quelle en est la cause?
- Quelles seront les conséquences?

Il n'existe aucune réponse définitive à ces questions, seulement des hypothèses éclairées. La complexité de l'atmosphère et l'interaction des variables en cause rendent difficile la prévision des changements climatiques [16].

L'hypothèse d'un lien entre la température moyenne du globe et le taux de gaz carbonique dans l'atmosphère a été formulée pour la première fois en 1894 par « Svante Arrhenius ». En 1979, lors de la première conférence mondiale sur le climat, est avancée pour la première fois sur la scène internationale l'éventualité d'un impact de l'activité humaine sur le climat. L'adhésion assez massive de certains scientifiques à cette cause est récente, mais une controverse existe dans ce milieu quant aux causes de ce réchauffement. Des climatologues soutiennent en effet que le réchauffement observé n'est que la conséquence de phénomènes naturels (telles que les fluctuations de l'activité solaire et celles de l'orbite terrestre)[16].

Les variations climatiques à l'échelle des cycles glaciaires s'expliquent par des changements quasi-périodiques de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre et de la forme de l'orbite de cette dernière autour du Soleil. Ces changements astronomiques induisent de lentes modifications dans l'énergie solaire atteignant la Terre à l'échelle des millénaires. Ils ont en outre été amplifiés par des variations de la concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cette explication, à laquelle l'UCL a contribué, ne fait pratiquement plus l'objet d'aucun doute. Différentes sources des données (sédiments, carottes de glace...) ont permis de reconstituer les variations climatiques des dernières centaines de milliers d'années, qui correspondent à plusieurs cycles glaciaires-interglaciaires [9].

17. Les cycles glaciaires-interglaciaires

Une chose est sûre, le climat de la terre a vu se succéder des périodes glaciaires et interglaciaires. Les variations des caractéristiques de l'orbite terrestre autour du soleil modifient la distribution de l'ensoleillement à la surface du globe et entraînent des changements climatiques suffisamment importants pour être enregistrés dans les glaces encore présentes à la surface terrestre [12].

18. Principes naturelles

Grâce à l'observation du passé, on connaît de grandes causes naturelles à la modification dans le temps de la température de la Terre et de ses climats [12] :

- ✓ La variation de la composition de son atmosphère en gaz à effet de serre (GES d'origine naturelle), en particulier du gaz carbonique ;
- ✓ Les variations de sa position astronomique (les grandes glaciations) ;
- ✓ Les variations de son activité solaire ;
- ✓ On reconnaît aussi l'influence accidentelle ;
- ✓ De rejets massifs de poussière, de type éruption volcanique ou impact de météorite géante ;

19. L'effet de serre

L'effet de serre est le piège d'une fraction du rayonnement infrarouge réémis par la Terre vers l'atmosphère terrestre. Ceci est réalisé en particulier par les gaz dits « à effet de serre », accroissant la température troposphérique. L'effet de serre est un phénomène naturel. Sans cet effet, la température de surface à l'équilibre thermodynamique serait en moyenne de 33 °C plus faible, soit -18°C. En réalité, elle pourrait être plus faible encore en raison de l'important albédo dû à l'extension des glaces, pouvant descendre jusqu'à environ -100 °C [8].

Ce phénomène naturel a été renforcé car la quantité de gaz à effet de serre (en particulier le CO₂, naturellement en très faible concentration dans l'atmosphère) a augmenté ces dernières années, ce qui a pour conséquence de déséquilibrer le bilan radiatif de la Terre. Cette augmentation est due à la combustion de matière carbonée fossile. Si bien que nombre de scientifiques pensent que l'effet de serre est la cause principale du réchauffement planétaire actuel [8].

Avec le temps, la Terre doit dégager dans l'espace autant d'énergie qu'elle en absorbe, émise par le soleil. L'énergie solaire nous parvient sous forme de rayonnement de courte longueur d'onde [8].

Une partie de ce rayonnement est réfléchi par la surface terrestre et l'atmosphère, mais la plus grande partie traverse directement l'atmosphère pour réchauffer la surface du globe. La Terre, à son tour, se défait de cette énergie (la renvoie dans l'espace) sous forme de rayonnement infrarouge, de grande longueur d'onde [8].

Le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre est en majeure partie absorbé dans l'atmosphère par la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone et d'autres «gaz à effet de serre» naturellement présents. Ces gaz empêchent l'énergie de passer directement de la surface du globe dans l'espace. En revanche, de nombreux phénomènes interdépendants (notamment le rayonnement, les courants aériens, l'évaporation, la formation des nuages et les précipitations) lui permettent de s'élever dans l'atmosphère, d'où elle peut rayonner dans l'espace [8].

Ce processus plus lent et moins direct est tout à fait opportun, car si la surface terrestre pouvait diffuser de l'énergie librement dans l'espace, la terre serait froide et sans vie, ce serait une planète sombre et infertile à l'instar de Mars [8].

En renforçant la capacité qu'à l'atmosphère d'absorber l'énergie infrarouge, nos émissions de gaz à effet de serre perturbent la façon dont le climat maintient l'équilibre entre l'énergie incidente et l'énergie ascendante. Si la concentration des gaz à effet de serre persistants doublait (ce qui est prévu pour le début du siècle prochain) sans qu'aucune autre modification n'intervienne, le débit de l'énergie que la planète peut dégager dans l'espace diminuerait d'environ 2 %. Où l'énergie ne peut tout simplement pas s'accumuler. Le climat devra s'adapter d'une façon ou d'une autre pour se débarrasser de ce surplus; et si 2% semblent bien peu, cela équivaut en fait, sur toute la planète, à emprisonner l'énergie interne de quelque trois millions de tonnes de pétrole par minute. Aussi, les scientifiques s'efforcent-ils d'attirer notre attention sur le fait que nous altérons le «moteur» qui fait marcher le système climatique. Il faut que quelque chose change pour amortir le choc [8]. Un accroissement de la concentration de gaz à effet de serre entraîne une plus grande opacité de l'atmosphère au rayonnement infrarouge et, par conséquent, un rayonnement effectif vers l'espace à partir d'une altitude plus élevée et à une température plus basse. Il en résulte un forçage radiatif, un déséquilibre qui ne peut être compensé que par une hausse de la température du système surface troposphère. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre renforcé [8].

20. Les activités humaines qui participent au changement climatique

Le changement climatique dont il est question dans ce travail est le changement à long terme qui découle de l'influence exercée sur l'atmosphère par l'activité humaine.

Mais on suspecte aussi l'influence grandissante de l'homme sur l'évolution du climat général de la Terre par le biais :

- ✓ De rejets massifs de gaz à effet de serre ;
- ✓ De perturbations à grande échelle du cycle de l'eau.

L'impact de l'homme sur le réchauffement climatique est controversé mais il est établi que l'activité humaine a un impact sur le climat car on peut remarquer des différences entre le climat de début de la semaine et la fin de semaine [8] :

Une étude américaine conduite par Forster portant sur 30 ans et plus de 1000 stations montre que les écarts de température sont plus forts le week-end de 0,5°C que les autres jours de la semaine. Ce qui permet d'établir les effets de l'activité humaine sur le climat puisque l'activité humaine a un cycle hebdomadaire et pas la nature. Cette constatation pourrait aussi renforcer l'hypothèse de l'effet "Ilot de Chaleur urbain".

D'autres études similaires ont été faites en Chine et permettent d'établir les impacts de l'activité humaine sur le climat.

Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat a confirmé le 2 février 2007 que la probabilité que le réchauffement climatique soit dû à l'activité humaine est supérieure à 90 %.

On observe, depuis le 20^{ème} siècle, une tendance sans précédent au réchauffement de la planète. La moyenne globale actuelle de la température à la surface de la Terre est de 15°C, près de

0.6°C plus élevé que ce qu'elle était au début du 20^{ème} siècle, l'activité humaine est la cause principale de cet accroissement. Même si la décennie de 1990 est la plus chaude jamais enregistrée, les hausses de températures de ces dernières années sont modestes comparativement aux prédictions envisagées. Présentement, les scientifiques estiment que la moyenne globale de la température à la surface du globe augmentera en moyenne de 1.4°C à 5.8 °C avant la fin du 21^{èmesiècle}. Les précipitations sont également à la hausse. Dans l'hémisphère Nord, les précipitations ont augmenté de 0.5 % à 1.0 % par décennie comparativement à 0.2 % à 0.3 % dans les pays en région tropicale [9].

Une équipe de chercheurs a récemment réussi à mettre en évidence un lien entre l'activité humaine et l'effondrement des plates-formes de glaces de l'Antarctique. En effet les réchauffements locaux seraient dus à un changement de direction des vents dominants, cette modification étant elle même due l'augmentation de la concentration de l'air en gaz à effet de serre tels que le gaz carbonique libéré par les activités humaines et la dégradation de la couche de l'ozone Antarctique à cause des CFC d'origine humaines [9].

21. La condition du climat

21.1. La condition passée du climat mondial

Dans le passé, avant l'ère industrielle, la Terre a été le cadre de variations Climatiques Contrastées, différentes des variations actuelles en nature, durée et amplitude, et qui offrent une possibilité unique, à l'aide de simulations paléo climatiques, d'estimer la sensibilité du climat à différents forçages, d'évaluer les capacités des modèles et ainsi d'améliorer les prévisions. L'étude du dernier millénaire permet de comparer le réchauffement observé au siècle dernier aux variations naturelles précédentes Le milieu de l'holocène, il y a 6 000 ans, est aussi une période privilégiée Pour comparer modèles et observations car il est le siège d'intenses ses pluies de mousson : les travaux du programme international coordonné par la France a ainsi montré qu'il est indispensable de prendre en compte les interactions océan-atmosphère-végétation pour représenter la complexité des modifications de la mousson. De nouveaux enregistrements Stratigraphiques (forages) à haute résolution sont en cours d'analyse pour préciser les corrélations climatiques entre différentes Régions. On a cependant déjà pu montrer, par exemple, que les événements froids abrupts dits d'Heinrich des périodes glaciaires sont corrélés à des épisodes d'aridité dans le bassin méditerranéen. À l'échelle de ces événements « Rapides », les carottes marines tropicales suggèrent Aussi que l'hydrologie profonde de l'Atlantique et la climatologie de L'Antarctique est liée [9].

21.2. La condition actuelle du climat mondial

C'est il y a environ 10 000 ans que la Terre a connu la période la plus froide de sa dernière période glaciaire ; à cette époque, les températures moyennes étaient de 4 à 5 °C inférieure à ce qu'elles sont aujourd'hui. Depuis la dernière glaciation, nous sommes entrés dans une période chaude, entrecoupée de températures plus basses. La période interglaciaire actuelle a produit des températures relativement stables à la surface de la Terre. En fait, depuis le début de cette période, la température moyenne n'a oscillé que un degré environ par rapport aux valeurs que nous connaissons aujourd'hui.

21.3. La future condition du climat mondial « Prévisions »

La prévision par les scientifiques de l'évolution future du climat a été rendue possible par l'utilisation de modèles informatiques de celui-ci. Ces modèles, dits de circulation générale, simulent les déplacements et les températures des masses atmosphériques et océaniques. Les plus récents prennent aussi en compte d'autres phénomènes, comme le cycle du carbone. Plusieurs scénarios d'émission de gaz à effet de serre ont été envisagés, citons [8]:

- ✓ Hausse de la température mondiale moyenne entre 1,4 °C et 5,8 °C.

- ✓ Elévation du niveau de la mer comprise entre 9 et 88 Cm.
- ✓ Fréquence accrue des événements extrêmes.

22. Lien entre la composition de l'atmosphère et le changement climatique

Le dioxyde de carbone (CO₂) est le principal véhicule du flux du carbone entre l'atmosphère, les océans et le biota. Les carburants fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) présents dans la lithosphère restaient dormant jusqu'aux siècles récents. La concentration de CO₂ dans l'atmosphère a augmenté d'environ 280 parties par millions (ppm) en 1750 à environ 350 ppm en 1990 et s'élève encore, avec comme principale raison de l'augmentation la combustion des carburants fossiles. Les estimations des futures émissions de CO₂ et la concentration attendue dans l'atmosphère varient, mais il apparaît probable que la concentration s'élève jusqu'à une moyenne de 550 ppm en l'an 2050.

Il y a eu des augmentations très documentées des niveaux de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄) et d'oxyde nitreux (N₂O) présent dans l'atmosphère, au cours des 200 dernières années. Connus sous le nom « gaz à effet de serre », ils absorbent l'énergie thermique infrarouge transmise par la terre, ce qui a pour effet de réchauffer la température planétaire moyenne de l'air en surface. La communauté scientifique internationale a conclu que les activités humaines, en particulier celle relatives à la consommation d'énergie et à la déforestation, augmentent la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère [9].

23. Les problèmes du changement climatique

D'après des enregistrements faits depuis 1981, les scientifiques peuvent assurer que le changement global du climat résulte de l'activité humaine, et par conséquent, c'est l'un des thèmes les plus discutés en écologie. La source principale de la puissance générée vient de la combustion des carburants fossiles. Les carburants fossiles sont organiques dans la nature et quand ils sont brûlés, CO₂ est libéré dans l'atmosphère. La peur est que cette pollution par des polluants anthropogéniques (créés par l'homme) communs, comme le CO₂ et le Méthane, puisse entraîner une augmentation globale de la température [9].

Pendant ces dernières années et durant cette période du temps les augmentations des niveaux de CO₂ ont été enregistrées tout au long avec une élévation de 0,4 à 0,7 °C de la température globale. Cette étroite corrélation supporte l'argument disant que les émissions industrielles, et particulièrement les gaz libérés par la combustion des carburants fossiles, entraînent des changements climatiques supplémentaires pour le nouveau siècle.

Sur la base de distance de la Terre au soleil, les températures globales devraient être 33 °C plus basses qu'elles ne le sont, avec une température moyenne de -18 °C cependant depuis le temps de la fusion planétaire, la terre a été rayonnante de chaleur. L'Atmosphère formée autour de la Terre isole la planète des pleins effets de la perte de chaleur. Cette atmosphère permet à beaucoup de radiation entrante de frapper la Terre. Une grande proportion de cette énergie lumineuse est transférée en énergie thermique, et l'énergie thermique conservée par la Terre durant le jour est irradiée en retour la nuit. Beaucoup d'énergie transformée en chaleur est captée par les gaz atmosphériques, particulièrement la vapeur d'eau, le CO₂, le méthane et les oxydes nitreux. Le réchauffement de la Terre attribuable au gaz atmosphérique est appelé l'effet de serre [9].

L'isolation thermique naturelle des gaz de la Terre élève le niveau moyen de la température de - 18 °C à + 15 °C. L'effet de serre doit augmenter si les concentrations en dioxyde de carbone augmentent. Le doublement de la concentration atmosphérique du CO₂ depuis son niveau actuel est prévu pour entraîner un réchauffement supplémentaire d'environ 3,5 °C. L'effet de cela serait profond, comme la glace polaire fondrait et les océans s'étendraient avec la chaleur, élevant le niveau de la mer et entraînant des changements à grande échelle du climat global. De plus, le

réchauffement global pourrait entraîner des organismes à migrer en vue de chercher les températures optimales (organisme pilleur) ou à s'adapter aux conditions changées ou à affronter l'extinction. Ce mouvement des organismes peut inclure des maladies tropicales, qui peuvent résulter du changement de climat se déplaçant des tropiques aux climats tempérés (par exemple, paludisme).

24. Les résultats possibles des changements climatiques

Des pressions soutenues sur les milieux naturels, à travers l'accumulation de pollution, la dégradation des écosystèmes, l'érosion des sols et le détournement des ressources en eau, peuvent conduire à de véritables catastrophes écologiques, lourdes de conséquence sur le plan humain. Catastrophe écologique, mais aussi drame économique et humain, qui touche deux millions personnes. Un bilan santé des plus alarmants en a été dressé.

- ❖ La tendance actuelle du réchauffement pourrait causer des extinctions d'espèces [5] :
 - ✓ De nombreuses espèces de plantes et d'animaux, sont appelées à disparaître dans les 100 Prochaines années.
 - ✓ Les êtres humains vont probablement faire face à des difficultés sanitaires et alimentaires de Plus en plus grandes.
 - ✓ Les récentes tempêtes, inondations et sécheresses ont tendance à démontrer ce que l'on prédit comme fréquents "événements météorologiques extrêmes".
 - ✓ Le niveau de la mer a augmenté de 10 à 20 Cm au cours du 20ème siècle et une hausse Supplémentaire de 9 à 88 Cm est prévue d'ici l'an 2100.
- ❖ Des températures plus élevées causeront [5] :
 - ✓ La fonte des glaciers et des calottes glaciaires.
 - ✓ L'augmentation du volume des océans.
- ❖ La mer pourrait déborder dans des zones côtières fortement peuplées de pays tels que le Bangladesh, causant ainsi [5]:
 - ✓ La disparition de nations entières (l'État-île des Maldives),
 - ✓ Polluant l'eau de boisson de milliards de personnes, occasionnant ainsi des migrations massives.

25. Les conséquences physiques du changement climatique

Les modèles utilisés pour prédire le réchauffement planétaire futur peuvent aussi être utilisés pour simuler les conséquences de ce réchauffement sur les autres paramètres physiques de la Terre, comme les calottes de glace, les précipitations ou le niveau des mers.

a- La montée des eaux

Une des conséquences du réchauffement planétaire sur lesquelles s'accordent les scientifiques est une montée du niveau de la mer. Deux phénomènes peuvent engendrer cette élévation :

- ✓ L'augmentation du volume de l'eau due à son réchauffement, augmentation substantielle du fait de la grande profondeur des océans,
- ✓ L'ajout d'eau supplémentaire provenant de la fonte des calottes glaciaires continentales.

Selon le 3^{ème} rapport du GIEC, le niveau de la mer s'est élevé de 0,1 à 0,2 m au 20ème siècle. Selon le troisième rapport du GIEC, la montée du niveau des océans et des mers prévue serait due principalement au réchauffement des eaux océaniques, l'effet de la fonte des glaces ne se

faisant sentir éventuellement qu'à beaucoup plus long terme. De même que pour les températures, les incertitudes concernant le niveau de la mer sont liées aux modèles, d'une part, et aux émissions futures de gaz à effet de serre, d'autre part. Cependant, les incertitudes dues aux modèles sont plus fortes. Ainsi, l'élévation prévue du niveau de la mer est de 18 Cm à 59 Cm [12].

b- L'humidité absolue

Selon toutes évidences l'humidité absolue moyenne de l'air va augmenter. (Ce paramètre s'exprime en grammes d'eau par mètres cubes d'air. Les météorologistes mesurent plutôt l'humidité relative qui s'exprime en % sachant que 100 % est le point de rosée.) Sachant que l'eau est le principal vecteur de la thermodynamique atmosphérique (L'évaporation absorbe de l'énergie et la condensation la restitue) la puissance des précipitations devrait aussi augmenter.

c- La précipitation

Selon les modèles élaborés par les climatologues, les précipitations devraient augmenter, particulièrement les précipitations Hivernales aux latitudes moyennes et élevées de l'hémisphère Nord. Dans cette zone, la variation des précipitations devrait aussi augmenter. Il pleut en effet davantage actuellement dans les zones subtropicales, comme en Arabie et au Sahara, mais les populations locales ne s'en plaignent pas [14].

d- La circulation thermo haline

Ce terme désigne les mouvements d'eau froide et salée vers les fonds océaniques qui prennent place aux hautes latitudes de l'hémisphère Nord. Ce phénomène est, entre autres, responsable du renouvellement des eaux profondes océaniques et de la relative douceur du climat européen. Pour le 21ème siècle, le GIEC considèrerait comme probable un ralentissement de ce phénomène, et comme peu probable son arrêt. Cet arrêt total et définitif est considéré comme possible à plus long terme [14].

e- Glaces et couverture neigeuse

Les scientifiques du GIEC prévoient, pour le 21ème siècle une diminution de la couverture neigeuse, et un retrait des banquises. Les glaciers et calottes glaciaires de l'hémisphère nord devraient aussi continuer à diminuer. En revanche, la calotte glaciaire antarctique ne devrait pas diminuer au cours du 21ème siècle [5].

f- Des phénomènes à très long terme

La majorité des climatologues, pensent que les phénomènes induits par l'émission des gaz à effet de serre vont se poursuivre et s'amplifier. Le troisième rapport du GIEC insiste en particulier sur les points suivants [24] :

- Certains gaz à effet de serre, comme le dioxyde de carbone, à une espérance de vie longue, et influent donc sur l'effet de serre longtemps après leur émission,
- De par l'inertie du système climatique, le réchauffement planétaire se poursuivra après la stabilisation de la concentration des gaz à effet de serre. Ce réchauffement devrait cependant être plus lent.
- L'inertie, plus grande encore, de la masse océanique fait que l'élévation du niveau des mers se poursuivra même après la stabilisation de la température moyenne du globe. La fonte de calottes glaciaires, comme celle du Groenland, sont des phénomènes se déroulant sur des millénaires.

26. Les conséquences du changement climatique sur l'homme et la nature

Au-delà des conséquences directes, physiques et climatiques, du réchauffement planétaire, celui-ci influera sur les écosystèmes. Pour l'ensemble des populations humaines, ces effets «physiques» et «écologiques» auront de fortes répercussions. La très grande complexité des

systèmes écologiques, économiques et sociaux affectés par le réchauffement climatique ne permet pas de faire des prévisions chiffrées comme pour la modélisation physique de la Terre. Cependant, certains points semblent faire consensus dans la communauté scientifique.

❖ **Au niveau biologique et écologique**

Un consensus scientifique a été atteint sur les points suivants :

- Certains espèces biologiques verront peut être leur aire de répartition augmenter, mais le bilan du réchauffement climatique en termes de biodiversité sera négatif ;
- Certains systèmes naturels seront plus affectés que d'autre par le réchauffement planétaire. Les systèmes les plus sensibles seraient : les glaciers, les récifs coralliens, les mangroves, les forêts boréales et tropicales, les écosystèmes polaires et alpins, les prairies humides
 - Les dommages sur les systèmes naturels, que ce soit par leur ampleur géographique ou leur intensité, seront proportionnels à l'intensité et à la rapidité du réchauffement planétaire,

27. Conséquences négatives pour l'humanité

Le GIEC prévoit six conséquences négatives majeures pour l'humanité au 21^{ème} siècle :

- Une baisse des rendements agricoles potentiels dans la plupart des zones tropicales et subtropicales
- Une diminution des ressources en eau dans la plupart des régions sèches tropicales et subtropicales ;
- L'extension des zones infectées par des maladies comme le choléra ou le paludisme ;
- Des risques d'inondation accrus, à la fois à cause de l'élévation du niveau de la mer et à cause de modifications du climat ;
- Une plus forte consommation d'énergie à des fins de climatisation ;
- Une baisse des rendements agricoles potentiels dans les latitudes moyennes et élevées (dans l'hypothèse d'un réchauffement fort).

28. Conséquences positives pour l'humanité

Sont aussi associées au réchauffement prévu au 21^{ème} siècle :

- Une plus faible consommation d'énergie à des fins de chauffage (mais une consommation plus forte à des fins de climatisation) ;
- Une plus faible mortalité hivernale dans les moyennes et hautes latitudes (par opposition à une mortalité estivale plus élevée, comme par exemple la chaleur de 2003) ;
- Une augmentation de l'offre de bois d'œuvre provenant de forêts correctement gérées ;
- Une augmentation éventuelle des ressources en eau dans certaines régions sèches tropicales et subtropicales mais une diminution des ressources dans les régions tempérées (notamment dans les régions de climat méditerranéen) ;
- Une hausse des rendements agricoles potentiels dans certaines régions aux latitudes moyennes (dans l'hypothèse d'un réchauffement faible).

L'augmentation des concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère et les changements climatiques associés, va induire des modifications importantes des cycles des éléments. Au sein de la plupart des écosystèmes terrestres, les matières organiques du sol constituent le réservoir majeur de ces éléments, qu'il s'agisse des nutriments pour les végétaux supérieures, ou de l'élément carbone lui-même. La réponse des matières organiques à ces modifications est donc susceptible de être enjeu des flux importants. De récente observation indique que la variabilité à plus court terme du climat est aussi un facteur important de la dynamique des écosystèmes forestiers tropicaux. Les forêts tropicales ont été affectées par de fortes modification durant la période interglaciaire actuelle alors que les changements globaux étaient relativement modérés (la température a varié d'environ 1 à 2 °C au cours de cette période).

29. Les effets du changement climatique

Les changements climatiques auront des effets soit néfastes, soit bénéfiques; cependant, plus ces changements seront importants, plus les effets seront néfastes. Par exemple, un changement minime du climat pourrait avoir un des effets bénéfiques sur Certains rendements agricoles et forestiers ; cependant, pour certains systèmes naturels, ces changements seront généralement néfastes.

Les effets de ces changements climatiques sont complexes et peuvent avoir des conséquences contraires à ce qui peut être attendu.

30. Les effets du changement climatique sur l'environnement

A l'échelle globale le scénario des modifications de la circulation des océan est un changement de climat catastrophiques , une perte des biodiversité et des dommages irréversibles sur l'agriculture dans les écorégions les plus affectés .Dans certaines régions ,comme l'Europe de l'Ouest et le Bangladesh ,les dommages pourraient se relever extrême ,à cause de la perte du réchauffement par le Gulf Stream et la montée des océans au niveau mondial respectivement .on redoute aussi des apparitions plus fréquentes des phénomènes climatiques destructifs, et les experts en risque des comparaisons d'assurances ont exprimé leurs craintes ,demandant que soit appliqué à ce sujet le principe de précaution .

Des estimations reconnues par le GIEC et par certains groupements d'assurances élèvent à 3.5 milliards le nombre de personnes qui pourraient être touché par des pandémies, la disparition des ressources d'eau potables et impacts possibles (Jean M j, 2002).

Les effets du réchauffement climatique sur l'environnement ont été observés dès l'an 1979 dans les Antilles sous la forme d'un blanchissement des récifs coralliens. C'était le premier indice du réchauffement climatique en cours .Ce phénomène s'est développé régulièrement dans l'espace et dans le temps des échelles toujours plis surprenantes, par exemple à l'échelle Indien en 1998 .Si le réchauffement continue au rythme actuel, il en résultera une extinction de masse des récifs coralliens à l'échelle planétaire à partir de 2015/2020. On ignore encor si cet effondrement aura de bombe à carbone.

A cause des effets potentiels sur la santé publique et sur l'économie, le réchauffement planétaire provoque l'inquiétude. Des changements environnementaux importants ont pu être relies au phénomène du réchauffement planétaire. Les conséquences constatées (régression du manteau neigeux, monté des océans, changements météorologique) peuvent influencer non seulement l'activité humaine, mais aussi l'écosystème. Dans un scénario où le réchauffement continuerait, certaines espèces seraient contraintes de migrer vers d'autres habitats (avec une possible extinction), tandis que d'autres pourraient s'étendre au-delà de leur habitat d'origine. Peu d'écorégions resteraient indemnes.

Les scénarios courants prévoient une augmentation des températures moyennes, une augmentation de la productivité carbonée des végétaux et probablement une modification du régime des précipitations. Ces modifications vont affecter directement le fonctionnement trophique des communautés végétales, mais aussi les quantités de matières organiques arrivant au sol, leurs teneurs en élément nutritifs et leurs vitesses de minéralisation. Il s'ensuivra ainsi un effet en retour sur la nutrition minérale de la communauté végétale. De plus, ces modifications vont induire également un effet en retour sur la composition de l'atmosphère elle-même. En effet, le carbone organique des sols est le plus important réservoir.

Le carbone superficiel de la planète (1500 Gt) représente une source ou un puits potentiel majeur pour le CO₂ atmosphérique à l'échelle du siècle. L'augmentation de production carbonée doit se traduire par un stockage net de carbone dans tous les sols non perturbés des écosystèmes forestiers, contribuant ainsi un effet en retour négatif sur le CO₂ atmosphérique. Ainsi, la biosphère continentale pourrait se comporter actuellement comme un puits net, non recensé, de (+1.8) ou (-

1.3) Gt/ans, soit le tiers des émissions de combustible fossile (Siegenthaler et Sarmiento, 1993). Inversement, l'augmentation de température seule, en augmentant les vitesses de minéralisation du carbone organique des sols, contribuerait, elle, à un effet en retour positif sur le CO₂ atmosphérique [12].

❖ **Montée des eaux « montée du niveau océanique »**

Une autre source d'inquiétude est la montée du niveau océanique. L'accroissement observé est de 1 à 2 centimètre par décennie, et certaines îles de l'océan pacifique ou l'océan Indien s'inquiètent d'une montée continentales des eaux, qui pourrait à terme de submerger complètement, d'autant plus qu'à ce phénomène de montée des eaux s'ajoute un phénomène encore plus important de subduction (enfouissement des terres dans l'océan). (Voir notamment l'article sur l'archipel des Tuvalu et les écorégions. Le niveau monte actuellement essentiellement à cause de l'expansion volumique de l'eau avec la chaleur, mais certains scientifiques craignent la fonte des calottes polaires et des glaciers. Cependant pour tempérer ces craintes, la communauté des scientifiques ne s'attend pas à une fonte majeure des neiges dans les 100 prochaines années. (Jean M j, 2002) La fonte totale des calottes et des glaces périphériques est perspective angoissante. La fonte des glaces terrestres de l'Antarctique amènerait une quantité significative d'eau supplémentaire aux océans, mais ce phénomène n'est envisagé par les experts du (GIEC). L'élévation prévue du niveau de la mer est de 18 cm à 59 cm.

Selon le centre commun de recherches de la commission européenne (rapport de communiqué du 14 février 2007), il est urgent de tenir compte de l'exploitation des mers et des côtes européennes par l'homme dans les politiques visant à restreindre les incidences du changement climatique. Les premières signes de réchauffement sont là : au large de l'Écosse, la température des eaux a augmenté de 1°C en 20 ans « 1986-2006 », et de 0.5 °C en Méditerranée, dans une mer déjà plus chaude. Les mers ont globalement monté de 0.8 à 3mm. Les pluies torrentielles, sécheresses, inondations sont plus fréquentes (au Nord du Royaume-Uni), « la fréquence des tempêtes d'hiver et des conditions météorologiques extrêmes a doublé au cours des 50 dernières années » [12].

31. Variations climatiques

En cas de réchauffement climatique, le moteur qui anime les courants marins serait menacé. Effectivement, les courants acquièrent leur énergie cinétique lors de la plongée des eaux froides et salées, et donc denses, dans les profondeurs de l'océan arctique. Or, l'augmentation de la température devrait accroître l'évaporation dans les régions tropicales et les précipitations dans les régions de plus haute latitude. L'océan atlantique, en se réchauffant, recevrait alors plus de pluies, et en parallèle la calotte glaciaire pourrait partiellement fondre.

Dans de telles circonstances, une des conséquences directes serait un apport massif d'eau douce aux abords des pôles, entraînant une diminution de la salinité marine et donc de la densité des eaux de surface. Cela peut empêcher leur plongée dans les abysses océaniques. Les courants tels que le Gulf Stream pourraient ralentir ou s'arrêter, et ne plus assurer les échanges thermiques actuels entre l'équateur et zones tempérées.

Selon certaines thèses, ce phénomène d'arrêt du Gulf Stream, dû au réchauffement climatique, pourrait engendrer un effet paradoxal : par son inégale distribution de la chaleur, une ère glaciaire en Europe et dans les régions à hautes latitudes. En effet, l'Europe se situe la même latitude que le Québec, et la seule différence de climat réside dans le fait que l'Europe profite de l'apport thermique du Gulf Stream. L'équateur, à l'inverse, accumulerait alors une chaleur harassante stimulant de ce fait la formation continue d'ouragans amenant des précipitations inégales dans l'histoire [15].

Cependant, il n'est nullement établi que le Gulf Stream soit la cause des hivers doux en Europe. En effet, (Richard Seager. 2002 in Jean-Marc J 2002) a annoncé la seule étude scientifique sur

l'influence de Gulf Stream sur le climat. Ses conclusions sont sans appel : l'effet du Gulf Stream est une légende et a un effet négligeable sur le climat en Europe. La différence entre les températures hivernales entre l'Amérique du Nord et l'Europe est due au sens des vents dominants (vent continentales glaciaux du Nord sur la cote Est de l'Amérique du Nord et vent océanique de l'Ouest en Europe) et à la configuration des montagnes rocheuses.

❖ Glaces polaires

Le bilan sur les glaces polaires est contrasté. On constate bien recul des glaces polaires sur le pourtour des terres arctiques et antarctique, et les mers polaires sont plus navigables qu'elles ne l'ont jamais été .mais dans le même temps, l'épaisseur de la glaces augmente dans la partie centrale de l'antarctique, et du Groenland. En effet, le réchauffement atmosphérique s'y accompagne d'une augmentation des précipitations (très faibles en temps normal) et donc de l'enneigement .les deux effets devraient se faire équilibre pendant quelques décennies, jusqu'à ce que l'expansion des glaciers atteigne son point limite (écoulement des glaces vers la mer)[15].

❖ Certains effets « positifs »

Localement (hors des zones sèches et chaudes qui pourraient le devenir encore plus) et/ou dans un premier temps, un accroissement de la température conjoint à celui de la concentration de CO₂ dans l'air et les pluies, avec les températures pourraient améliorer la productivité des écosystèmes , mais au delà d'un certain seuil ,suite à des tests en laboratoire et en extérieur ,les modèles du GIEC prédisent qu'un taux de CO₂ ne bénéficierait plus aux plantes, les effets négatifs pouvant alors l'emporter . Les satellites montrent que la productivité de l'hémisphère nord a augmenté depuis 1982, mais pour partie à cause de l'eutrophisation générale des écosystèmes, les pluies elles mêmes apportant des engrais d'origine agricole (nitrate) là où ils étaient autrefois absents [9].

L'augmentation de biomasse n'est par ailleurs pas nécessairement bénéfique, la biodiversité risquant encore régresser, même si quelques espèces en profiterait. Enfin, l'augmentation de l'évapotranspiration en été, liée à une productivité dopée par le CO₂ en cas de sécheresse brutale diminuerait la résilience écologique, tout en aggravant le risque d'incendie de forêt avec relargage de CO₂ et dégradation des sols .On ignore aussi qu'à partir de quand les écosystèmes (marin notamment) réagiront négativement à l'acidification des eaux par dissolution des quantités croissantes d'acide carbonique [9].

D'un point de vue économique, une diminution des glaces polaires ouvrirait de nouvelles routes commerciales pour les navires. En rendant aussi le pétrole local plus facile à extraire, mais pourrait être facteur de régression de nombre d'espèce (dont plancton et poissons de haute valeur commerciale) [9].

Une augmentation de la biomasse totale ne compenserait probablement pas un recul d'espèces cultivées, pêchées et chassées. Le bilan global ne peut à ce jour être calculé, mais il pourrait être désavantageux, même dans les zones où les effets positifs se feraient le plus sentir. Le GIEC a mis balance avec les effets négatifs, ces quelques aspects positifs ne permettent pas de considérer le réchauffement climatique comme globalement bénéfique [9].

Le changement climatique pourrait altérer considérablement les ressources en eau douce, pour un certain nombre de raisons. Les ressources nettes en eau sont principalement déterminées par la différence entre la quantité d'eau que la terre reçoit sous forme de précipitation et la quantité d'eau qui s'évapore. Le réchauffement de la planète va probablement modifier les taux d'évaporation et de précipitation dans certain région, ce qui pourrait influencer sur le niveau d'humidité des sols, le débit des rivières et le niveau d'eau des lacs. Si les températures plus élevées provoquent une intensification marquée de l'évaporation, même une augmentation importante des chutes de pluie pourrait ne pas suffire à éviter la diminution des ressources en eau douce. Inversement, une faible

progression de l'évaporation accompagnée d'une forte augmentation des précipitations ferait augmenter les ressources en eau [9].

Le type de chutes de pluie peut également jouer un certain rôle. Les pluies qui tombent sous forme d'orages ou d'averses diluviennes disparaissent généralement en eaux de ruissellement plutôt que d'être absorbées par les sols. Il est probable que les accumulations de neige moins importantes apporteront moins d'eau au moment de la fonte printanière, qui se produira probablement plus tôt dans l'année. Dans de nombreuses régions, les réserves en eau pourraient être restreintes, et des sécheresses plus fréquentes et plus graves sont probables. Les variations des précipitations risquent d'être plus nombreuses. On peut s'attendre à une augmentation des besoins en irrigation. Ces éléments risquent d'aggraver la « concurrence » relative à la consommation d'eau nécessaire aux industries, à la faune, aux activités récréatives et à l'agriculture. (Elouissi A, 2004). La diminution des niveaux d'eau et l'augmentation des températures pourraient altérer directement la qualité de l'eau, ou indirectement à cause du dragage de plus en plus fréquent des voies navigables et de la diminution du débit des rivières. La communauté internationale a pris conscience du changement climatique en 1998, à la suite d'une sécheresse exceptionnelle aux Etats Unis « le Mississipi été a sec, et cela a contribué à convaincre l'opinion de l'urgence d'agri », rappelle Hervé Le Treut. et agriculteurs.

32. Le changement climatique à l'échelle de la méditerranée

Le changement climatique touche aussi les océans et les mers notamment la mer méditerranée. Des changements au niveau de la circulation marine, de la faune et la flore, de l'oxygène et de la production biologique.

Divers aspects peuvent être rappelés :

- ✓ L'élévation du niveau de la mer (envisageable mais modeste par rapport à ce qu'a connu le monde méditerranéen au cours des dernières phases glaciaires, notamment la dernière où il a largement dépassé les 100 m).
- ✓ L'augmentation des températures, qui devrait entraîner des modifications notables, en particulier au nord de la méditerranée où une augmentation annuelle moyenne de 3°C déterminerait un décalage d'une étage de végétation.
- ✓ Les variations de précipitations, avec des prévisions très délicates à interpréter. La plupart des spécialistes admettent que les moyennes annuelles ne devraient pas varier beaucoup, sauf augmenter légèrement en raison de l'élévation des phénomènes d'évaporation liés à l'élévation des températures.
 - ✓ Les autres phénomènes climatiques, encore plus délicats à évaluer : accroissement de la force des vents, modification des courants océaniques.

Le bilan global de ces phénomènes est difficile à établir en raison des incertitudes qui planent sur leur importance éventuelle. Cependant, les modifications relatives aux bilans floristiques et aux paysages végétaux ne devraient pas être dramatiques. C'est sans doute sur les marges sud et sud-est du monde méditerranéen que l'impact sera le plus important, avec une progression des déserts vers le Nord de 100 à 300 Km suivant les situations. Mais même dans ce cas, il sera difficile d'établir le rôle respectif des modifications climatiques et des processus de dégradation anthropique [12].

Il y a Divers signatures d'évolutions du climat et/ou de l'environnement qui ne sont pas encore vraiment perceptibles à l'échelle locale des mesures terrestres ou marines. Comme les changements apparus dans les caractéristiques températures et salinité des eaux profondes du bassin occidental.

Les évolutions des concentrations en métaux-traces et en éléments nutritifs donnent également des exemples d'état non-stationnaire des cycles géochimiques par suite des changements de l'environnement [12].

Dans l'écosystème biologique, les migrateurs les sepsiens, les faunes et flores opportunistes, les proliférations algales ou marées rouges...sont les signatures de changements rapides induits par les activités humaines (conséquences du canal de suez, du barrage d'Assouan, de l'importation de naissain du japon, de l'engouement pour l'aquariologie, de l'eutrophication côtière...) et par un probable changement climatique. Aujourd'hui, la plupart de ces changements biologiques concernent les poissons et les proliférations de plancton spécifique avec des conséquences socio-économiques (pêche et tourisme). Suite à une demande de l'agence STOA du parlement européen, un rapport « pollution de la mer méditerranée » fut rédigé pour montrer les récents changements environnementaux et le bien-fondé de la préoccupation des autorités européens pour l'avenir de la méditerranée [12].

33. Impacts du changement climatique sur les pays du Maghreb

Les ressources naturelles au Maghreb (eau, sols, forêts et parcours) connaissent toutes une tendance plus ou moins rapide à la dégradation qui menace les bases de la survie en milieu rural, et notamment les régions les plus marginalisées. Compte tenu des changements climatiques (inédits au cours de l'histoire récente), les ressources naturelles vont aller vers plus de vulnérabilité mais, plus généralement, c'est la viabilité et l'avenir des pays du Maghreb qui risque de se poser. Parmi les impacts les plus importants, on peut citer :

- La diminution de la mobilisation des eaux de surface due à une baisse du ruissellement superficiel et à une fréquence de plus en plus grande des périodes de sécheresse.
- La dégradation accélérée des sols par l'accroissement de l'érosion hydrique et éolienne, et leur salinisation due à une plus forte évaporation doublée d'une baisse des pluies.
- L'occurrence et l'intensité de plus en plus grande des inondations.
- La surexploitation des nappes d'eau souterraines.
- L'élévation du niveau de la mer qui menace particulièrement la Tunisie.
- L'accentuation de la vulnérabilité des cultures pluviales provoquée par une augmentation de l'évapotranspiration et une disponibilité plus faible des eaux de précipitations.
- Le raccourcissement du cycle végétal et la variabilité intra et inter saisonnière, en plus de l'occurrence de vagues de chaleur en toute saison perturbant et menaçant le déroulement normal des cultures (l'arboriculture n'échappe pas à cette menace).
- L'augmentation de l'occurrence des risques de maladies et de parasites menaçant aussi bien le végétal, l'animal que l'homme.

34. Catastrophe naturelle frappant les pays du Maghreb

Les années 2001 et 2002 ont été catastrophiques pour cette région avec des inondations exceptionnelles et des dégâts matériels et humains importants [4].

35. Catastrophe climatique en Algérie en novembre 2001

L'Algérie a connu la plus terrible inondation de son histoire du 10 au 14 novembre 2001. Frappant principalement Alger, cet événement météorologique extrême fera 751 victimes dont plus de 700 à Alger, et occasionnera des dégâts estimés à 300 millions dollar. Le nombre de personnes déplacées sera de 24 000 et plus de 2 700 habitations seront sévèrement endommagées. Entre 40 000 et 50 000 personnes perdront leurs habitations et près de 109 routes seront endommagées. Seize autres départements seront affectés à un degré moindre par ce phénomène d'une rare violence durant lequel Alger enregistrera en quelques heures l'équivalent de la pluie totale mensuelle. Les vents atteindront 120 km/h. Le phénomène avait fait l'objet d'une prévision des services météorologiques algériens et étrangers, mais l'ampleur des dégâts humains et matériels est certainement en relation avec la violence d'un phénomène classé comme l'un des plus sévères de ces 40 dernières années [4].

36. Catastrophe climatique au Maroc en novembre 2002

Lors de la semaine du 20 au 27 novembre 2002 le Maroc a connu l'une des plus importantes inondations de son histoire avec des dégâts matériels et humains considérables : (premières estimations)

- ✓ Au moins 63 morts, 26 disparus, des dizaines de blessés;
- ✓ Des pertes importantes au niveau de l'habitat (24 habitations effondrées, 373 inondés,...);
- ✓ Des centaines d'hectares de terres agricoles endommagés;
- ✓ Des centaines de têtes de bétail emportées;
- ✓ Des unités industrielles subissant de graves dégâts notamment à Berrechid et Mohammadia : Dans cette ville, la plus importante raffinerie du royaume (La SAMIR) a pris feu ce qui représenterait plus de 300 millions USD en pertes. Il est à noter que cette année humide et pluvieuse succède à plusieurs années sèches ou partiellement sèches et que la dernière année humide — 1996 — a aussi été une année catastrophique pour le pays [4].

37. Vulnérabilité et besoin d'adaptation

Le changement climatique est irréversible selon le dernier rapport du **Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC)**, il est indispensable de s'y adapter. Comment y parvenir au Maghreb, zone particulièrement vulnérable (région en stress hydrique voire en pénurie d'eau) ?

Selon les projections du GIEC, le Maghreb connaîtra à la fin du 21ème siècle un réchauffement moyen de 3 à 4 degrés Celsius avec une réduction de l'ordre de 20% de la moyenne annuelle des précipitations et une augmentation nette de la fréquence des sécheresses et des inondations.

38. Mesures d'adaptation prises par les gouvernements des trois pays du Maghreb dans le domaine de l'eau dans les situations de sécheresse aiguë

38.1. Maroc

- Mise en place d'un comité interministériel de lutte contre les effets de la sécheresse (présidé par le premier ministre)
- Augmentation du rythme de mobilisation des ressources en eau superficielles et souterraines
- Dessalement de l'eau de mer (lancement des premières unités à Laâyoune et Boujdour)
- Lutte contre les fuites des réseaux d'alimentation en eau potable
- Restriction de plus en plus fréquente au niveau de la fourniture de l'eau pour l'irrigation
- Encouragement à l'économie de l'eau dans l'agriculture (subvention des systèmes d'irrigation : goûte à goûte)
- Multiplication des campagnes de sensibilisation du grand public à l'économie de l'eau
- Accélération de la mise en place d'un programme de généralisation d'accès à l'eau potable en milieu rural
- Expériences pilotes de réutilisation des eaux usées en Agriculture (Ouarzazate, Ben Sergao,...)

37.2. Tunisie

- Reprogrammation des dettes des agriculteurs aux près des banques
- Importation et subvention des produits fourragers
- Ouverture contrôlée de la forêt pour le pâturage
- Priorité à l'eau potable
- Restriction pour certaines cultures d'été
- Campagnes de sensibilisation du public

38.3. Algérie

- Limitation stricte des attributions de l'eau et selon l'ordre prioritaire suivant : Eau potable –Agriculture – Industrie
- Accélération de la construction des barrages
- Lancement de programmes de forage supplémentaires et réhabilitation de certains forages abandonnés
- Plan de distribution approprié (Multiplication des forages profonds dans les alentours des villes Alger, Oran, Constantine....)
- Au niveau des villes, réglementation de la consommation au niveau de : Stations service, Hammams,
- Douches publics
- Réhabilitation du réseau de distribution
- Appel aux eaux non conventionnelles : recyclage des eaux au niveau industriel, utilisation des eaux usées
- Protection contre la pollution et périmètres de protection (carte de vulnérabilité)
- Réglementation du prélèvement d'eau au niveau des nappes souterraines.

39. Le changement climatique en l'Algérie

L'Algérie est située au Nord-Ouest de l'Afrique en bordure de la méditerranée. Elle regroupe Trois ensembles fortement contrastés climatiquement caractérisant notre territoire:

Le littoral et les massifs montagneux occupent 4 % de la superficie totale .Le climat est de type méditerranéen, avec des pluies très violentes en hiver provoquant une forte érosion. En été, les précipitations sont extrêmement rares et les chaleurs très fortes. Les pluies pouvant atteindre 1600 mm/an sur les reliefs sont irrégulières d'une année sur l'autre et inégalement réparties [4].

Les hauts plateaux qui occupent environ 9 % de la superficie totale, sont caractérisés par un climat semi-aride (pluviométrie comprise entre 100 et 400 mm/an) [4].

Le Sahara, ensemble désertique aride (pluviométrie moyenne inférieure à 100 mm/an), couvre 87 % du territoire et la surface agricole utile. Sur l'ensemble du pays, les précipitations moyennes s'élèvent à 89 mm/an. L'ETP varient de 800 mm dans le Nord-Est du pays à plus de 2200 mm dans le Sud-Est.

- De part leur position géographique, située en zone Aride à semi-aride, l'Algérie, a depuis des millénaires eu une évolution fortement liée au climat de la région et à sa variabilité. Ce climat se caractérise par des contrastes importants avec des types de climats très différents;
- La région est à dominance semi aride à aride, soumise à un climat résultant d'influences maritimes au Nord, (Mer Méditerranée) et sahariennes au Sud ;
- Une grande diversité de type de climat associée à l'étendue en longitude et latitude de la région ;
- Une grande variabilité spatiale, et inter annuelle des précipitations avec des précipitations plus faibles dans la partie sud, un nombre de jours de pluie très limité (moins de 50 jours sur une grande partie de la zone) et des épisodes de Sécheresses périodiques et fréquentes dont la durée peut dépasser trois années successives;
- Des températures moyennes annuelles élevées, dépassant les 20°C dans le sud et plus douces le long du littoral. Ceci est lié au niveau élevé du rayonnement solaire parvenant à la région, et aux advections fréquentes de masses d'air chaudes. Ces éléments entraînent une forte évapotranspiration.

Les données climatiques relevées dans la région durant le 20^{ème} Siècle indiquent un réchauffement durant ce siècle estimé à plus de 1 °C avec une tendance accentuée les 40 dernières années.

L'augmentation de la température et l'accroissement de l'évapotranspiration ont induit un déficit hydrique notable du sol avec des conséquences graves sur l'environnement et une tendance à l'aridification et à l'accélération du processus de désertification.

- 10-11 novembre 2001 (Bab El Oued- Alger) : pluies diluviennes, 733 victimes, 30 000 de sans abris et importants dégâts matériels.
- 20 octobre 1993 (Ouest algérien) : 22 décès et 14 blessés à Oued Rhiau.
- Octobre 1994 (plusieurs régions du pays) : 60 décès et des dizaines de disparus au cours de dix jours décès.

Dans les pays pauvres, les intempéries prennent un tour dramatique du fait de la faiblesse des infrastructures. L'Algérie a connu la plus terrible inondation de son histoire du 10 au 14 novembre 2001. Frappant principalement Alger, cet événement météorologique d'inondations.

➤ 22 octobre 2000 (Ouest algérien) : plus de 24 extrême fera 751 victimes dont plus de 700 à Alger, et occasionnera des dégâts estimés à 300 millions USD [3]. Le nombre de personnes déplacées sera de 24 000 et plus de 2700 habitations seront sévèrement endommagées. Entre 40 000 et 50 000 personnes perdront leurs habitations et près de 109 routes seront endommagées. Seize autres départements seront affectés à un degré moindre par ce phénomène d'une rare violence durant lequel Alger enregistrera en quelques heures l'équivalent de la pluie totale mensuelle. Les vents atteindront 120 km/h. Le phénomène avait fait l'objet d'une prévision des services météorologiques algériens et étrangers, mais L'ampleur des dégâts humains et matériels est certainement en relation avec la violence d'un phénomène classé comme l'un des plus sévères de ces 40 dernières années [3].

« On ne peut pas directement attribuer un événement ponctuel comme les pluies torrentielles d'Algérie au changement climatique, mais c'est ce genre de conséquences que l'on aura » (Explique Hervé le Treut, chercheur au CNRS) [3].

Conclusion

De nombreux paramètres influencent le fonctionnement du système de gestion de l'eau, qu'ils soient d'ordre naturel ou anthropique. Leurs relations avec les éléments du système évoluent également dans le temps. L'étude rétrospective a mis en avant plusieurs éléments en rétroaction qui ont induit des réorganisations du système de ces changements. Elle implique de considérer le système dans sa dynamique pour comprendre son fonctionnement et étudier la pertinence du concept de gestion de l'eau au cours du changement climatique, on a donné une aperçu, les cause et les conséquences des changements climatiques avec les différentes ressources en eau. On développés le concept du changement climatique au niveau mondial, dans les pays de Maghreb ou les ressources naturelles (eau, sols, forêts et parcours) connaissent toutes une tendance plus ou moins rapide à la dégradation qui menace les bases de la survie en milieu rural, et notamment les régions les plus marginalisées, particulièrement en Algérie les différentes ressources en eau, aperçu une vulnérabilité vis-à-vis de la variabilité et des impacts majeurs de cette vulnérabilité.

CHAPITRE II

METHODE D'APPROCHE, DE LOGICIEL



Water Evaluation And Planning System

Introduction

Si le logiciel HYDROM est employé par les institutions travaillant sur les eaux de surface permettent d'évaluer les ressources en eau de surface tel que les CNRE (Centre National de Recherche Environnemental et le Service Météorologique, le PLUVIOM pour évaluer les précipitations. Et que certains modèles comme MODE-FLOW, GWW (Grounds Water Windows), AQUACHEM sont utilisés pour l'eau souterraine.

Le logiciel WEAP est utilisé pour la planification de l'exploitation de toutes les ressources en eau que ce soit eau de pluie, eau de surface ou eau souterraine. C'est un logiciel de modélisation hydrologique pour la gestion intégrée et durable des ressources en eau.

1. ETAT DE L'ART DU MODELE WEAP 21

Le logiciel WEAP est un outil de planification intégrée des ressources en eau. Il fournit une structure compréhensive, flexible et d'utilisation facile pour les analyses des politiques. Il est utilisé pour la planification de l'exploitation de toutes les ressources en eau que ce soit eau de pluie, eau de surface ou eau souterraine. C'est un logiciel de modélisation hydrologique pour la gestion intégrée et durable des ressources en eau.

2. Description du logiciel

Le logiciel WEAP est déjà utilisé dans divers pays, y compris les Etats-Unis, le Mexique, le Brésil, l'Allemagne, le Ghana, le Burkina Faso, Madagascar et la Thaïlande. WEAP ou « Water Evaluation and planning System » est créé par Stockholm Environment Institute (SEI) à Tellus Institute 11 Arlington Street, Boston, MA U2116-3411 USA par les chercheurs : Jack Seiber, Water Systems Modeler ; Chris Swartz, Research Associate et Annette Huber – Lee, Director Water Program Stockholm Environment Institute [13].

3. Principaux objectifs du logiciel

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

Les objectifs de ce système d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP) sont :

- d'incorporer ces dimensions dans un outil pratique pour des ressources d'eau avec la projection future
- d'examiner des stratégies alternatives de développement et de gestion de l'eau
- de fournir un système de base de données pour la demande ou besoin en eau et les informations de maintien d'approvisionnement
- de prévoir certaines situations des ressources en eau en simulant la demande, les ressources exploitables, les écoulements et stockage, et les sources de pollutions, les traitements et décharges
- d'analyser le développement socio-économique en évaluant une gamme complète des options de développement et de gestion de l'eau, et en tenant compte des utilisations multiples et concurrentes des systèmes aquatiques [20].

4. Acquisition du logiciel

Le logiciel WEAP est téléchargeable sur le site : <http://www.weap21.org>. Par contre, pour le fonctionnel, il faut obtenir un permis ou licence d'utilisation pour les types d'utilisateur. Pour l'obtention, il faut remplir et envoyer un formulaire. Le SEI (*Stockholm Environment Institute*) envoie par e-mail le nom d'utilisateur et un code d'enregistrement, les instructions pour activer le logiciel

WEAP et pour permettre le dispositif « économiser données » fonctionnel. Le permis d'utilisation est valide pour une durée déterminée [20].

5. Structure du Logiciel WEAP

WEAP se possède cinq présentations principales : représentation cartographique et graphique, affichage des données et des résultats, présentation des notes et observations. Ces affichages sont présentés par des icônes graphiques sur la "barre d'affichage", située à côté gauche de l'écran. En cliquant sur l'une de ces icônes, une présentation voulue est affichée. Ces cinq affichages sont présentés ci-dessous (Fig.II.1, a, b, c, d, e).

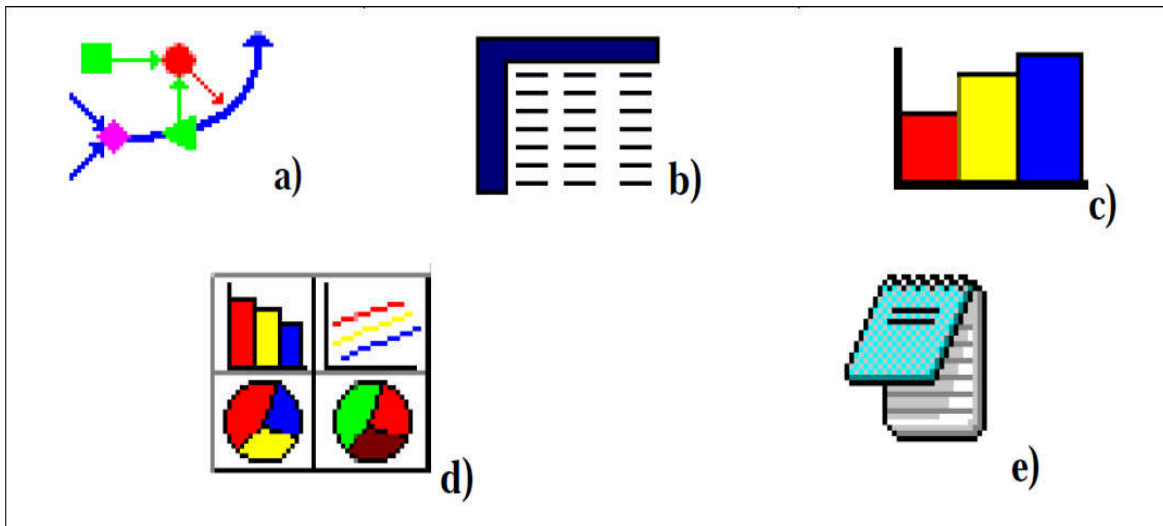


Fig. II.1. Les cinq affichages du Modèle Weap

5.1. Cartographie

C'est le point de commencement pour toutes les activités dans WEAP (Fig II.1a). Elle sert à créer, éditer ou aussi ajouter des couches ArcView ou d'autres SIG standard de la zone d'étude comme couche de fond. Ainsi, on peut accéder rapidement à l'analyse des données et à l'affichage des résultats pour n'importe quel nœud en cliquant sur l'objet qui nous intéresse [20].

Les objets sont montrés dans la 2ème fenêtre gauche avec les signes conventionnels utilisés (Fig. II.2.).

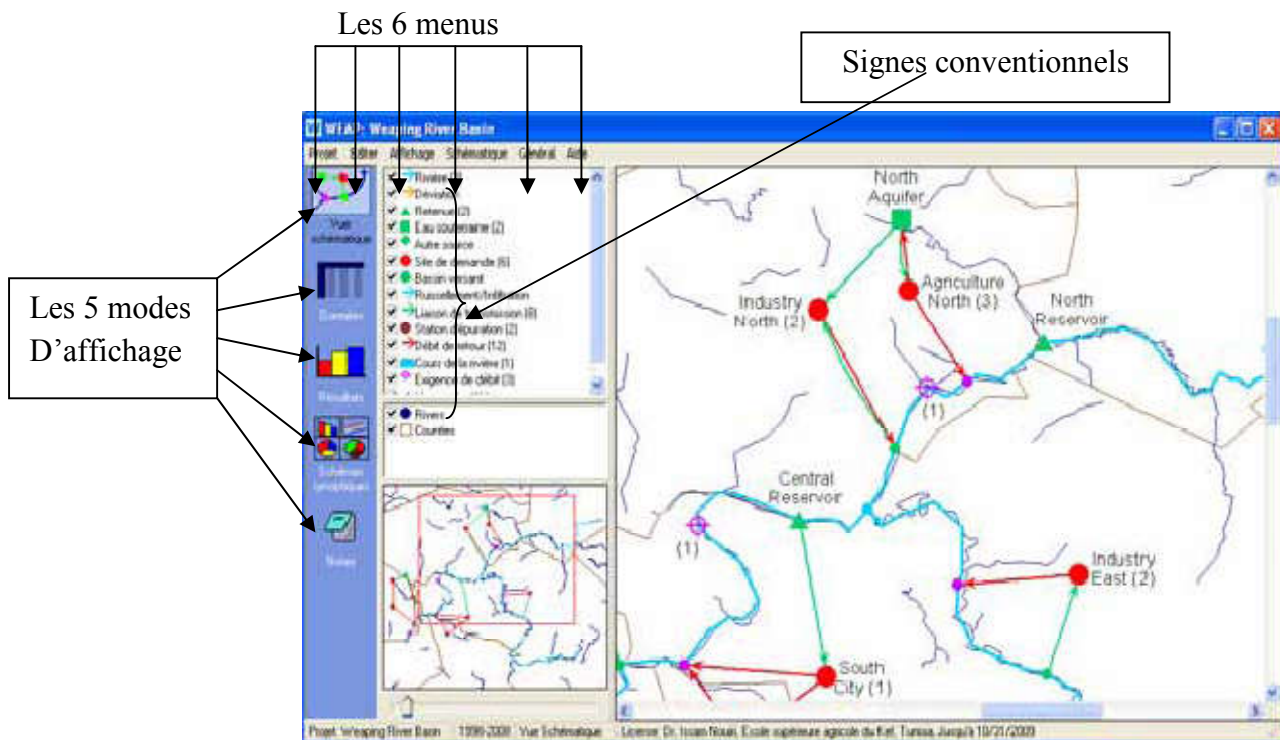


Fig. II. 2. Fenêtre cartographie WEAP

5.2. Base de données

C'est l'endroit pour la création des structures, du modèle et des suppositions de données (Fig.1b). Pour l'affichage des données, l'écran est divisé en quatre carreaux (Fig.II.3) :

i. Sur la partie supérieure

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

Par exemple, cliquer sur « site de demande » la branche lien du côté gauche de l'écran, les données pour tous les emplacements de demande apparaissent sur le côté droit de l'écran [20].

ii. Sur la gauche inférieure

Un schéma du secteur apparaît. En cliquant sur l'élément qui apparaît sur le schéma, il sera accentué dans le lien et des données seront montrées dans les tables de saisie de données vers la droite (2). Quand on clique sur une branche dans le lien, l'élément associé clignotera brièvement [20].

iii. Sur la partie droite supérieure

Une table de saisie de données apparaisse. Cette table sert à écrire les expressions qui définissent les comptes courants (3), pour éditer des données et pour créer le modèle des rapports.

Au-dessus de ce tableau de saisie de données, il y a un ensemble de boutons donnant l'accès aux différentes catégories de variables liées à chaque branche [20].

iv. Au dessus tableau de saisie de données

Un cadre de résultats apparaît, il représente graphiquement les données saisies dans la table de saisie de données. Sur le coté droit, il y a un barre d'outil pour changer la forme du diagramme (couleurs, effets 3D, grilles, nombre de positions décimales, etc...) [20]. Les données numériques peuvent être transférées directement dans Microsoft Excel.

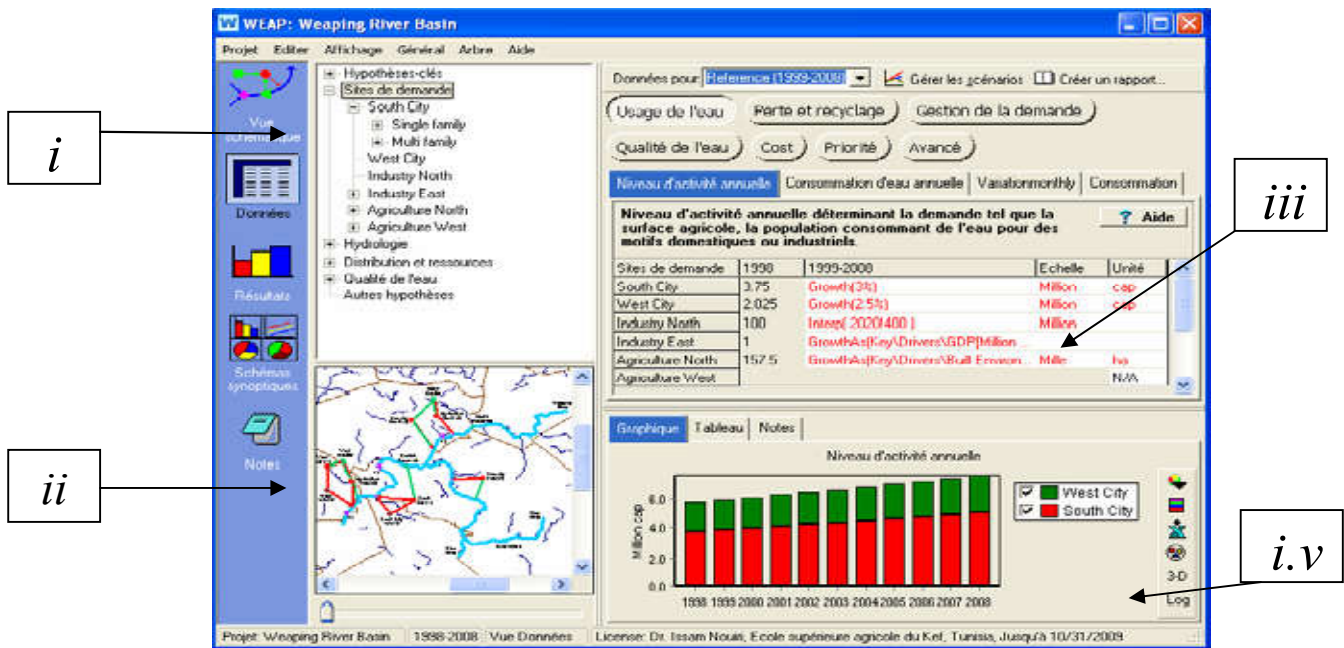


Fig.II. 3. Fenêtre basse de données

6. Présentation des résultats

C'est le menu qui permet d'afficher de façon détaillé et flexible toutes les sortes de modèles (Fig II. 1c), dans les diagrammes, les tables et le menu schéma. Cette présentation peut montrer une grande variété de diagrammes et de tables couvrant chaque aspect du système : demandes, approvisionnement et chargements environnementaux [20]. Les résultats peuvent être exportés dans l'Excel

7. Représentation graphique

La représentation graphique (Fig II.1d) est employée pour grouper l'ensemble des diagrammes "Favoris" et les tables (créés dans le menu résultat). Avec cette représentation, on peut examiner simultanément les différents aspects importants du système, tels que les demandes, le niveau de stockage, etc. Les graphes peuvent être copiés dans Word [20].

8. Bloc Notes

L'écran de notes est un outil simple de traitement de texte (FigII.1e) avec lequel on peut écrire des informations documentaires et des références pour chaque branche du lien. On peut importer les notes vers le texte (Microsoft Word) [20].

9. Fonctionnement du logiciel

WEAP fonctionne donc suivant cinq (5) étapes.

9.1. Créer une zone d'étude

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

comme fond des dessins des éléments nécessaires pour pouvoir faire la simulation tels que les emplacements urbains, les rivières, les sources d'eaux souterraines, les réservoirs, les barrages les industries, les sites agricultures et les autres types d'emplacement selon l'étude [20].

9.2. Créer les hypothèses clés et références

Puisque le logiciel pourrait faire une simulation basée sur le calcul de la demande et l'approvisionnement en eau, l'écoulement, l'infiltration, le stockage, et le traitement général de pollution, la qualité de l'eau, etc.... Il est donc primordial de créer la base de données avec les différentes hypothèses clés et les différents scénarii [20].

9.2.1. Hypothèses clés

Ce sont des variables définies par l'utilisateur du logiciel qui servent de clés principales pour faire l'analyse. Dans notre étude, nous avons quatre (4) hypothèses clés servant comme données de base pour le logiciel utilisation d'eau domestique, besoins en eau pour l'irrigation, pourcentage mensuel d'utilisation d'eau domestique, taux de croissance de la population pour l'année du scénario futur [20].

9.2.2. Références

Il est nécessaire d'avoir une année ou une période de référence pour servir de modèle. Toutes les données à utiliser doivent être comprises entre cette année ou période de référence [20].

10. Proposition de Scénarios

Dans WEAP, le scénario typique est composé de trois étapes une année de compte courant choisie comme année de référence du modèle dont on ajoute les données ou une période, un scénario de référence établi à partir du compte courant et sert pour simuler l'évolution, probable du système sans interposition, des autres scénarii pour évaluer les effets des changements socioéconomiques, changements climatiques probables pour l'année ou projet futur [20].

11. Saisir les données

Les données sont à saisir en cliquant droite après avoir créer les éléments dans la zone d'études (placer les emplacements urbains, industriels, élevages, agriculture irrigué.....) ou en passant dans le menu d'affichage de la base de données [20].

12. Présenter les résultats

Les résultats se présentent sous forme de graphe et (ou) de tableau. On aura deux résultats à comparer : les résultats de l'année de référence et de l'année de scénario de changements climatiques [20].

Le fonctionnement du logiciel peut être représenté par le diagramme ci-dessous (Fig.II. 4).

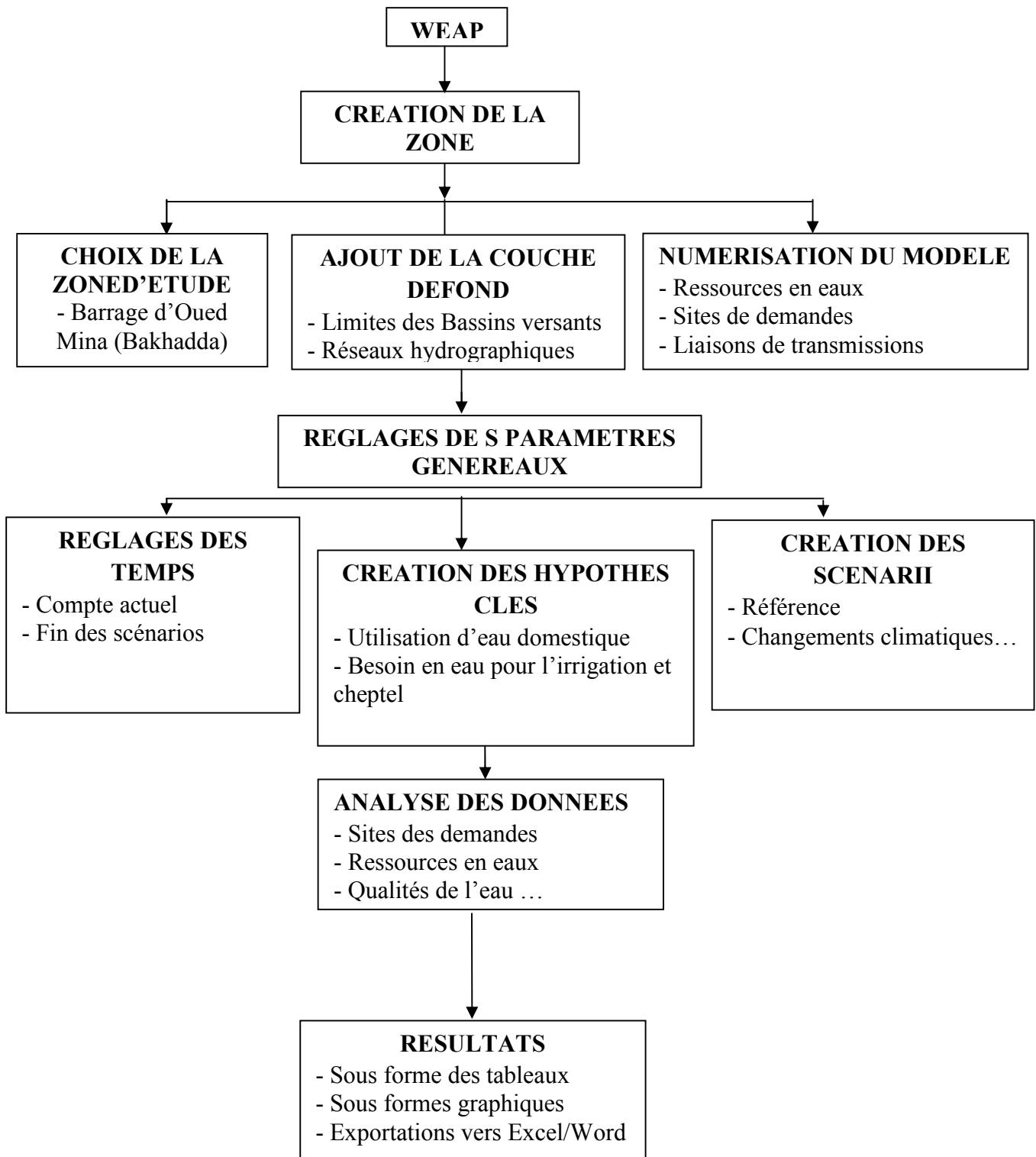


Fig.II. 4 Organigramme du fonctionnement du logiciel WEAP 21

13. Données nécessaires

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

13.1. Etude de l'offre et de la demande en eau

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

Ces données supposées englobant d'une part, les ressources en eau et d'autre part, les principaux usagers de l'eau, nous permettent de faire une modélisation simple de la gestion de l'eau, l'établissement des priorités à l'attribution de demande. La prise en compte des données sur les autres utilisateurs comme l'industrie, l'exploitation minière, le tourisme et autres rend la modélisation plus proche de la réalité [20].

13.2. Etude de la qualité de l'eau

Dans cette étude, on peut modéliser les polluants en les classant en deux types : polluants conservateurs et polluants non conservateurs.

Un polluant est dit conservateur s'il n'y a aucun affaiblissement de ses constituants. Par contre, il est non conservateur si ses constituants se délabrent selon une fonction d'affaiblissement exponentielle. Quand on fait la modélisation de ce polluant, on saisit aussi les données sur le taux quotidien d'affaiblissement de l'élément polluant à modéliser. Les polluants conservateurs sont modélisés par un bilan de matières simples ou constituantes chimiques de l'eau. Par contre, plusieurs modèles peuvent être offerts pour les polluants non conservateurs.

Le modèle nécessite des données entrantes sur la qualité de l'eau (surface et souterraines), des données sur la pollution pour l'emplacement de la demande (eaux usées domestiques), des données sur les eaux usées par des usines et eaux résiduaires [20].

13.3. Etude hydrologique

Dans ce module, WEAP permet de faire :

- la modélisation de captage par le modèle d'écoulement et de précipitations ou par le modèle d'humidité du sol
- la simulation sur l'interaction d'eau de surface - eaux souterraines. Les données nécessaires sont surtout des données climatiques comme l'évapotranspiration potentielle ou réelle (ETP/ETR), précipitations (P), écoulement (R) ou débit (Q), humidité (H), infiltration (I).

A noter que dans le logiciel, il existe déjà un modèle nommé « Méthode de l'année hydrologique » qui permet de faire une simulation de l'effet du changement climatique sur les ressources en eau [20].

13.4. Etudes hydro-électriques

WEAP peut modéliser aussi la production d'énergie mais dans la zone d'étude nous n'avons pas recensé aucun usage hydro-électrique [20].

Conclusion

La gestion des ressources en eau nécessite la connaissance de la situation actuelle et à venir des ressources existantes. Pour cette raison, on a choisi comme méthode d'approche le modèle WEAP 21 ou Water Evaluation And Planning System pour modéliser les ressources et les besoins en eau en vue de la gestion intégrée et durable des ressources en eau dans un bassin versant donné et essaie de tenter et montrer l'effet du changement climatique sur cette ressource eau dans le bassin versant de oued mina partie amont.

CHAPITRE III

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Introduction

Le Bassin de Mina partie amont a été choisi pour appliquer le « modèle WEAP 21 » pour des multiples raisons :

- Sa vulnérabilité aux changements climatiques ;
- La présence des activités socio-économiques intenses dépendantes directement ou indirectement aux ressources en eaux (agricultures, élevages, industries, tourisms,)
- La disponibilité des données concernant les ressources en eau ;
- La disponibilité des documents ou ouvrages de recherches ultérieures.

1. Localisation géographique

Le site d'étude est une zone sublittoral, du l'Ouest de l'Algérie. Il fait partie du bassin versant d'Oued Mina, qui alimente barrage Bekhadda. Il est situé sur le cours d'eau supérieur de la Mina (affluent de l'oued Cheliff) autrement dit le bassin versant de l'oued Mina en amont du barrage de Bakhadda couvre une superficie de 1400 Km². Le débit d'étiage de l'oued est de l'ordre de 800 l/s, son débit moyen de 3 m³/s, et les crues atteignent fréquemment 200 m³/s. C'est en moyenne 70 millions de mètres cubes d'eau qui est apportés annuellement par l'oued dans la retenue de Bakhadda [23]. L'eau traverses par la zone de Machraa Sfa-Tousnina Tagdemt à 40 Km de l'ouest de la ville de Tiaret.

Le site du barrage se situe à proximité de l'agglomération de Machraa Sfa. De par son contexte montagneux le site du barrage et son périmètre irrigué formant une cuvette, sont accessibles par route. Au plan cartographique, le site du barrage est localisé aux coordonnées Lambert suivants : X= 349 ; Y= 228,75 et Z = 545 (figure III.1).

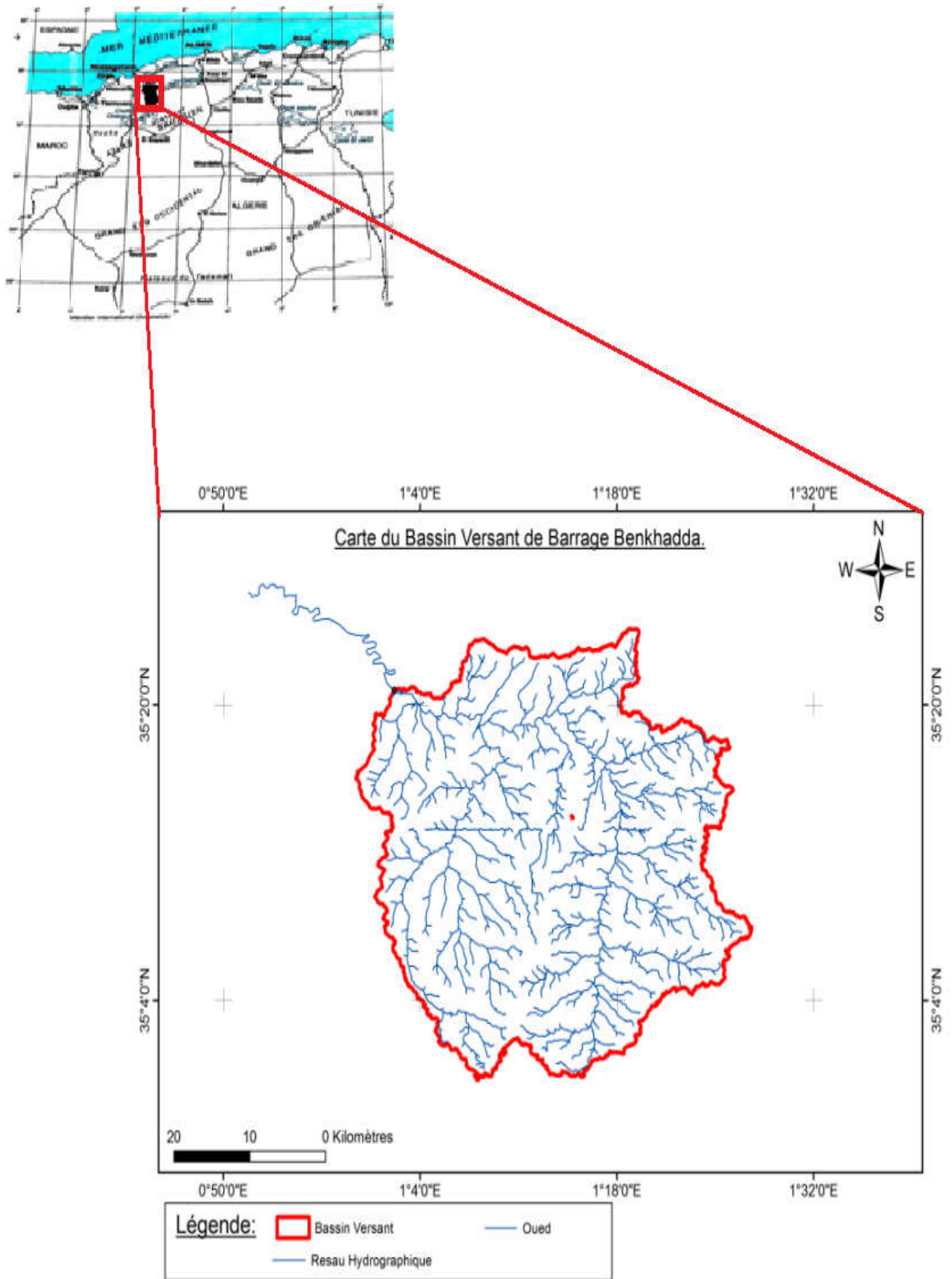


Figure III.1. Localisation bassin versant d'Oued Bakhadda

L'oued Mina prend sa source sur le plateau calcaire situé entre l'extrémité Ouest du Djebel Nador et Frenda, à l'Est des Monts de Saïda, à la cote 1.150, il y coule du Sud au Nord avec une pente assez faible et régulière (voisine de 8m par km), érodant ce plateau calcaire ou marno-calcaire. Brusquement, il traverse des assises argileuses et calcaires redressées et un banc domotique formant une chute de 40 m de hauteur.

Puis vient butter contre les dépôts miocènes du Djebel el Guezoul et s'infléchit vers l'Ouest pour garder Cette direction Est-Ouest jusqu'au barrage.

Les terrains drainés sont en général subhorizontaux et peuvent être schématiquement divisés en 4 groupes, peu différents d'ailleurs les uns des autres.

- Au Sud Est, un grand plateau calcaire et marno-calcaire couvrant près de la moitié du bassin ces assises donnent naissance aux sources les plus nombreuses et les plus importantes ; le réseau hydrographique y est serré.
- Au Sud Ouest, une alternance de calcaires, argiles, marnes et grés plus profondément érodés.
- Au Nord, en affleurement et constituant le substratum de toutes les autres formations, nue assises dolomitique pouvant atteindre une soixantaine de m d'épaisseur surmonte une épaisse série argilo- gréseuse.
- A l'extrême Nord, des poudingues et des grés, puissants, mais de peu d'extension, surmontés par une série argileuse.

La présence de nombreuses assises argileuse pratiquement horizontales et l'existence d'un substratum Argileux généralise à faible profondeur dans tout le bassin sont les raisons pour lesquelles le bassin versant géographique correspond assez exactement au bassin versant réel.

Aspect géomorphologique

Morphologiquement, La plaine de la Mina est entourée par des plateaux peu élevées et des plaines. Ces derniers lui donnent la forme d'une cuvette elliptique allongée de direction NE-SO. Elle constitue une partie subsidence du bassin néogène du Bas-Chélif.

La zone d'étude, comprend toute la région comprise entre les Monts de Zemmoura, de Bel Hacel y compris les collines qui entourent la Sebkhha de Benziane.

Morphologiquement, la plaine de la Mina est limitée :

- Au Nord, par le massif du Dahra qui s'élève de 500 à 700 m, constituant une barrière climatique qui réduit l'influence marine de se manifester sous le vent en termes de condensation et de précipitations. La pluviosité dans cette région est amoindrie de manière remarquable, compte tenu de la proximité des versants côtiers, très arrosés pendant la saison pluvieuse.
- Au Sud par les monts de zemmoura dont la partie orographique est moins accentuée. En étiage, l'effet orographique se fait bien sentir par les perturbations orageuses donnant souvent des pluies violentes de courtes durées.
- A l'Ouest, par l'anticlinal peu élevé, de Bel-Hacel (400m) qui représente un pli structural simple, se plongeant jusqu'au village de Sidi Khettab.
- Au Sud-Ouest, par la ride anticlinale complexe, relayant l'anticlinal de Guerbouça en séparant la dépression de la plaine de touila de celle de la plaine de Semmar. En fin, au Nord-Est, par les dépressions plus ou moins fermées qui se traduisent par le notable Sebkhha de Benziane et les Daïas élémentaires environnantes.

L'ensemble constitue ainsi une plate forme résiduelle des déférentes interactions géologiques en matière d'écoulement souterrain. L'hydrochimie ayant un caractère évolutif, représente un effet très marqué sur le comportement spatial de la nappe phréatique.

2. Etude des caractéristiques du relief

La topographie interfère avec les autres facteurs de formation pour modifier la nature des sols. La plaine de Mina est caractérisée par un relief composé de collines de faible altitude. L'influence du relief sur l'hydrogramme est encore plus évidente. Une pente plus forte correspond à une durée plus faible de concentration des eaux de ruissellement dans les canaux de drainage, les affluents et le cours principal.

Le relief est souvent caractérisé par la courbe hypsométrique de la zone. On porte en abscisse les surfaces cumulées et en ordonnée les altitudes pour lesquelles chaque point correspond à une superficie au moins égale à cette altitude.

A partir de la courbe hypsométrique, on définit également l'altitude médiane qui correspond au point d'abscisse A/2 de la courbe hypsométrique.

2.1. La pente

Tableau .III.1. Répartition de la superficie de la plaine par classes des pentes.

Classe pente	0-3%	3-6%	6-12.5%	12.5-25%	25%	Totaux
Hectare	5792.48	1239.84	514.96	459.20	193.52	8200
%	70.64	15.12	6.28	5.6	2.36	100

On remarque que la classe des pentes la plus représentative au niveau de la plaine est celle de (0 - 3%), elle occupe 70.64 % de la superficie totale.

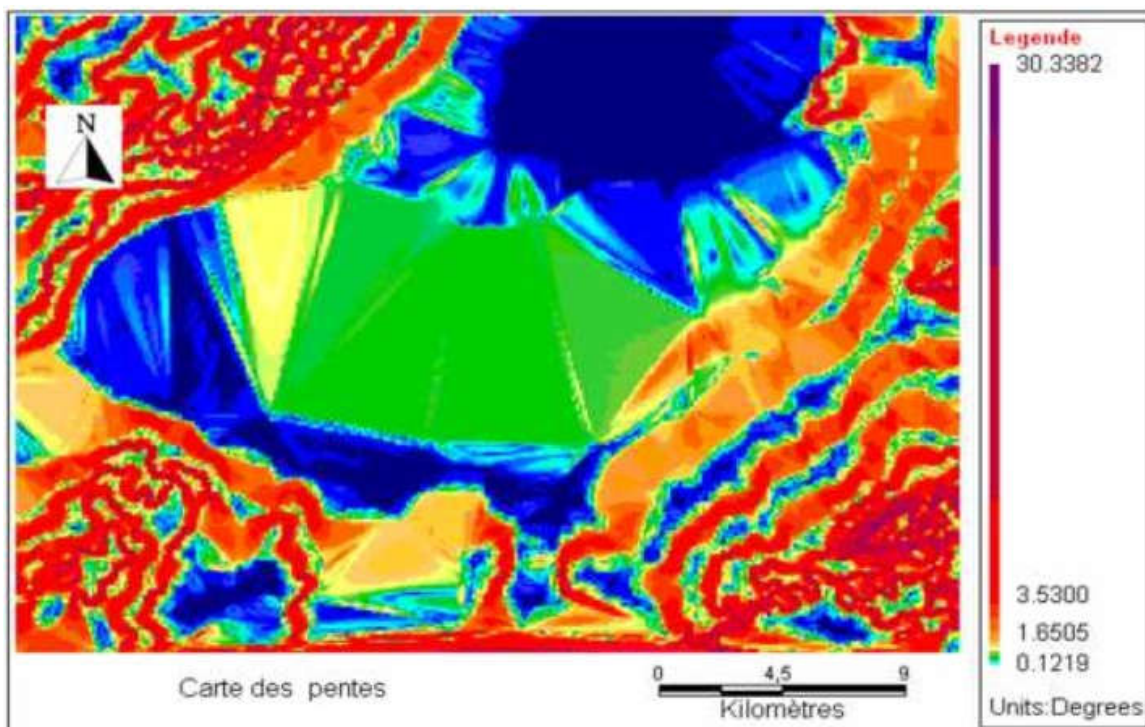


Fig .III.2. La carte des pentes au niveau de la plaine de la Mina.

2.2. Altitude

Le tableau .III.2 montre que la plaine de Mina est caractérisée par des altitudes faibles inférieures à 140 m.

Tableau .III.2. Répartition de la superficie de la plaine par classes d'altitudes.

Classe	43.15-140m	140-240m	240-340m	340-440m	440-540m	540-640m	Totaux
Hectare	3995.04	1691.66	1037.3	684.7	531.36	259.94	8200
%	48.72	20.63	12.65	8.35	6.48	3.17	100

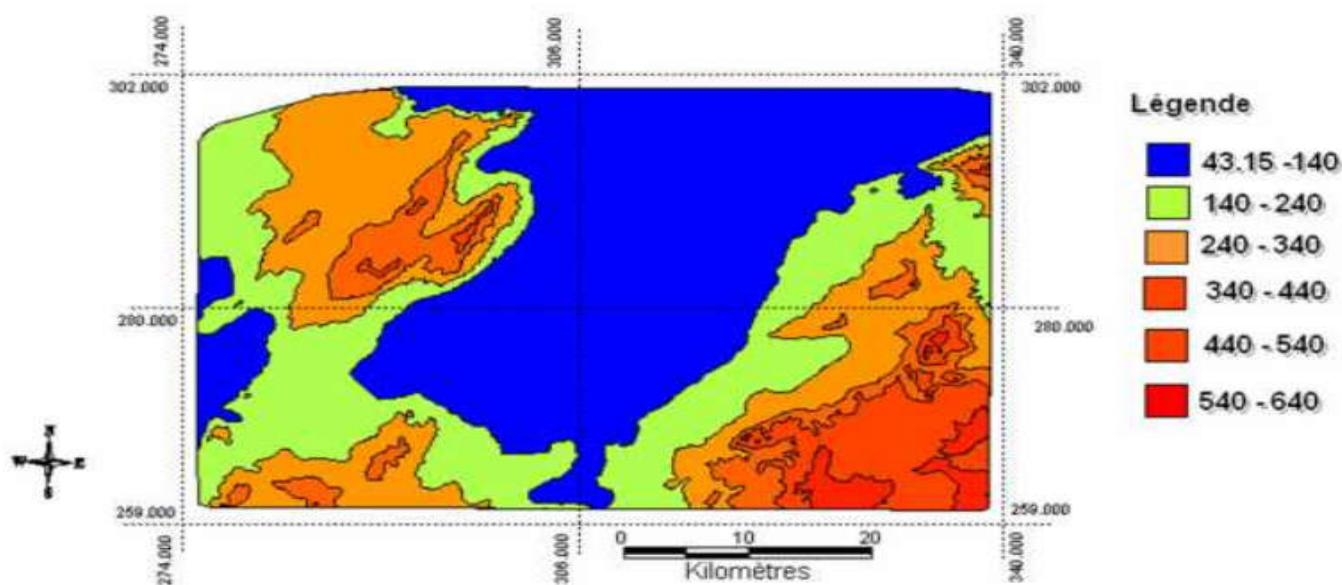


Fig .III.3. Carte des tranches d'altitudes de la plaine de la Mina

3. Réseau hydrographique

La disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques. La vallée de la Mina, affluent du Chélif inférieur, est sensiblement parallèle à celle de la Habra. Cette vallée est celle de ces affluents principaux, rivière Takhemaret (oued el-Abd), rivière de Frenda (oued el-That), ont leur origine à la lisière des Hauts-Plateaux descendent du Sud au Nord et traversent une région très montueuse entre des falaises de grès profondément érodées.

4. Bassin versant de la Mina

Le bassin de l'Oued Mina draine une superficie de 8200 km² comprise depuis les hautes terres (monts de Frenda) jusqu'à la mer Méditerranée par le biais du Oued Chélif. Les principales affluentes prenantes naissances à partir des montagnes et se déversant dans l'Oued Mina sont :

- Oued Abd, prend naissance des monts à partir des monts de Sidi Youcef et Boudfir et draine le djebel d'Argoub, Toukiret, Moualek et Djebel Maida.
- Oued Taht draine les monts de Kaf Safsaf passant par les monts de Keskas et Coulamzan.
- Oued Haddad draine les monts de Loukda.
- Oued Kreloua, draine les monts de Sidi Yahia et de Bou Barha.

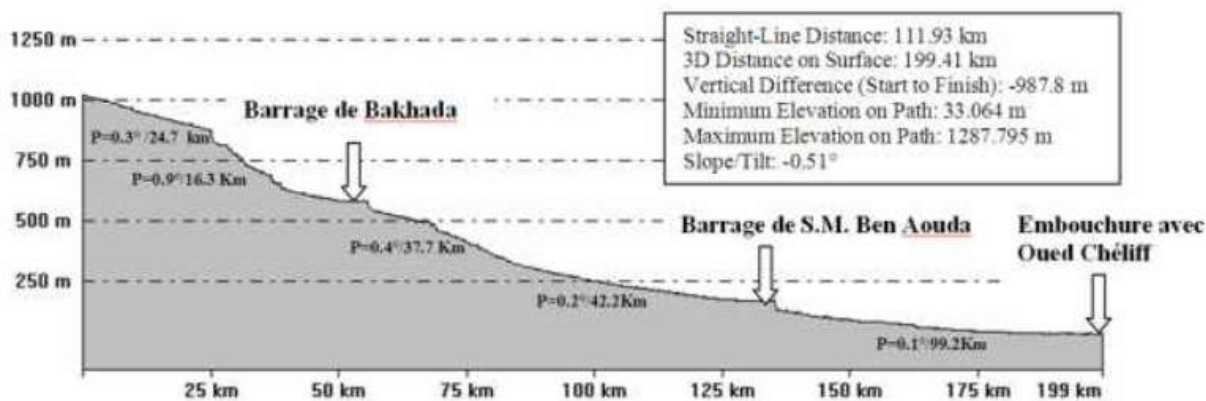


Fig.III.4. Représente le profil au long d'Oued Mina [6].

A 200 m d'altitude se situe le barrage de Sidi M'Hamed Ben Aouda sur l'oued Mina qui rejoint l'oued Chélif environ 80 Km à l'aval du site du barrage. A quelques kilomètres en amont du barrage de S.M. Ben Aouda, l'oued mina est contrôlé par le barrage de Bakhada (à 600 m) qui draine un bassin de 1300 Km².

Dans le tableau suivant nous avons présenté les différentes caractéristiques morphométriques du bassin versant de la Mina :

Tableau .III.3. Les caractéristiques physiques du bassin versant de la Mina

Superficie du bassin versant (km ²)	2195
Périmètre du bassin versant (km)	275
Le plus long talweg (km)	199
Indice de compacité de Gravelius (KG)	1.64
Longueur du rectangle équivalent (L)	125
Largeur du rectangle équivalent (I)	65.3
Altitude max (m)	1324
Altitude min (m)	30
Elévation moyenne (m)	673.05
Altitude à 5% de la superficie du bassin (m)	1277
Altitude à 95% de la superficie du bassin (m)	76
Indice de pente global (Ig)	9.976
Dénivelée spécifique (Ds)	1201
Densité de drainage (Dd)	2.5

(Source DRE Tiaret, 2021)

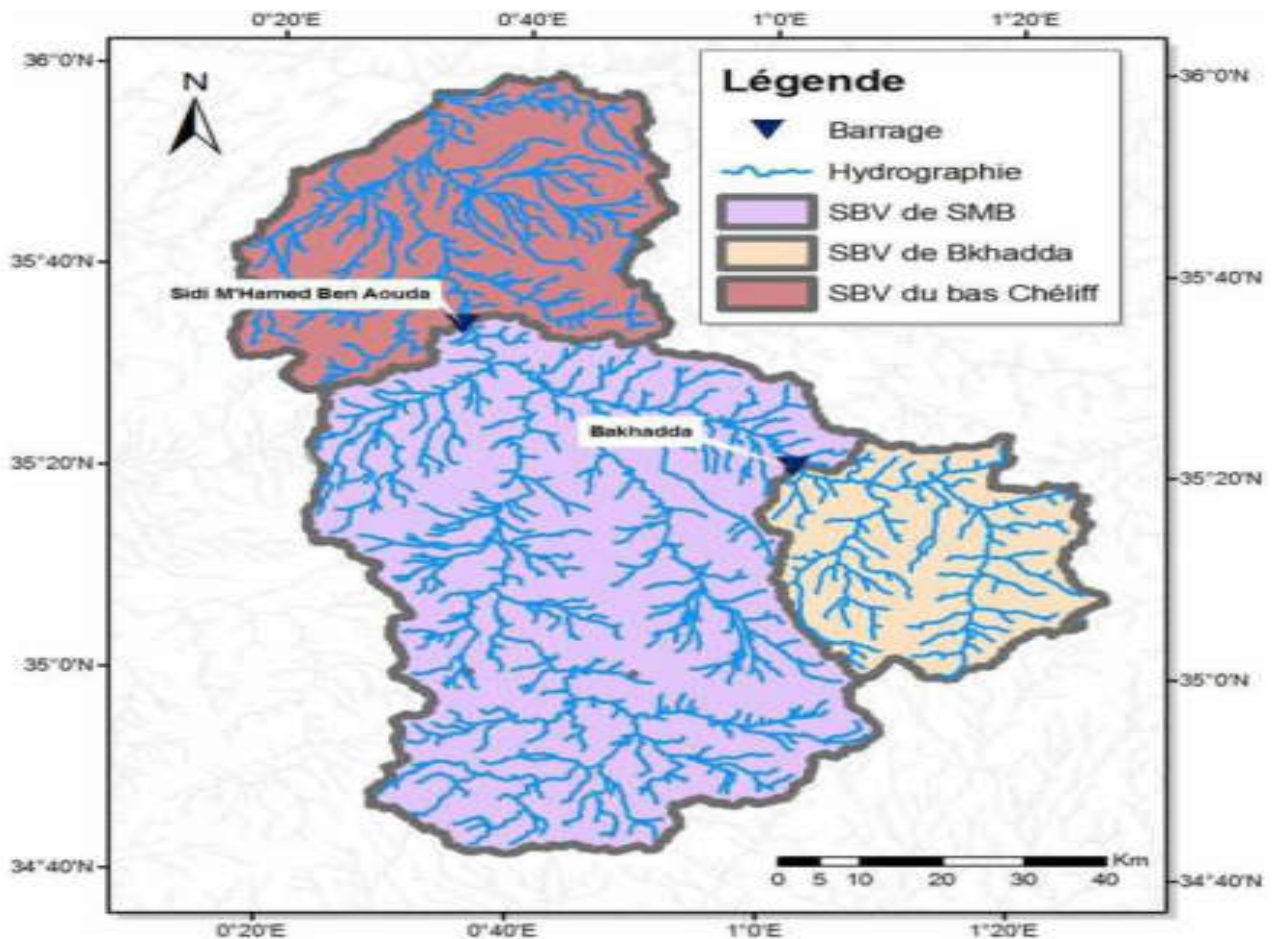


Fig .III.5. Réseau hydrographique du bassin versant de la Mina [6]

5. RUISSELEMENT

Le régime de la haut Mina se différencie du régime moyen des révises telliennes, la hauteur moyenne annuelle de pluies n'étant sur son bassin versant que de 475mm au lieu de 624mm. De plus, influent sur ce régime l'intéressent des précipitations et leur répartition, la topographique du bassin versant, ne montant par un relatif très accusé (point culminant à 1.283 m, Mina à Bakhadda à 546 m) la nature géologique et lithologique des terrains (couverture calcaire subhorizontale généralisée) jouant un rôle dans le ruissellement et la capacité de rétention des nappes souterraines, ainsi que la température et l'évaporation importantes.

Le débit moyen annuel est de 69.277.000 m³ correspondant à un module moyen de 2.195m³/s.

L'étiage se situe en juillet – aout avec un débit moyen de 12.328.000 m³, soit 5 fois plus. Comme toutes les rivières algériennes la Mina est très irrégulière ; les moyennes annuelles peuvent être très différentes et varier dans le rapport de 1 à 11. De même si les débits moyens mensuels de plusieurs années forment une courbe régulière ou les extrêmes sont dans le rapport de 1à5, ce qui n'à rien d'excessif pour une rivière d'Algérie au cours d'une même année les débits mensuels peuvent être très variable 2.011.000 m³ en novembre 1943, 62.176.000 m³ en Décembre de la même année, soit un rapport de débits mensuels extrêmes connus de 1à30.

Les débits de crue, calculés, donnent les chiffres suivants :

- ✓ Pour la crue qui, en moyenne, est dépassée une fois tous les 100 ans ,900 m³/s.
- ✓ Pour celle qui, en moyenne, est dépassée une fois tous les 1000 ans ,1.100 m³/s.

Cette crue «millénaire » de 1.100 m³/ seconde a été connue pendant la construction du barrage le 2 février 1930. [1].

6. Caractéristiques spécifiques du barrage Bakhadda

Le Barrage BAKHADDA ,l'un des premier Barrages en enrochement construit en Algérie ,est situé sur le cour supérieur de la Mina ,affluent de l'Oued cheliff, à proximité du village de Mechrâa-Sfa, à environ 32 kms a l'Ouest de l'agglomération chef lieu de Wilaya de Tiaret .Il a été destiné principalement a l'irrigation mais par priorité de la consommation humaine, il a été réaménage pour être la source principale d'alimentation en eau potable (AEP) de la ville de Tiaret et des quatre centres urbains (Rahouia,Mechraa-sfa ,Tiaret,Guertoufa, et DjilaliBenamar) voir tableau ci après (ANBT,2021).

Tableau III.4 des besoins par commune

Commune	Population	Tx de croissance	Besoin	Production Globale			Dotation
				Barrage	Forrage	Total	
Tiaret	248733	2	44772	21428	17626	39054	157
Rahouia	30687	2.5	4603	2190		2190	71
Guertoufa	8459	1.2	1269	600		600	71
Machraa sfa	20365	0.4	3055	3000		3000	147
Djillali Ben Amar	6802	0.3	1020	900		900	132

En 1869 le premier projet de construction d'un barrage sur la Mina abandonné par la suite,1921 la délégation Financière Algériennes adoptent un programme de grands travaux s'échelonnant sur 16 ans et comprenant en particulier la construction d'un Barrage sur la Mina,1923 des considérations Topographiques amènent a choisir le site actuel,1925-1927 exécution des sondages de reconnaissance, janvier 1927 ouverture du concours octobre de la même année le jugement d'où l'administration se trouve en possession de 22 projets déférents dont 10 projet d'ouvrage en Béton ou Béton armé et 12 projets d'ouvrages en enrochements ,l'Administration adopte définitivement le type d'ouvrage en enrochement avec masque amant étanche et les travaux ont été confié à la Société des grands Travaux de Marseille pour une duré de 45 mois,1928-1936 la construction (les études complémentaires prouvèrent que les terrains de fondations n'étaient pas du tous ceux que l'on attendait ce qui ramènent a des modifications sérieuses du plan initial ce qui engendre ce retard,1936 la mise en eau définitive ,1958-1962 une surélévation de 5 mètres pour amener la capacité initiale de 36 Millions de mètres cubes a 56 Millions mètres cubes [1].

Le barrage est de type Enrochement ou volume de la digue est atteins 320 000 m³ d'enrochement avec masque amant étanche en béton armé (0,40 mètres), dont le matériau de la digue est en enrochement grés miocène, la Capacité initiale à la RN et de 56 Hm³. La capacité à la RN est de 39.943 Hm³ et Capacité à la PHE est de 45.636 Hm³ selon le dernier levé bathymétrique Février 2005. Il est caractérisé par une hauteur maximale au dessus de la fondation de 60 m, au dessus du lit de l'oued 45 m, longueur en crête est de 220 m avec une largeur en crête de 5 m [1]

Les côtes du barrage sont comme suit :

- ✓ côte de la crête : 587.25 NGA
- ✓ côte du PHE : 586.00 NGA
- ✓ côte de la RN : 584.75 NGA (réellement il n'a déborde qu'a la cote 584.81 voir la fiabilité de la règle limnimétrique)

Le débit du déversoir est de $Q = 2000 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une lame ne dépassant pas les 1.25 m ou le vidanges de Fond est atteins $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$ a la cote de 584.75 m de la retenue normale. Le débit de la prise est de $Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$ destinée en priorité pour assurer l'AEP comme elle est dotée

d'une dérivation pour répondre aux besoins d'irrigation (lâchées saisonnières actuellement en arrêt) [1].

Le Barrage a été réalisé initialement pour l'irrigation des plaines de Relizaine ; donc il a été doté d'une seule prise ,vers les années 1983 il a été réaffecté à l'AEP pour répondre aux besoins en eau potables de l'ACL de Tiaret et d'autre centres a savoir l'ACL Mechraa-sfa ;Rahouia et Tameda et par la suite la commune de Djillali Benammar et VSA de KHarouba et Ain sarb.

Les caractéristiques du Barrage de Bakhada sont présentées comme suit:

Tableau .III.5. Les caractéristiques du Barrage de Bakhada

Type du Barrage en pierre	Type: Barrage en pierre
Coordonnées	X: 349000
	Y:228750
	Z:545
Profondeur	33 m
Superficie de la retenue	4596 m ²
Longueur de la digue	220 m
Largeur de la digue en crête	5 m
Largeur de la digue	100 m
La superficie du bassin versant	1280 km ²
Date de mise en service	1936
Superficie du bassin versant	1 300 Km ²
Apport moyen interannuel du bassin versant	72 Hm ³ (PNE) contre 61.70 Hm ³ estimé par l'ABH
La capacité initiale du barrage	56 Hm ³
La capacité estimée (2003) du barrage	43,80 Hm ³
Volume régularisé	44,00 Hm ³ /an
Apport réel du barrage	28,50 Hm ³ (période 1990 - 2001)
Taux d'envasement	22 %

(Source : DRE Tiaret, 2021)

7. Etude hydrogéologique

A Barrage Bakhadda, l'Oued Mina et ses affluents ont un bassin versant géographique d'une superficie de 1.300 km² qui correspond assez bien au bassin versant réel .Aucun résurgence notable

dont l'impluvium serait en dehors du bassin versant ne vient alimenter cet oued, de même qu'aucune partie importante de ce bassin n'est drainée vers l'extérieur.

Sur le plan hydrogéologique, on distingue sur la plaine de la Mina, plusieurs horizons aquifères plus ou moins bien individualisés. Séparés les uns des autres par des couches d'argiles discontinues. Il existe donc des interconnexions hydrauliques entre tous ces horizons. A partir de l'analyse lithologique et structurale, on peut détailler la plaine de la Mina en cinq (05) aquifères potentiels connus, du plus récent au plus ancien :

- ✓ Les alluvions récentes.
- ✓ Les alluvions anciennes, y compris les sables des dunes continentaux.
- ✓ Les grès à Hélix.
- ✓ Les grès à Ostréa.
- ✓ Les calcarénites du sommet des marnes bleues.

8. Les principales couches aquifères

8.1. Le complexe «Alluvial plio-quadernaire »

Constitué par un ensemble de sédiments continentaux postérieurs à la régression de la mer astienne.

A- Les alluvions récentes et anciennes Les alluvions récentes et anciennes constituent une couche aquifère s'étend sur la totalité de la surface de la plaine de la Mina.

• Les différentes nappes

La distinction des différentes nappes du complexe alluvio-quadernaire dans la plaine de la Mina est nette, deux différentes nappes ont pu être identifiées du haut vers le bas :

- La nappe superficielle

Elle est contenue dans le dépôt alluvionnaire du quadernaire récent ; ce dernier est pratiquement étendus sur toutes la superficie de la plaine. Leur épaisseur varie entre 50 à 70 m.

D'une structure hétérogène, et à nappe libre, l'aquifère superficiel repose sur une couche plus ou moins argileuse qui le sépare de l'aquifère inférieur. Il ya autant de niveaux aquifères que de niveaux relativement perméables ; mais ces niveaux doivent être en relation les uns avec les autres. Cette nappe est utilisée pour l'irrigation et alimente quelques habitants.

- La nappe profonde

Il s'agit d'une nappe contenue dans des formations constituées de grands systèmes lenticulaires ou biseautés ; d'éléments détritiques sans variations brusques de lithologie, mais plutôt sous forme d'alternances nuancées de bancs à granulométrie fine à grossier.

Le système aquifère de ces formations n'est pas formé de nappes superposées, notamment séparées, à forte anisotropie de perméabilité verticale et horizontale. La séparation de ces aquifères, bien que progressive, pas moins importante de fait des variations latérales de faciès. Les caractéristiques aquifères de ces sédiments présentent des hétérogénéités, ces éléments forment une ressource ayant un rôle économique certain.

- L'alimentation

La plaine de la Mina est formée essentiellement par les alluvions récentes et anciennes. Elles sont directement rechargées par les précipitations tombant sur la plaine, sur la surface de leurs affleurements, ainsi que par le ruissellement des Chabats.

Ces alluvions sont également rechargées dans une moindre mesure par l'aquifère des couches rouges sous-jacentes. L'altitude des affleurements des couches rouges et l'un pendage en direction de la plaine où ils plongent sous les alluvions et font que l'aquifère contenue dans les couches rouges devient captive en quelques endroits dans la plaine, et alimente par

drainance ascendante l'aquifère supérieure des alluvions récentes et anciennes. Ce dernier est drainé essentiellement par les oueds Mina, Yellel, et les puits agricoles.

B- Les couches rouges

C'est un aquifère d'âge Villafranchien, constitué par les alluvions rouges, limoneuses ou argileuses, qui donne au pied des collines des dunes dites « Alluvions anciennes niveau inférieur ».

L'épaisseur de cet aquifère en moyenne de 100 m, est augmentée progressivement vers le centre de la plaine. Il renferme quelques niveaux de perméabilité moyenne.

Les couches rouges sont rechargées principalement par les précipitations tombant sur la surface de leur affleurement, et également par l'aquifère des grés à Hélix, par drainance ascendante.

8.2. Aquifère du Pliocène

Constitué essentiellement par les grés et limons à Hélix (Pliocène continental), et les grés marins à Ostréa (Pliocène marin).

• Les grés à Hélix (Pliocène continental)

Cette formation aquifère affleure largement alentours de la plaine de la Mina, surtout sur les flancs de la montagne de Bel Hael. Malgré ces différences lithologiques, elle recèle des aquifères du même type que ceux des formations sous-jacentes. Les grés sont rechargés par les précipitations, les aires de recharge superficielles étaient plus élevées que celles des couches rouges, leur épaisseur peut atteindre 100 m. Il en résulte le même type de captivité, les grés à hélix rechargent donc partiellement les couches rouges.

• Les grés à Ostréa (Pliocène marin)

C'est une formation aquifère d'âge astien, d'origine marine et lagunaire. Ce sont des grés à ciment calcaire des calcarénites gréseuses grises à jaunâtres. Ces sédiments sont largement indurés mais de façon irrégulière, ils peuvent présenter une perméabilité de fracture non négligeable (perméabilité de fissures), leur porosité intrinsèque en revanche est généralement modérée du fait de leur cimentation.

Ces sédiments ont un affleurement limité, on peut les retrouver sur la zone anticlinale de Guerbouça, sur le flanc SE des dj-Makhalia, et Bel Hael.

- Les nappes des grés marins

Les grés astiens du Pliocène marin, contiennent deux sortes de nappe qui sont :

La nappe libre :

C'est une nappe suspendue de déversement uniquement aux pluies. En fait par un écoulement vers la nappe captive mais avec un gradient hydraulique très grand de par le pendage élevé de l'aquifère, ces sources sont concentrées sur le Dj. Bel Hael. Les points d'eau de Bel Hael sont donc dus aux circonstances particulières, on distingue les quatre groupes suivants :

❖ Groupe 01 :

Les sources qui naissent du pied de la ligne de crête gréseuses de Bel Hael. Les coupes géologiques montrent que les grés amorcent sur la crête la retombée anticlinale SE. Cette disposition permet de déterminer une nappe dont les exutoires des diverses sources

❖ Groupe 02 :

Constitué par quatre sources, dont l'origine est la même que celle du groupe précédent mais où les sables dunaires drainent les grés de la crête.

❖ **Groupe 03 :**

C'est une source due à une faille qui met en contact anormal les grés marins (Astien) et les marnes bleues (Plaisancien).

❖ **Groupe 04 :**

Ces sources sont alimentées par les dunes environnantes (vallée de la Soif).

La nappe captive :

C'est une nappe d'eau souterraine des grés astiens a été utilisée par une profondeur de (-276), une nappe captive dans les grés et sables du pliocène marin, retenu au mur par les marnes bleues et on fait par les argiles lacustres grises.

9. Caractéristiques sédimentologiques des puits

L'essentiel de la majorité des puits de la plaine de la Mina sont caractérisés par :

- Les sables grossiers et fins.
- Sable fins, et moyens avec des calcaires argileux.
- Argiles sableuses avec calcaires.
- Gravier fins, et millimétriques.
- Grés peut argileux berge avec taux élevé de graviers.
- Grés fiables berge à brun rouge rarement argileux
- Intercalaire d'argile et calcaire.
- Calcaires gris à gris blanc tendre argileux, et calcaires argileux.
- Marnes bleues à plastique, et les marnes bleues pâteuses.

10. Etude géologique

La plaine étudiée correspond à fait d'un ensemble assez vaste : le bassin « Néogène » du Bas-Chélif. Ce dernier se présente géologiquement comme une cuvette subsidence limitée au Nord par la chaîne côtière du Dahra et au Sud par le massif de l'Ouarsenis.

Le centre de cette cuvette allongée, suivant une direction Est-Ouest, est occupé par un remplissage alluvionnaire du Quaternaire qui repose sur un substratum constitué essentiellement par des marnes du Néogène. L'oued Mina occupe la partie sud de ce bassin.

Plusieurs travaux géologiques ont été réalisés dans cette région par plusieurs auteurs dont les plus connus sont : M. DALLONI, R.V. ANDERSON, J. BOULAIN, G. THOMAS. Les travaux de géophysiques (surtout électrique) ont été réalisés par plusieurs sociétés comme le C. G. G (1972) surtout dans la région du Bas-Chélif et qui ont servi à A. PERODON de reconstituer la paléogéographie du Miocène de cette région.

11. Aperçu géologique

La plaine de Mina est une cuvette subsidente allongée suivant une direction presque Est –Ouest. Au Sud-Ouest, la plaine est bordée par une ride anticlinale complexe prolongement de l'anticlinal de Guerbouça. Cette ride sépare la dépression de la plaine de Touila de la vallée de l'Oued Hillil. Au Nord-Est de la plaine, la sebkha Bouziane forme un relief cratériforme dont le centre est occupé par le lac salé et le pourtour par une bande étroite salifère et par une large auréole de sédiments terrigènes rubéfiés parfois encroûtés.

Du point de vue lithostratigraphique deux grands ensembles peuvent être distingués du bas vers le haut. Le premier ensemble occupant les bordures Est, Ouest et Sud de plaine est constitué par des dépôts néogènes discordants sur le substratum anté-néogène. Le second ensemble, formé par un remplissage alluvial quaternaire, occupe presque la totalité de la surface de la plaine lui conférant

une topographie presque plane. La profondeur des dépôts quaternaires est maximale le long de la bordure Nord-Ouest du bassin.

Le quaternaire est formé par les limons argileux et sables alors que le pliocène marin est constitué par les marnes sableuses. Le pliocène moyen est sabloargileux. Le pliocène supérieur se caractérise par une alternance de grès et sables. Il y a lieu de signaler que le pliocène continental se compose de sables, grès et galets. Entre le miocène inférieur (marnes plus ou moins salées) et le miocène supérieur (grès et calcaires) une discordance est signalée au sud de l'Oued R'hiou. Les marnes azoïques qui bordent la plaine au Sud de Hamadena appartiennent au Miocène supérieur [1].

Tableau III.6. Des Formations des aquifères (multicouche)

Aq 1.	Aquifère intergranulaire d'alluvions Oued Mina aquifère libre captée par des nombreux puits. Limons, sables, graviers et poudingues. $K = 1.0 * 10^{-4}$ à $1.0 * 10^{-7}$ m/s ; Salée Aquifère intergranulaire du Plio-quaternaire ; aquifère libre formé de
Aq 2.	Sable et graviers; Potentialités moyennes
Aq 3.	Aquifère des grès de l'Astien aquifère semi captif à captif – pliocène supérieur, grès de l'Astien,

(Source ANRH ,2021)

12. Lithostratigraphie

L'essentiel de la zone étudiée est formé de roches sédimentaires du Secondaire, du Tertiaire, et du Quaternaire. Du point de vue lithostratigraphique, la plaine de la Mina se caractérise par une région déprimée, formée par la présence de deux grands ensembles se distinguant géologiquement du bas vers le haut

- Le premier ensemble occupant les bordures Est. Ouest et Sud de la plaine, est constitué par des dépôts Néogènes reposant en discordance sur le substratum. Ce dernier est formé par des dépôts appelés « Anté-Néogène».
- le dernier ensemble occupe la totalité des sols de la plaine, est formé surtout par des dépôts alluviaux du Quaternaire. En respectant l'ordre stratigraphique principalement de M. DALLONI (1923) et A. PERRODON (1957), on distingue la série suivante :

12.1. Les formations anté-Néogène (substratum)

Ces formations constituent le substratum, et sont visible dans l'anticlinal de Guerbouça en Nord-Ouest du Zemoura ou on distingue : le Trias, le Crétacé, et le Nummulitique (Paléogène), et l'absence du Jurassique.

12.2. Le Trias

Le Trias affleure au Nord-Ouest de Zemmoura et dans la vallée de l'Oued Krelloug. Au Nord-Ouest de Zemmoura où il est formé par des cargneules et des marnes bariolées, intercalées dans l'Albien. Il est aussi largement représenté dans le haut bassin de l'oued ElMalah.

12.3. Le Crétacé

Il affleure au Sud Oued et à l'Est de la plaine (Kalâa, la chaîne de Beni-Chougrane), et aussi à l'Ouest de la plaine de Semmar. Son épaisseur varie du 200 à 300 m. Le Crétacé comprend à la base des marnes de teinte foncée et des calcaires noirs blanchâtres surmontées par des marnes grises à intercalation de grès quartzite. Ces marnes deviennent schisteuses vers le haut avec parfois des calcaires marneux.

12.4. Le Nummulitique (Paléogène)

Le Nummulitique est largement développé sur les rives de la Djidioua. Il est formé à la base des calcaires à silex, surmontés des marnes à Ostréa de couleur grises. Le sommet est formé par des poudingues, grés et marnes rouges.

Ce nummulitique n'apparaît pas dans la plaine, soit il a été érodé par des mouvements postérieurs, ou recouvert par une post-sédimentation.

12.5. Les formations « Néogène »

D'après A. PERRODON, le Néogène du bassin de Bas Chélif comprend deux cycles sédimentaires : le cycle Miocène et le cycle Pliocène.

a. Le cycle Miocène

Le Miocène forme un cycle sédimentaire complet, qui se subdivise d'une façon générale dans le bassin du Bas Chélif en deux ensembles qui sont : le Miocène inférieur et le Miocène supérieur.

b. Le Miocène inférieur

Le Miocène inférieur se caractérise par une vaste transgression ; il est en général transgressif sur les différents termes de la série stratigraphique. Du point de vue stratigraphique, le miocène inférieur comprend trois ensembles :

- Une série sableuse et conglomératique, au sommet.
- Une série marneuse intermédiaire.
- Une série gréseuse et conglomératique à la base.

Le Miocène inférieur a une épaisseur d'environ 300 m. Il a été reconnu dans l'anticlinal de Guerbouça et aussi dans les sondages effectués à l'Ouest comme au sud de Yellel.

c. Le Miocène supérieur

La deuxième phase du Miocène, se caractérise par une nouvelle transgression surtout le bassin de Chélif, succédant à la régression générale de la mer à la fin du Miocène inférieur. Le Miocène supérieur est représenté par des faciès très divers : marnes bleues, sables, calcaires, dolomite, gypses et grés. Cette phase, se développe en trois grands ensembles sédimentaires qui se superposent comme suite :

- Les formations de base.
- Les formations médianes, représentées par les marnes bleues vindoboniennes et par leurs équivalents latéraux.
- Les dépôts de la mer à Tripolis et des langues des gypses de la fin du Miocène, ou formations terminales.

d. Le cycle Pliocène

La série sédimentaire de ce cycle est complète, suite à une transgression marquant le début de ce cycle. Du point de vue lithologique, le Pliocène est formé par la succession des dépôts suivantes :

- Niveau détritique de base (phase d'érosion et de dépôt).
- Marnes bleues et calcaires construits (Plaisancien).
- Grés marins (Astien).
- Grés continentaux (Pliocène continental).

Suit à ces dépôts, le Pliocène se distingue en deux périodes : période marine (Pliocène marin) et période continentale (Pliocène continental)

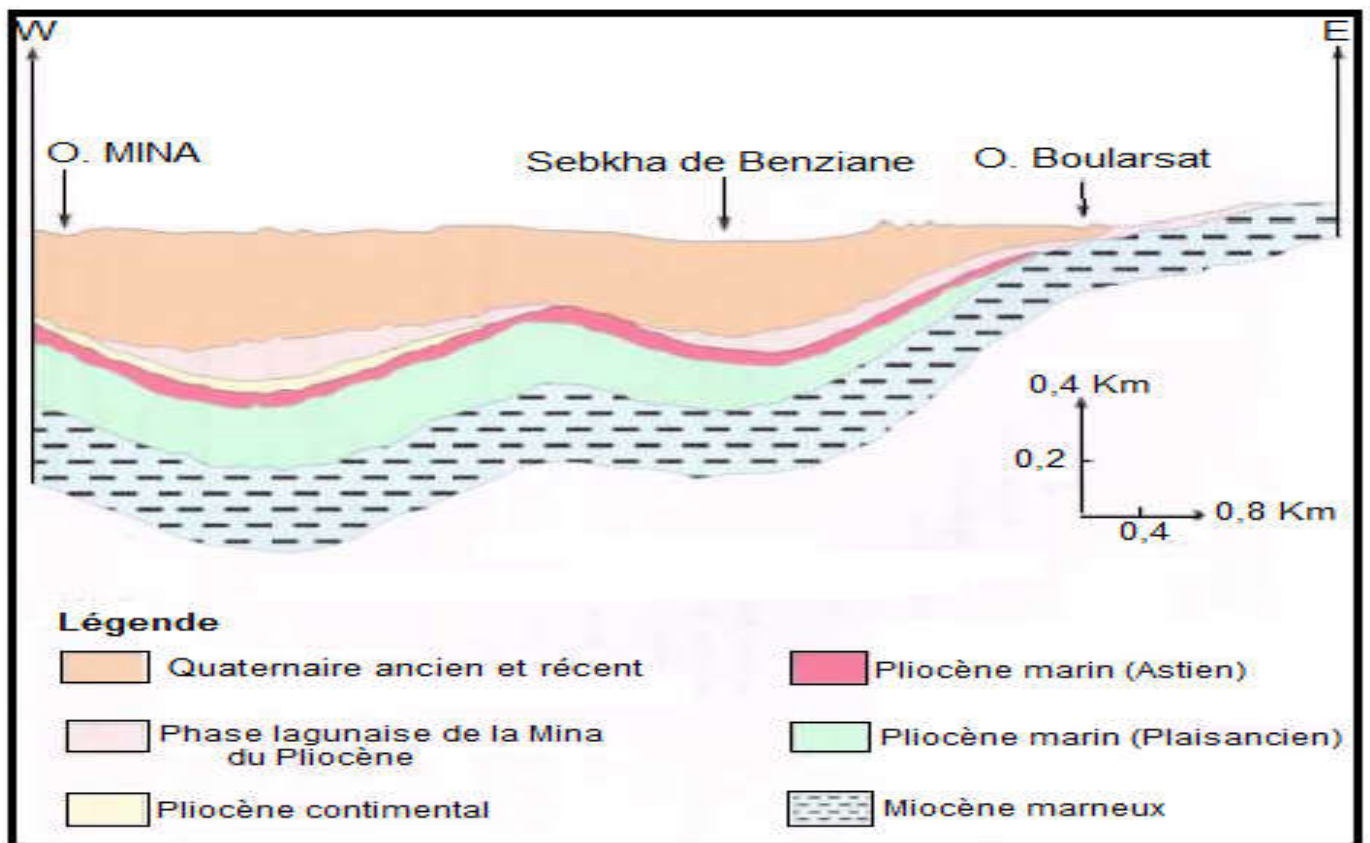


Fig.III.6.coupe géologique passant par les forages de sebkha Benzian

12.6. Le Pliocène marin

Il se subdivise en deux ensembles :

- Les marnes bleues (Plaisancien).
- Les grés (l'Astien)

❖ Le Plaisancien (marnes sableuses fossilifères)

Il est représenté essentiellement par une série de marnes bleues parfois grisâtres ou blanchâtres, fossilifères renfermant quelques passes de calcaires à algues. Cette série débute le plus souvent par des niveaux détritiques (grés ou sables parfois conglomérats), passe progressivement à des marnes sableuses et à des sables argileux, formant tous les termes de passage aux grés astiens. L'épaisseur de cet ensemble varie de 0 à plus de 700 m.

Plus à l'Ouest de la plaine, le Pliocène réapparaît à l'affleurement sur la zone anticlinale de Guerbouça. Les marnes bleues, assez sableuses et localement bariolées, y atteignent une centaine de mètres de puissance. Le pliocène marin a été retrouvé dans les forages de Yellel

❖ L'Astien

Il est représenté par une série marine finement détritique, sableuse ou gréseuse, de couleur jaune fauve. Les grés sont peu argileux sauf à la partie inférieure où ils sont le plus souvent à ciment calcaire et peuvent localement passer à des calcaires gréseux. Dans la plaine de la Mina, ces grés affleurent en plusieurs endroits et aussi ils sont rencontrés par forages ; à Relizane, ces grés ont été exploités comme empierrement dans les carrières de fortin. Ce type de formation a été reconnu aussi dans les forages pétroliers qui entourent la Sebkhya de Benziane et surtout dans l'anticlinal de Bel Hael.

❖ **Le Calabrien**

C'est une formation marine calcaire-gréseuse d'une épaisseur de 20 à 30 m. Il débute par l'apparition des argiles et des limons gris, surmontant les formations détritiques marines du Pliocène.

Le Calabrien affleure nettement à l'Ouest de l'oued Mina, dans l'anticlinal de Guerbouça, les forages de Yellel et Bel Hacel.

❖ **Le Villafranchien**

C'est une formation continentale sableuse et argileuse ; d'une épaisseur variant entre 50 à 100 m et de teinte généralement rouge, et débutant par un niveau de concrétions ferrugineuses.

12.7. Le Quaternaire récent (Holocène)

Le Quaternaire récent lacustre ou continental, est constitué par des alluvions ablonneuses entraînées par les crues des oueds (oued Mina), de couleur dominante grise ou brune. Ce quaternaire d'une épaisseur de 40 m est formé de trois (03) ensembles et qui sont de bas en haut :

❖ **Bas fonds marécageux**

Ces composants sont généralement salés, correspondant à des dépressions locales dans les quelles les eaux de la plaine s'accumulent.

❖ **Dunes continentales**

Constituées de sables résultant de la désagrégation des grés, les dunes s'étendent en cordons continus à la bordure Ouest de la plaine de Relizane et au Nord de Bouguirat.

Les alluvions récentes

Ces alluvions sont limoneuses aux abords de la plaine de la Mina et de l'oued El-Malah, elles deviennent sableuses aux environs de Bouguirat.

13. Aperçu structural

La structure de la plaine de la Mina et des massifs montagneux ou des collines qui l'entourent résulte des actions successives de plusieurs poussées orogéniques. La multiplicité des poussées orogéniques explique l'aspect heurté du relief de l'Atlas Tellien et du Dahra et notamment les changements des directions des axes anticlinaux. Ces changements sont particulièrement nets dans les zones montagneuses du Sud et de l'Ouest : les plis de l'Atlas Tellien de direction générale SO-NE se raccordent à ceux du chaînon de Bel Hacel dirigé Sud Ouest –Nord Est et affectent par fois une orientation NS, et l'anticlinal qui est situé dans le prolongement de Sidi Khettabe. Un autre axe anticlinal jalonné par le prolongement de Tuila.

La plaine de Yellel correspond à une aire synclinale, limitée par des axes anticlinaux de Bouguirat et du Guerbouça au Sud, de direction Sud Ouest-Nord Est. Le synclinal d'El Marouane d'orientation Sud Ouest-Nord Est, qui est limité par l'anticlinal de Grabes.

La partie NE de la plaine est contrôlée par une succession des failles avec d'indications du rejet ; des directions principales N 10-20°, N 60°, N 140°. Une faille principale supposée de direction N 10-20° se marquée dans la plaine de Yellel

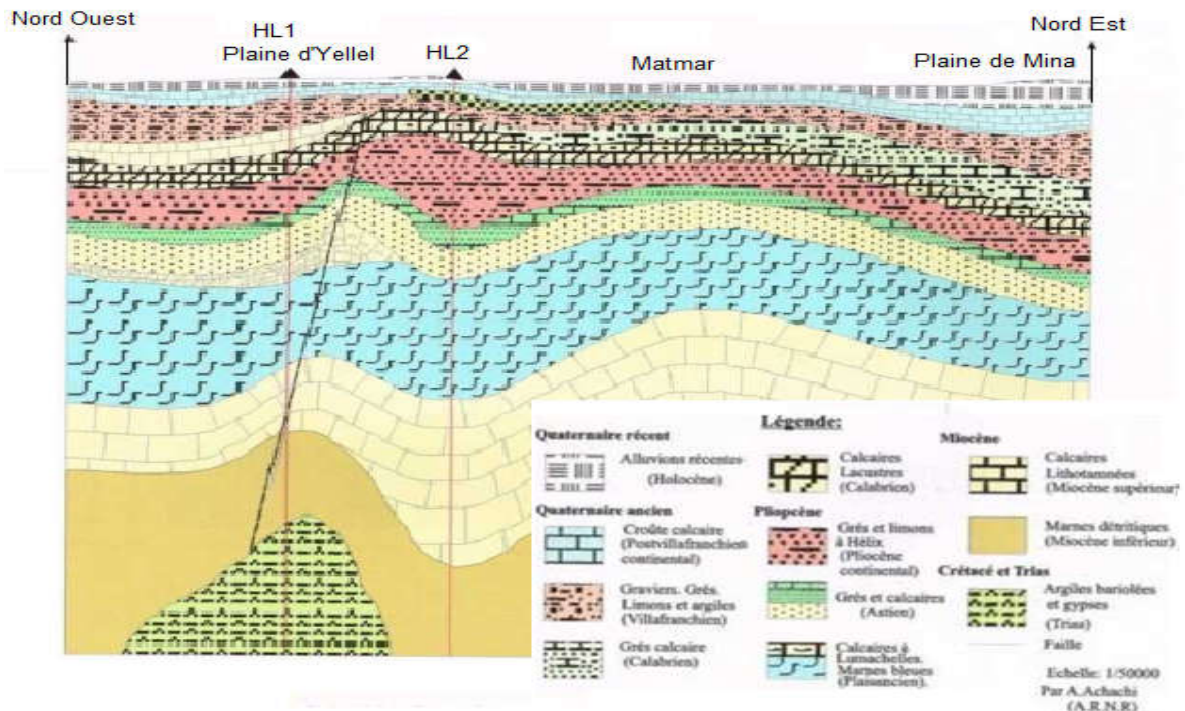


Fig .III.7.Coupe géologique passant par Sebkhha benziane

Dans la structure géologique et la lithologie de la plaine de la Mina une grande il ya plusieurs complexité.

D'après l'ensemble des données géologiques disponibles (forages, coupes géologiques, cartes et descriptions géologiques), La plaine de la Mina est formée essentiellement par des formations d'âge Plio-Quaternaire qui occupent la presque totalité de la superficie, et les formations du Néogène et anti-néogène (Le substratum). La formation de la plaine est caractérisée du bas vers le haut par :

- Trias : gypseux.
- Crétacé : marnes grises parfois schisteuses.
- Miocène : formé par des marnes, gypse, et diatomites.
- Plaisancien : représenté par les marnes bleues avec grés de base.
- Astien : représenté par les grés à Ostréa (grés mains).
- Pliocène continental : représenté essentiellement par des grés et limons à Hélix

14. Aperçu Pédologie du sol

La plaine de la Mina se caractérise principalement par des sols de texture fine potentiellement salinisables constitués d'alluviaux colluviaux. Ceux déjà irrigués sont effectivement affectés par la salinité.

Les sols sont regroupés dans différentes classes pédagogiques, dont les plus importantes sont : sols peu évolués, sols holomorphes, sols calci-magnésique et vertisols.

Tous ces types de sols présentèrent des degrés divers de fortes teneurs en particules fines liés à l' origine des alluvions. Des caractères ver tiques, des teneurs en sels élevées et des taches d'excès d'eau dans le profil.

Les éléments fins dérivés de marnes ou d'argile tertiaire confèrent au sol de périmètre une cohésion et une compacité excessive. Ces sols de texture fine à moyenne sont plus argileux et souvent engorgés d'eau dans les dépressions.

Il présente le plus souvent une faible teneur en matière organique qui décroît avec la profondeur pour devenir négligeable. Le pH est généralement voisin de la neutralité à légèrement alcalin [6]

15. Ressources en eau

Le périmètre est alimenté à partir du barrage **du barrage Bakhadda. La destination dans un premier temps, de ce barrage était affectée pour irriguer le périmètre de la Mina.**

Depuis juin 1983, il alimente en eau potable les localités de Tiaret, Rahouia, Mechraa Sfa, Ain Bouchakif, Kharouba, Guertoufa et Temda de la wilaya de Tiaret d'une population totale de 201 612 habitants (2003). Le volume prélevé en 2020 pour satisfaire les besoins en eau potable de ces sept localités est de l'ordre de 9 Hm³. Le linéaire de l'adduction est de 101 Kml.

En plus, ce barrage devra desservir la zone industrielle de Tiaret.

Le volume affecté à ces différents centres de consommation (AEP et Industrie) est d'environ 32 Hm³ [PNE].

16. Aspects socio-économiques

L'agriculture et l'élevage sont les activités les plus importantes de la région. L'existence des surfaces agricoles dans la partie aval du barrage Bakhadda et l'existante d'un système d'irrigation dans certains domaines d'exploitation offrent des possibilités pour un développement de l'agriculture. Néanmoins, un problème d'eau pour l'irrigation se pose, par ce que la majorité des eaux sont destinés pour l'irrigation du périmètre de Rélizane partie aval de bassin versant de Mina.

17. Système agricole installé

Le territoire de Tiaret est contenue d'un seul grand périmètre d'irrigation celui de Dehmouni, géré par ONID depuis 2008, dont la partie amont rive gauche d'une superficie équipée de 1214 ha, et la partie amont rive droite d'une superficie équipée de 1326 ha mis en exploitation en 2016. La superficie irriguée à partir de Barrage Bakhadda répartie comme suite :

- La production végétale
 - A- Céréales : 337 hectares irrigués
 - B- Fourrages : 50 hectares irrigués
 - C- Légumes verts : 201.25 hectares irrigués
 - D- Arboricultures : 474,86 hectares irrigués

Le coefficient cultural utilisé selon les différents stades de croissance pour la céréaliculture mi saison dominante dans le périmètre est de : $Kc=1$ [9].

- L'élevage :
 - A- Bovin : 4450 têtes
 - B- Ovins et caprins : 167632 têtes
 - C- Equin : 953 têtes

Conclusion

La zone d'étude partie du bassin versant d'Oued Mina partie amont , qui alimente barrage Bekhadda, entourée par des plateaux peu élevées et des plaines, caractérisée par un relief composé de collines de faible altitude, caractérisé par un réseau hydrographique qui est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques. La plaine de la Mina se caractérise principalement par des sols de texture fine potentiellement salinisables constitués d'alluviaux colluviaux. Ceux déjà irrigués sont effectivement affectés par la salinité.

Au plan hydrogéologique, on distingue sur la plaine de la Mina, plusieurs horizons aquifères plus ou moins bien individualisés. Cette zone se présente géologiquement comme une cuvette subsidence limitée, occupée par un remplissage alluvionnaire du Quaternaire qui repose sur un substratum constitué essentiellement par des marnes du Néogène. Le quaternaire est formé par les limons argileux et sables alors que le pliocène marin est constitué par les marnes sableuses. Le pliocène moyen est sabloargileux. Le pliocène supérieur se caractérise par une alternance de grès et sables. Il y a lieu de signaler que le pliocène continental se compose de sables, grès et galets. Entre le miocène inférieur (marnes plus ou moins salées) et le miocène supérieur (grès et calcaires) une discordance est signalée au sud de l'Oued R'hiou. Les marnes azoïques qui bordent la plaine au Sud de Hamadena appartiennent au Miocène supérieur. Donc la structure géologique et la lithologie de la plaine de la Mina une grande il ya plusieurs complexité.

CHAPITRE IV

Etude climatologique

Introduction

L'Algérie, pays méditerranéen majoritairement situé en zones semi-aride et aride, a toujours été confrontée à des sécheresses et des crues extrêmes [7];[18];[19], qui constituent un frein au développement économique et social.

Les facteurs climatiques jouent un rôle très important dans le comportement hydrologique et hydrogéologique des aquifères; autrement dite les précipitations par leur efficacité permettent le remplissage des eaux de surface et des aquifères. D'autre facteurs climatiques (température, vent, évapotranspiration) jouent un rôle opposé celui des précipitations. Aussi nous accordons une grande importance à notre étude climatologique pour préciser le climat de notre secteur d'étude. Notre étude est basée sur des données climatiques recueillies auprès de la station météorologique de Tiaret.

1. Précipitations

C'est l'élément climatique le plus important. La connaissance de l'intensité et de la répartition dans le temps et dans l'espace est importante.

2. Etude des précipitations annuelles

Pour notre étude, nous avons considéré la station de Tiaret comme source des données climatiques et hydrologiques vu sa proximité de la plaine de la Mina. Les coordonnées de la station sont :

Station Tiaret

X= 35.4479

Y= 1.2567

Z= 714 m

3. Les pluies moyennes annuelles

La figure .III.1. Représente les précipitations moyennes annuelles de 2000 à 2020 soit un nombre d'observations N = 20 ans.

La plaine d'étude reçoit une précipitation moyenne annuelle de 353.61 mm (2000- 2020). Le maximum des précipitations moyennes mensuelles pour la station de Tiaret correspond au mois de Janvier avec 45.98 mm, et le minimum au mois de juillet avec 5.44 mm (Tab .III.1 et figure .III.2).

La saison pluvieuse correspond à la période allant du mois de septembre à novembre avec 33.42 % des précipitations annuelles, les mois de décembre à février reçoivent 32 % ; la période sec reçoit 8.24 % (Tab .III.2).

Tableau .IV.1. Précipitations moyennes mensuelles période 2000-2020

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Annu.
Pluie (mm)	37,52	35,27	45,39	35,89	45,98	31,27	34,42	39,16	19,55	10,77	5,44	12,95	353,61

(Source : ANBT, 2020)

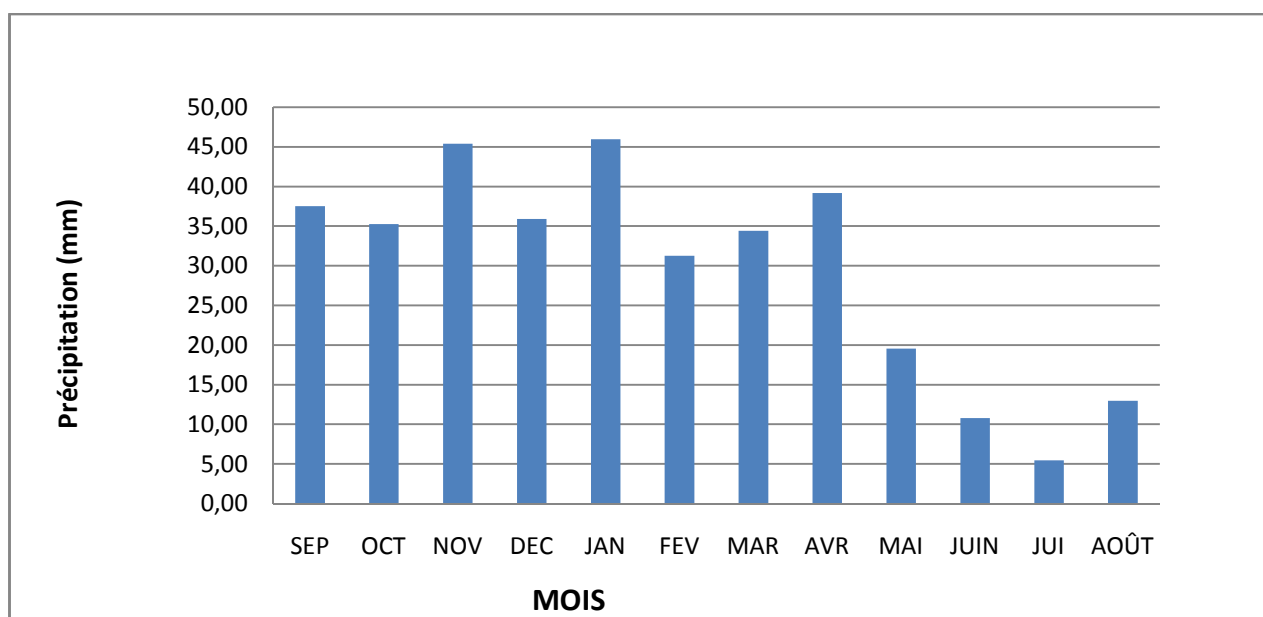


Fig .IV.1 Répartition des pluies mensuelles

4. les précipitations saisonnières

Tableau .IV.2. Précipitations moyennes saisonnières (2000-2020)

Saison Station	Sept-Oct-Nov		Déc-Jan-Fév		Mar-Avr-Mai		Jui-Juil-Août		Moyenne
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
Tiaret	118,18	33,42	113,14	32,00	93,13	26,34	29,15	8,24	353,61

(Source : ANBT,2020)

Les figures IV.2 visualisent l'évolution de la pluviométrie annuelle sur une période moyenne pour la station de Tiaret. La courbe de tendance (ligne verte) indique la valeur normale de la pluviométrie dans la région. En dessous de cette courbe, il y a un climat sec à très sec représente de l'année 2000 à 2006 et 2010, 2012 et 2020, climat humide et très humide 2007 à 2009 et 2011, 2014 à 2016.

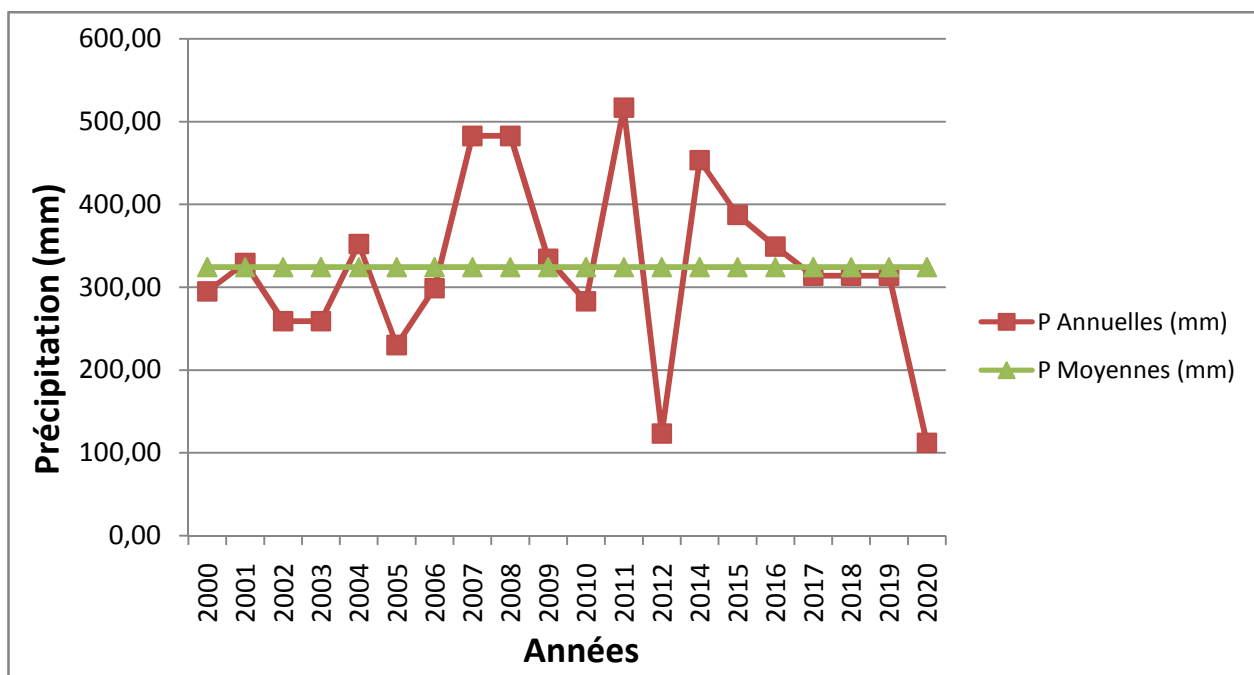


Fig .IV.2 Répartition des pluies Annuelles

5. Etude des Températures

5.1. Températures moyennes mensuelles

Les températures moyennes mensuelles varie de -7.85 C° à 43.24 C° avec une moyenne annuelle de 17.64 C° voir le tableau ci dessous.

Tableau IV.3. Des variations des Températures moyennes mensuelles la station de Tiaret

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Moy
T ^{°C}													
T Max	40,15	36,17	36,16	25,33	22,97	27,51	33,67	36,48	39,41	43,75	44,43	45,12	35,93
T Min	6,73	0,29	-1,42	-6,20	-7,85	-7,32	-5,69	-3,97	-0,93	0,88	9,42	8,32	-0,65
T Moy	23,44	18,23	17,37	9,56	7,56	10,09	13,99	16,25	19,24	22,32	26,92	26,72	17,64

Source : ANRH

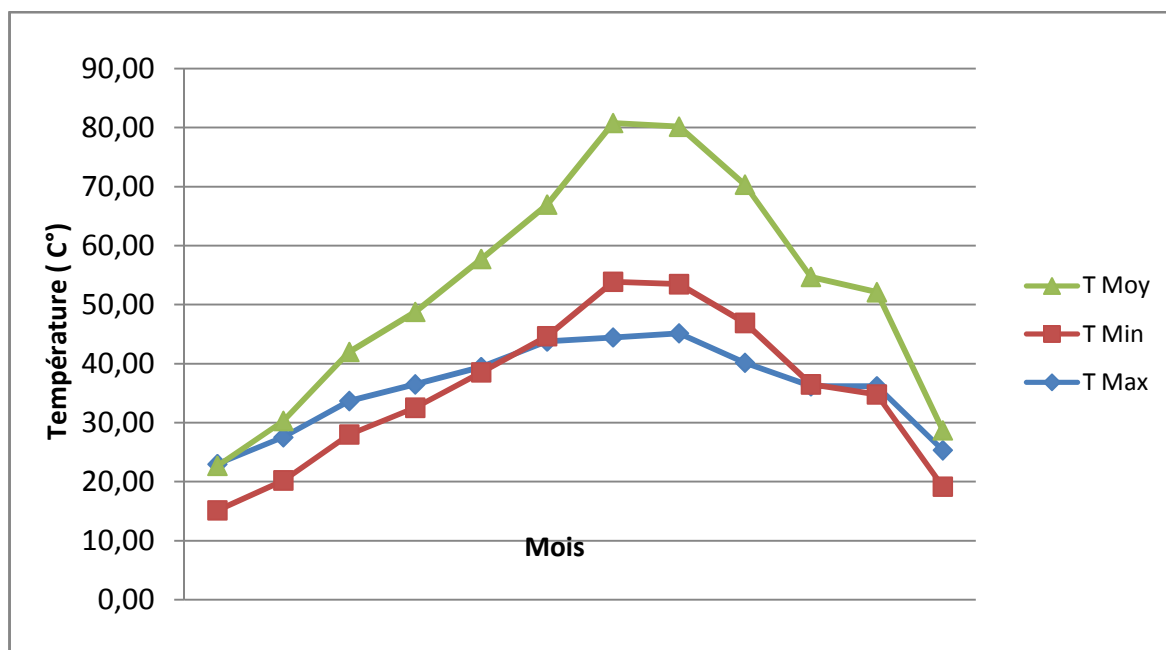


Fig.IV.3. Températures moyennes mensuelles de la station de Tiaret

6. Le vent

C'est l'un des éléments le plus caractéristique du climat local de la région de Tiaret.

Tableau .IV.4. Les fréquences moyennes mensuelles et annuelles des vents (2014)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	Moy. Année
Fréquences	1,88	1,86	2,06	2,11	2,14	2,21	2,28	2,28	2,16	2,17	2,19	2,11	2,12

La fréquence moyenne annuelle des vents est de 2,12. La fréquence moyenne mensuelle de la période comprise entre les mois de septembre à octobre est inférieure à la moyenne annuelle ; sauf le mois de Mars la fréquence est supérieure à la moyenne annuelle (Tableau .IV.4 et figure .IV.4).

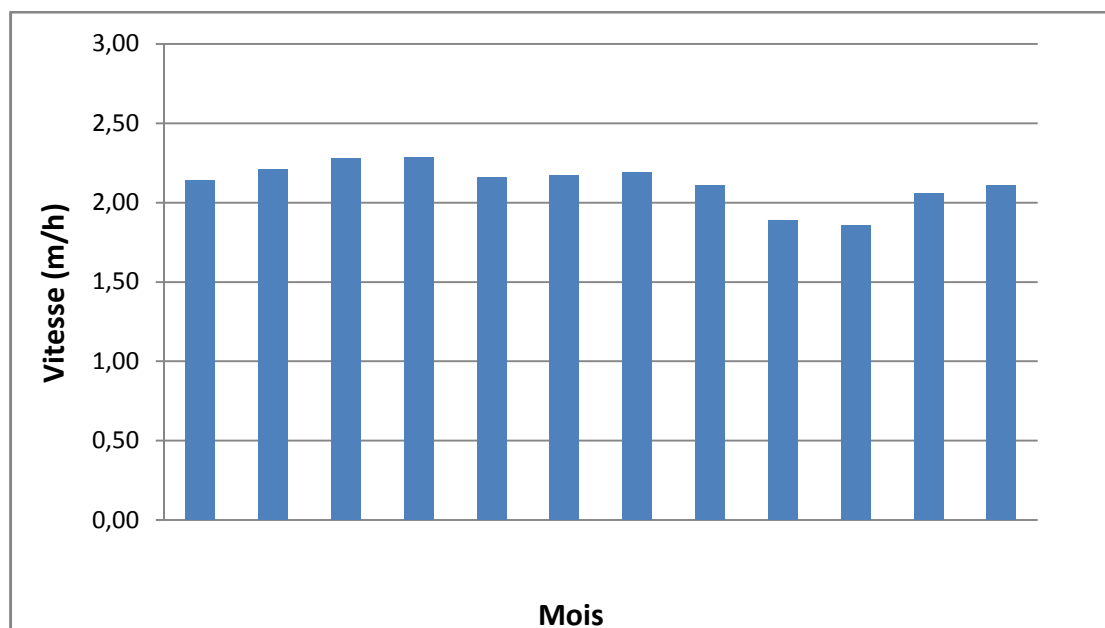


Fig .IV.4. Fréquences des vents

7. L'insolation

Le rayonnement solaire représente la source d'énergie primaire associée aux deux facteurs écologiques fondamentaux : la lumière (l'éclairement) et la chaleur (température). Il joue un rôle important dans la plupart des phénomènes écologiques.

Tableau .IV.5. La durée d'insolation.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	Moy. Annue
Insolation Heures/jour	19,9	15,5	10,7	8,4	9,5	12,6	17,1	21,3	24,1	27,9	27,8	24,9	18,3

La durée moyenne annuelle d'insolation est de 18.3 h/j avec un maximum de 27.9 h/j en juin et un minimum de 8.4 h/j en décembre (Tableau IV.5)

8. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle permet d'estimer les pertes totales que peuvent subir les sols par évaporation directe et par la transpiration des végétaux. Elle varie de 32,67 mm au mois de décembre à 125,56 mm au mois de mai ; annuellement elle a une valeur de 788.62 mm/an. (Tableau IV.6).

Tableau .IV.6. L'évapotranspiration potentielle moyenne (ETP).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	Moy. Annue
ETP (mm)	70,85	57,39	37,02	32,67	35,00	34,59	51,46	62,31	125,56	93,16	100,17	88,45	788,62

9. Gelée et Sirocco

Du fait de la continentalité du climat de la région, le risque de gelée existe pendant une bonne période de l'année et engendre des dégâts considérables aux cultures. Le nombre moyen annuel de jours de gelées blanchâtre est d'environ 40 jours.

Le sirocco, particulièrement important, se manifeste durant la saison de l'été ; le nombre moyen de jours de sirocco par an est d'environ 20 jours.

10. Humidité

Le tableau suivant donne les humidités relatives relevées à la zone d'étude ; l'humidité moyenne mensuelle est de 57 %.

Tableau .IV.7. Les humidités relatives mensuelles et annuelles en % (Année 2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	Moy. Annue
Humidité (%)	47	53	70	78	76	74	67	62	54	40	31	33	57

11. Synthèse climatique

Après avoir étudié et analysé les différents éléments du climat, il nous est indispensable de procéder à une synthèse afin de mieux caractériser et connaître le type de climat de la région d'étude.

12. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

Ce diagramme Ombrothermique permet de donner les mois secs, et les mois humides de l'année. Selon BANGNOULS et GAUSSEN (1954), un mois est sec lorsque la moyenne des précipitations est inférieure ou égale au double de la moyenne des températures ($M+m/2$). La formule s'écrit :

$$P < 2T$$

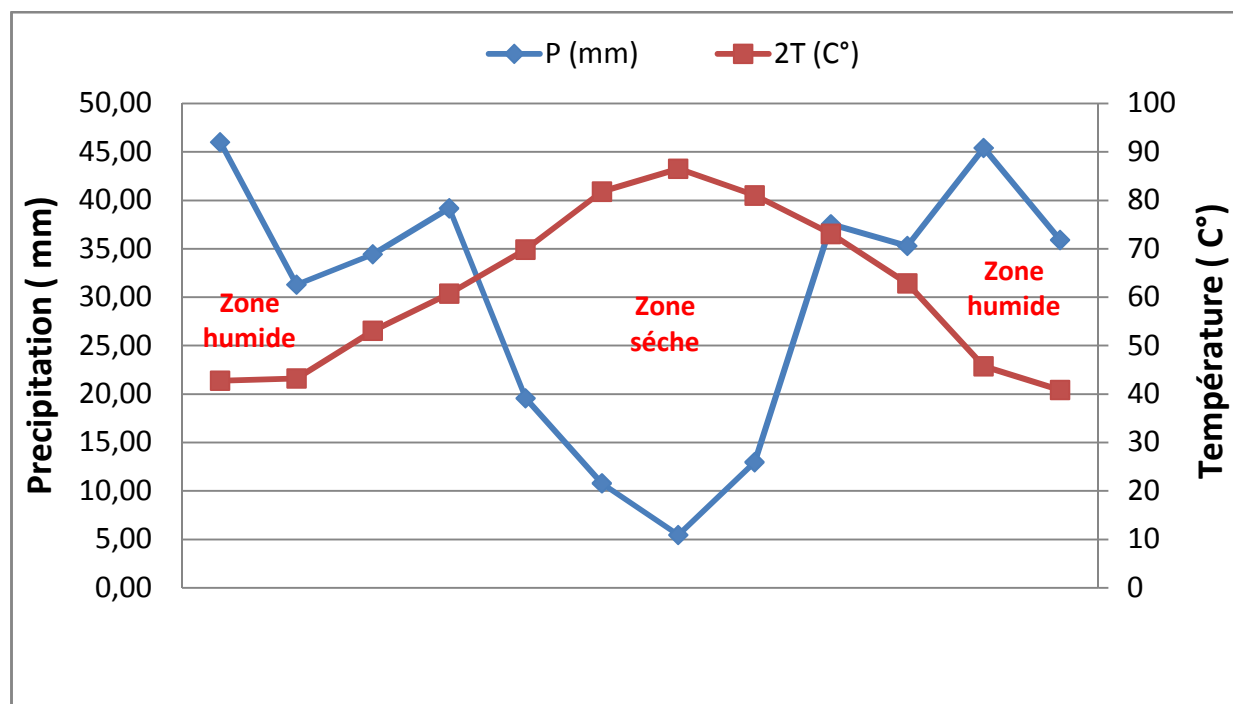


Fig.IV .5. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

Selon le diagramme ombrothermique les mois humides qui s'étendent de Septembre jusqu'à Avril donc la période est excédentaire. Les mois secs de Avril jusqu'à Septembre, c'est la période est déficitaire.

13. Climagramme d'EMBERGER

Cet indice permet de déterminer l'étage bioclimatique de la zone d'étude. Il est obtenu par la formule :

$$Q_2 = \frac{2000 * P}{M^2 - m^2}$$

Avec :

P : pluviométrie annuelle (mm)

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (K).

m : moyenne des minima du mois le plus froid (K).

La zone d'étude se situe à l'étage bioclimatique aride-doux

Tableau .IV.8. Indice bioclimatique d'Emberger (2000-2020), Tiaret

P (mm)	M (°k)	m (°k)	Q ₂	Étage bioclimatique
257.54	318,15	266,15	23.27	Aride-doux

14. Indice d'aridité de DEMARTONNE

DE MARTONNE en 1925 a proposé la formule suivante :

$$I = P / (T + 10)$$

Avec :

I : indice d'aridité annuelle.

P : précipitation moyennes annuelles (mm).

T : températures moyennes annuelles (°C).

Tableau .IV.9. Indice de DEMARTONNE.

Elément Climat. Années	P (mm)	T (°C)	T+10	I
2000-2020	257.54	17,64	27.64	9.31

L'indice peut être calculé par mois ou année en fonction des valeurs de I, des seuils ont été fixés :

$7.5 < I < 10$ climat steppique.

$10 < I < 30$ climat semi-aride.

$20 < I < 50$ climat tempéré.

Selon le diagramme d'Emberger (Figure .III.6) La plaine de la Mina se classe dans la zone à climat steppique

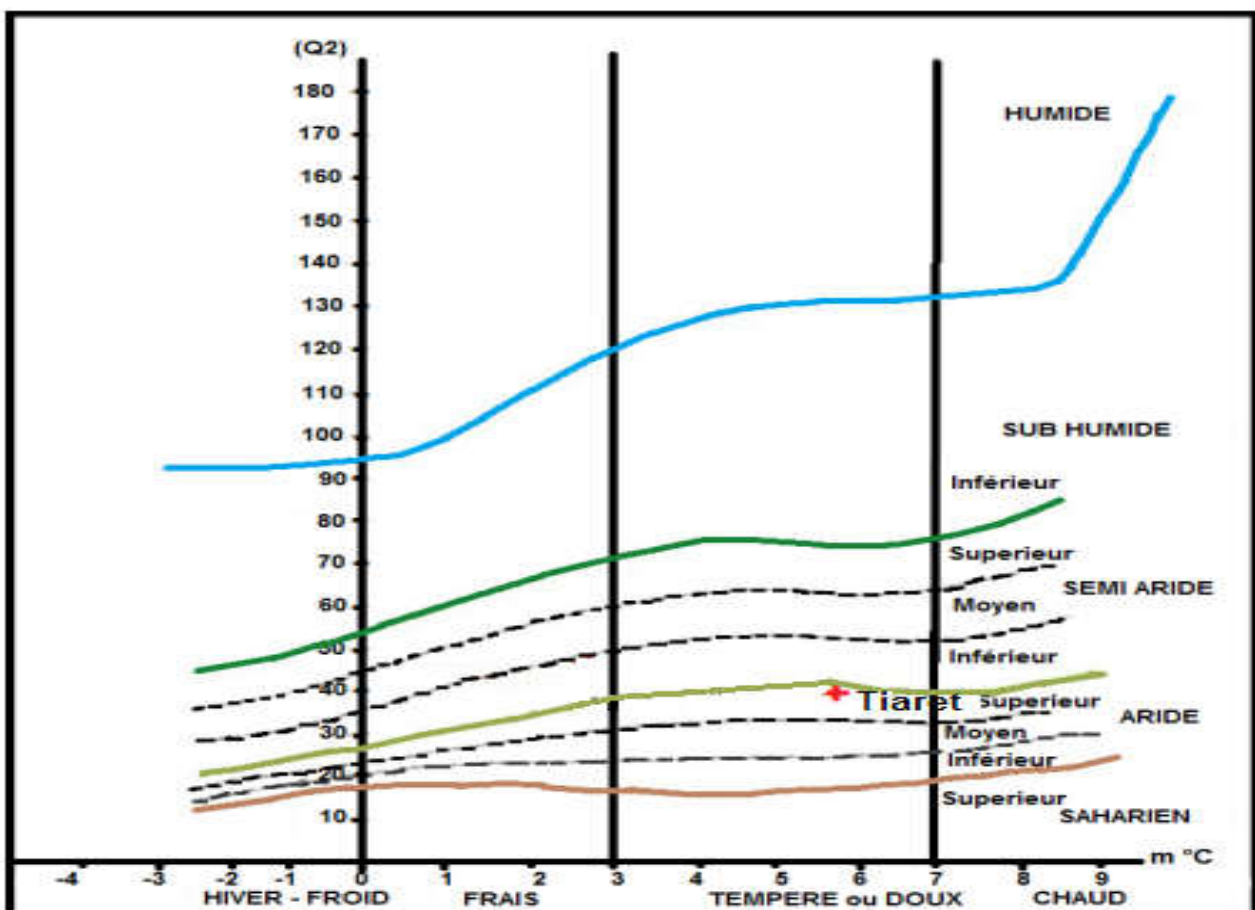


Fig.IV .6. Climagramme d'Emberger (Station de Tiaret).

Selon le diagramme d'Emberger (Figure .III.6) La plaine de la Mina se classe dans la zone à Aride.

Conclusion

Le bassin versant de Mina s'étend sur une superficie de formation marno-miocène, morcelée par réseau de failles. Le climat du bassin versant est très sec dans son ensemble, l'hiver est rigoureux dans les régions élevées. A noter l'existence de chutes de grêle de Décembre à Avril et du sirocco qui sévit pendant les mois chauds en été. Le bassin de la Mina est caractérisé par un climat de type méditerranéen à saison pluvieuse allant de septembre à mai et à été sec et ensoleillé. Mais dans ce type climatique, commun à toute l'Algérie, il existe une grande diversité, et le climat du bassin de la Mina se rapproche du climat particulier aux hautes plaines d'Oranie et du Cheliff à pluviosité médiocre et à fortes amplitudes thermiques, transitoire entre le climat tellien de plaine et celui des hauts plains et hauts plateaux stampiens, c'est le climat des hautes plaines telliennes (1), du surtout à ce qu'aucun massif élevé ne vient y projeter son ombre pluviale.

La température moyenne est d'environ 17,64°C avec des écarts compris entre -7,85°C et 43,24° C ; la hauteur moyenne de pluies annuelles est 353.61 mm, avec une répartition très inégale aussi bien d'une année à l'autre (depuis 2000, le minimum enregistré est 112 mm et le maximum 516,80 mm) qu'au cours de l'année (pende le mois le plus sec d'Avril à Septembre) ; il est d'ailleurs fréquent qu'aucune précipitation, ne se produise pendant un ou même deux mois successifs. L'enneigement sur la partie haute du bassin est d'une semaine environ, mais la rétention nivéale n'est pas suffisant êtres sensible.

CHAPITRE V

Résultats et Discisions

Chapitre V: Résultats et Discisions

Les résultats de l'application du modèle WEAP dans le bassin versant Oued Mina sont présentés sous formes cartographique voir la figure (V1, V2) et graphes, en considérant le scénario de référence (2020). L'horizon de projection futur considéré est 2040.

1. Modélisation du bassin versant

Le bassin versant d'Oued Mina matérialisé avec le modèle WEAP est représenté comme suit :

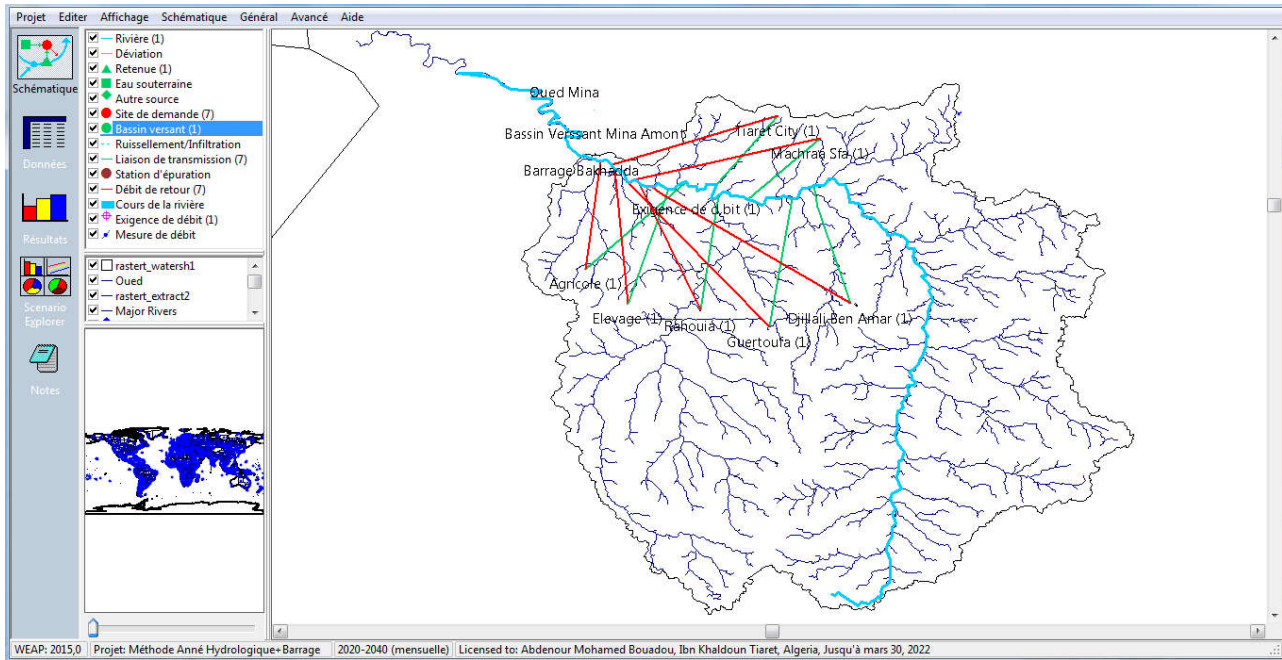


Fig. V.1. Le sous bassin versant d'Oued Mina Amont d'après le Modèle WEAP

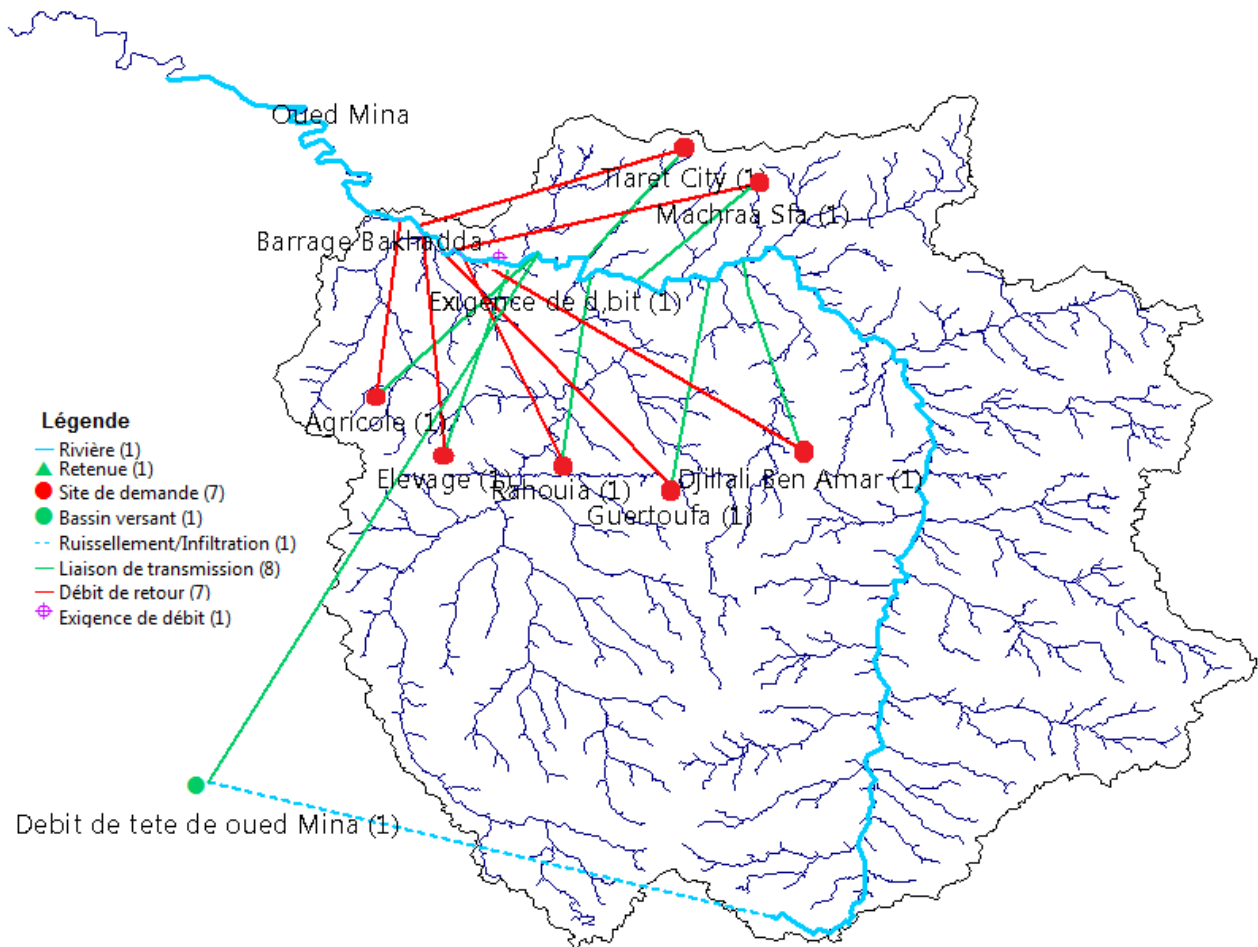


Fig. V.2. Le sous bassin versant d'Oued Mina Amont

On remarque sur cette carte le bassin versant d'Oued Mina (tirée bleue) avec les ressources en eau existantes (1) : les réseaux hydrographiques, et les sites de demandes ou utilisateurs (point rouge) : les communes (adduction d'eau potable), irrigation, élevage. Les zones de transmission ou zones d'alimentation et les utilisateurs sont reliés par une flèche verte.

Après utilisation, les excès d'eau supposés déversés dans la rivière sont indiqués avec des flèches rouges. En ne considérant que les principales ressources, ces dernières sont identifiées comme suit :

- ✓ Retenues ou barrage : Barrage Bekhadda
- ✓ une rivière : Oued Mina
- ✓ Comme sites de demande, on a distingué Sept sites.

2. Ressources en eau du bassin

2.1. Disponibilité en quantité des ressources en eau existantes

Les ressources en eau sont constituées par l'eau de surface, l'évapotranspiration et l'eau de pluie. Pour évaluer leurs quantités, nous avons analysé les résultats donnés par l'option « demande et distributions des ressources » et au niveau du «bassin versant » dans l'affichage des résultats.

2.2. Evaluation du besoin pour le scénario de référence

Les graphes ci-dessous (Fig V.3) montrent la demande en eau pour chaque site de demande (Taret, Rahouia, Guertoufa, Machra Sfa, Djélali Ben Amar, Élevages et Agriculture), sans perte pour le

scénario de références où on trouve une augmentation de demande de Tiaret jusque 5.8 Mm³ en 2040. Cette demande en eau connaîtra une variation au cours des augmentations de taux de croissance de population par port aux autres sites de demande. Pour les autres sites, cette variation est négligeable au site de demande de l'élevage parce que le modèle est ne pas pris en considération ce calcul.

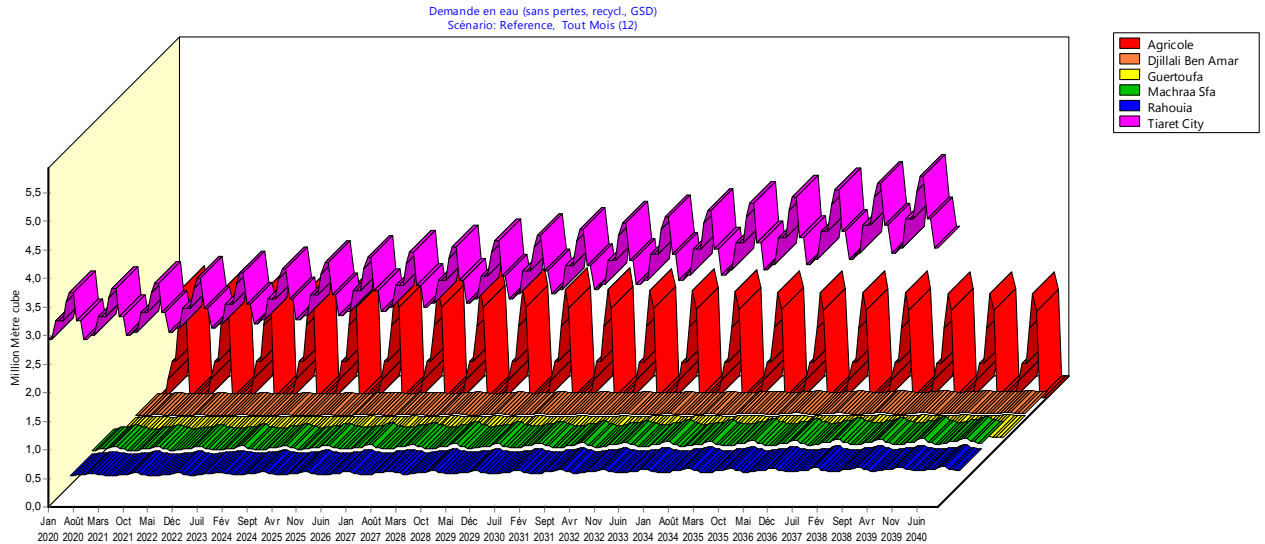


Fig. V.3. La demande en eau sans perte du scénario de référence

Le graphe ci-dessous montre la quantité d'eau et l'évolution des eaux distribuées pour chaque site de demande pour le scénario de référence. Cette eau distribuée connaîtra une variation au niveau de l'alimentation en eau potable et agricole surtout dans les mois de points (juin, juillet, Aout et Octobre) de 6.9 à 4.6 %, ou cet intervalle est élargie de Mai à octobre a partir de l'année 2035 de 27.6 à 3.3%. Pour le site de demande de l'élevage, cette variation n'est pas très remarquable. Le pourcentage de recouvrement de site de demande de l'élevage atteindre 100% pour le scénario de référence (Fig V.4) donc la satisfaction des cites des demandes remarquable que en hiver voir Figure (Fig V.5).

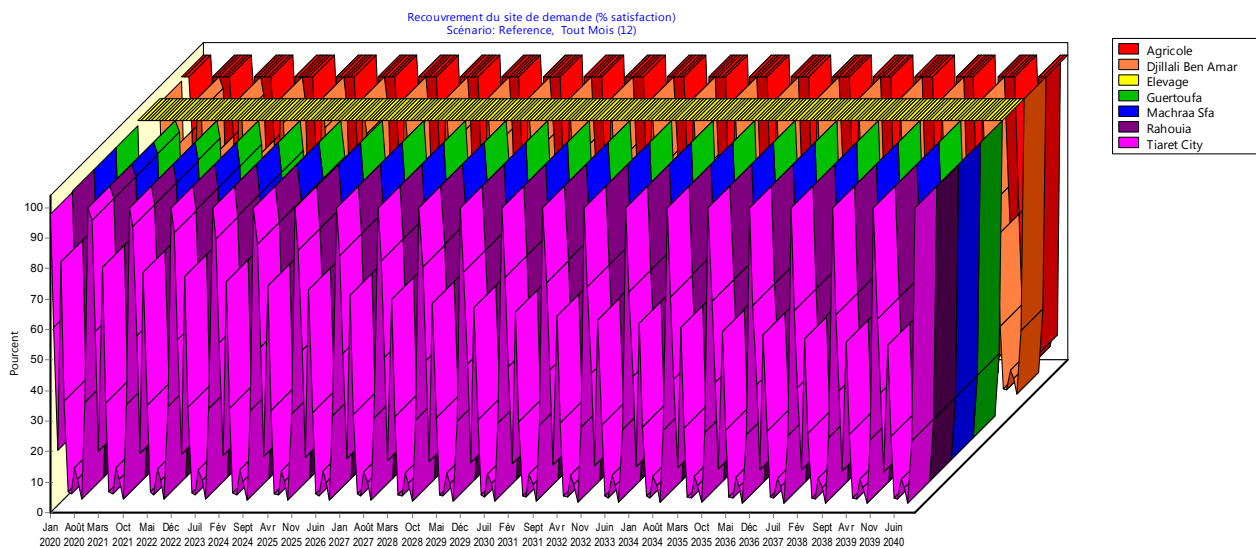


Fig. V.4: Recouvrement de site de demande pour le scénario de référence

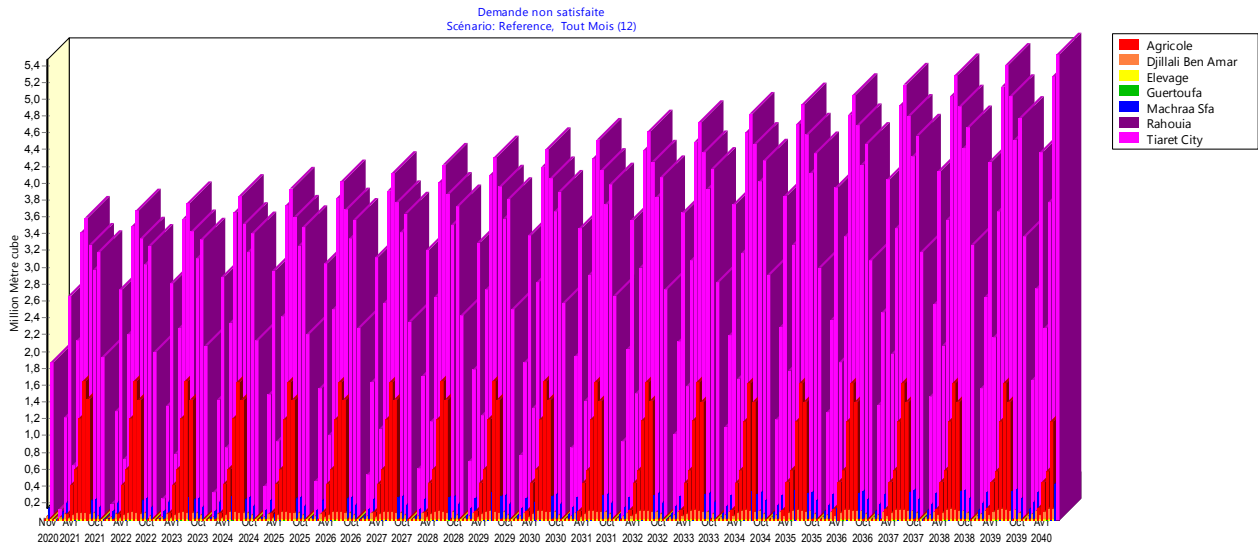


Fig. V.5 Demande en eau insatisfaite des sites de demande pour le scénario de référence

2.3. Evaluation des besoins en eau pour les scénarios créés

La demande non satisfaite augment au fur à la mesure de sites de demande pour le scénario de référence atteindra en 2023 un volume de 1,15 Mm³ pour l'usage agricole (Fig. V.6)

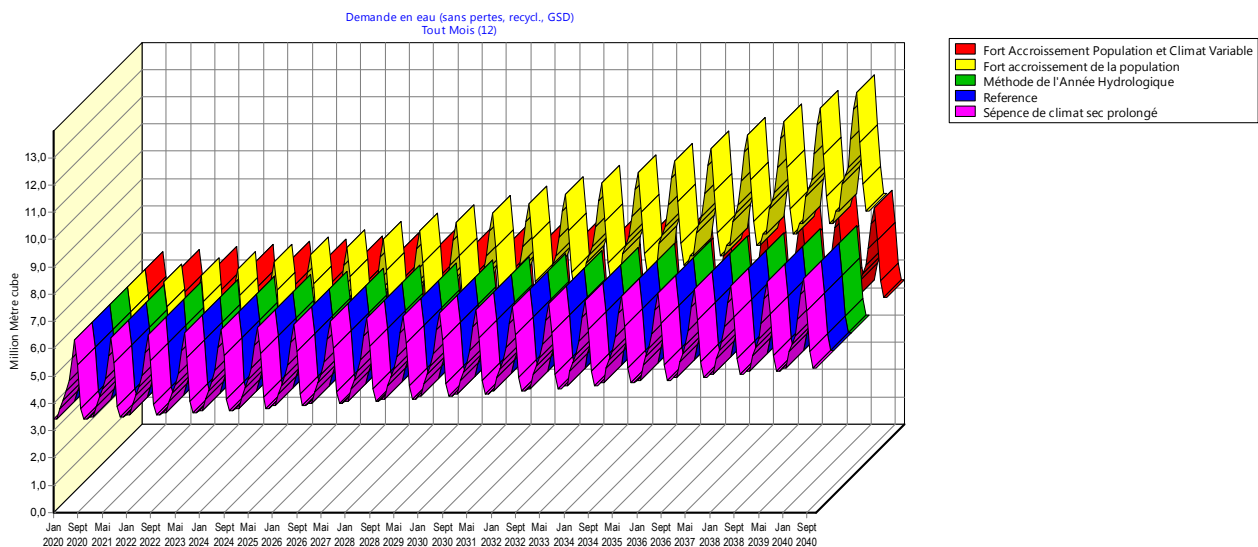


Fig. V.6. Demande en eau sans perte pour les scénarios

Dans le cas de fort accroissement de la population où le taux de croissance augmente à 5% et un prolongement de la séquence du climat sec (du fait des modifications climatiques) la demande en eau des sites augmente en 2040 pour atteindre un volume de 13.4 en mois d'Aout Mm³ (Fig. V.6).

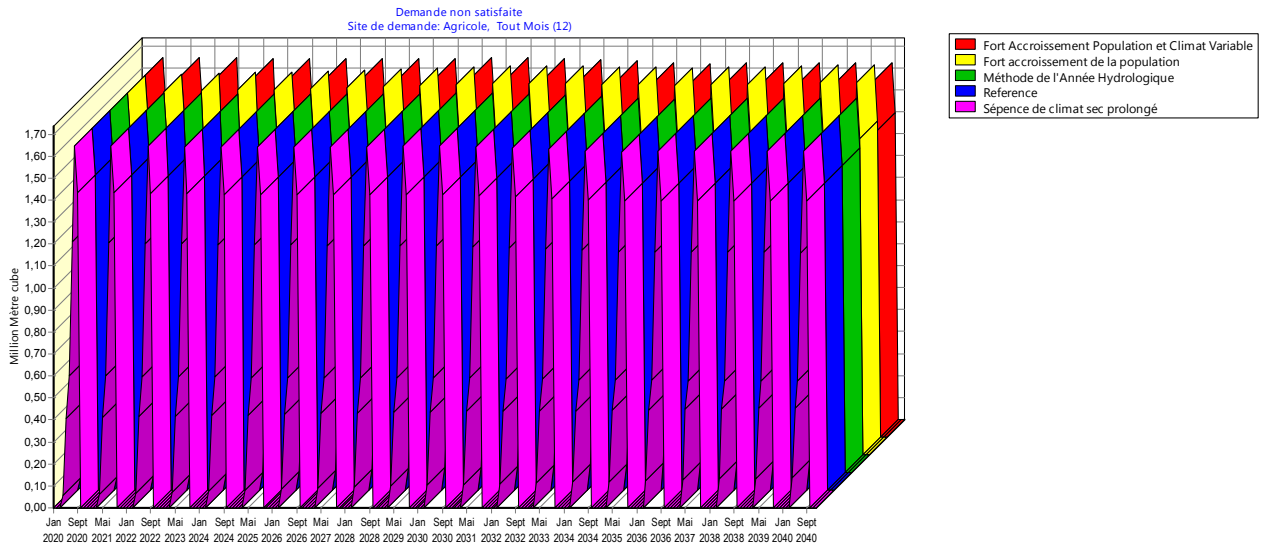


Fig. V.7. Demande en eau non satisfaite des Scénarios

Ce scénario influe directement sur la demande en eau non satisfaite. Le pourcentage de recouvrement pour tous les scénarios diminue du mois Mais à Octobre de 15,2% à 5,1% (Fig. V.7) surtout dans le cas de scénarios de la variation de changement climatique et la croissance de taux population. Cette valeur varie de 25.1 à 8.00 Mm³ (Fig. V.8)

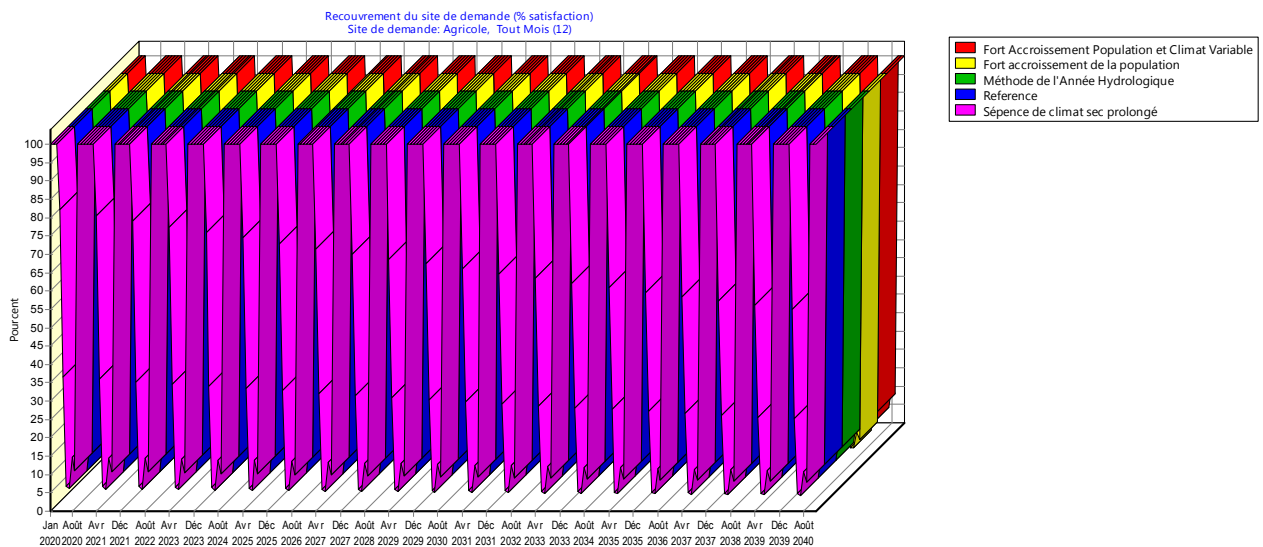


Fig. V.8. Recouvrement de site de demande avec tous les scénarios

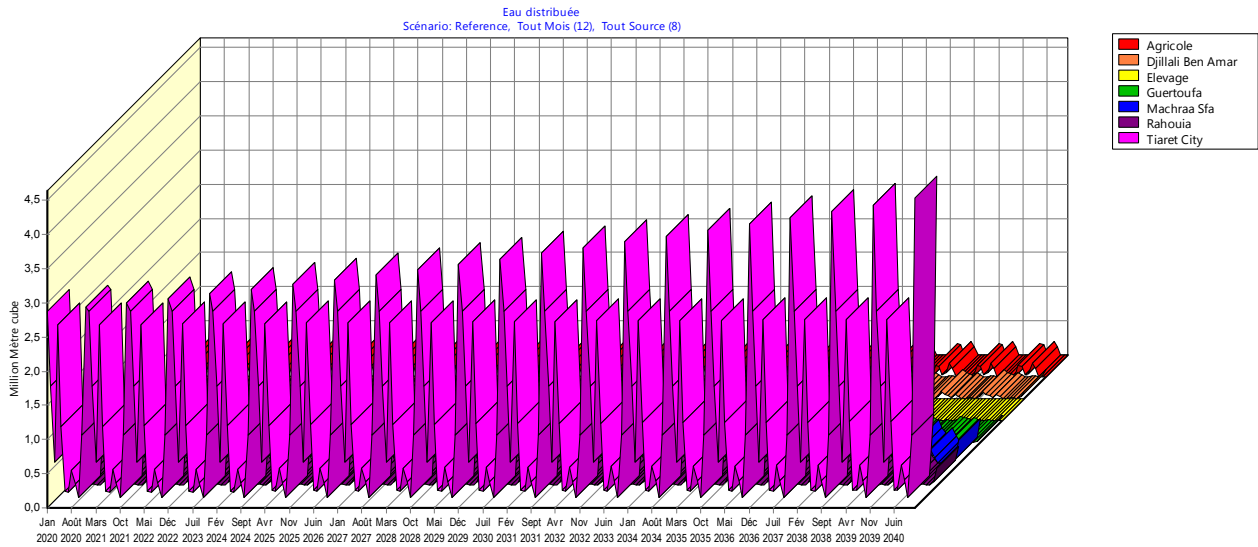


Fig. V.9 Eau distribuée à chaque site de demande scénario de référence

L'eau distribuée par ces emplacements provient de Barrage Bekhadda ou plutôt de oued Mina partie amont. La Fig. V.9 montre que l'eau distribuée va diminuer de 5.3 millions de m³ en 2040 pour tout le scénario de référence (tout les sites de demande) surtout pour Tiaret centre qui atteindra 4.5 Mm³/an pour l'année 2040, si on ne tient pas compte du fort taux de croissance La Fig. V.10.

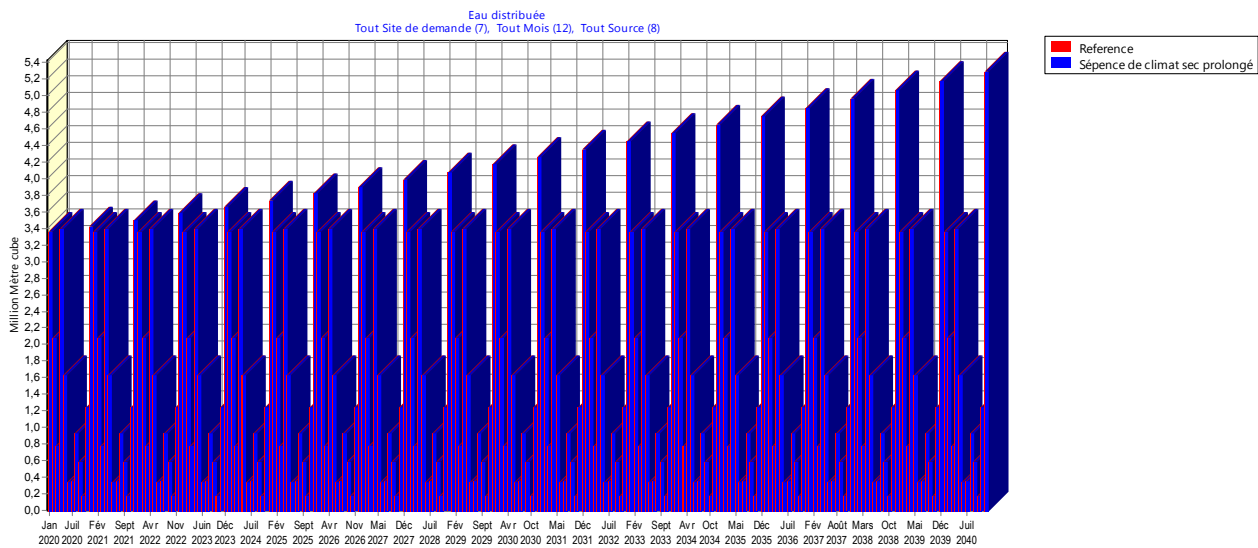


Fig. V.10 Eau distribuée en scénario de référence et changement climatique

2.4. Evaluation de l'eau pour les scénarios de référence

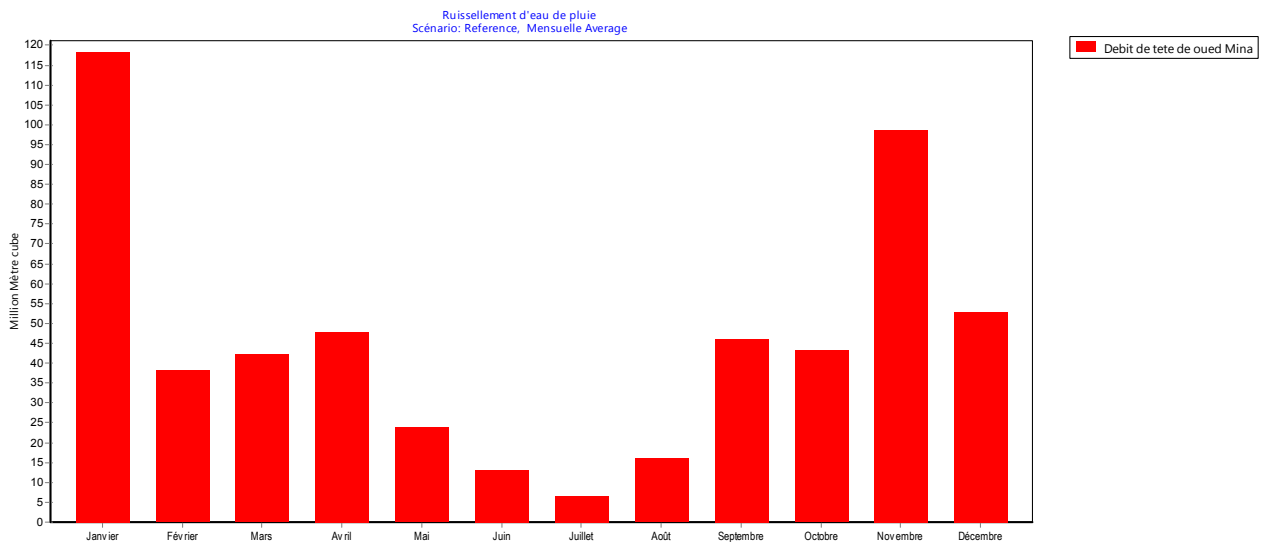


Fig. V.10. Ruissèlement d'eau de pluie

En générale le ruissèlement des eaux superficielles diminue vert Oued Mina en mois de Juillet suite aux pluies qui pénètre dans la zone d'étude dans le scénario de référence (Fig. V.10). Cette démunissions est très remarquable concernant le débit d'infiltration et ruissèlement de oued Mina pour le même scénario pour le mois de juillet avec une valeur de 6.7 Mm³ (Fig. V.11).

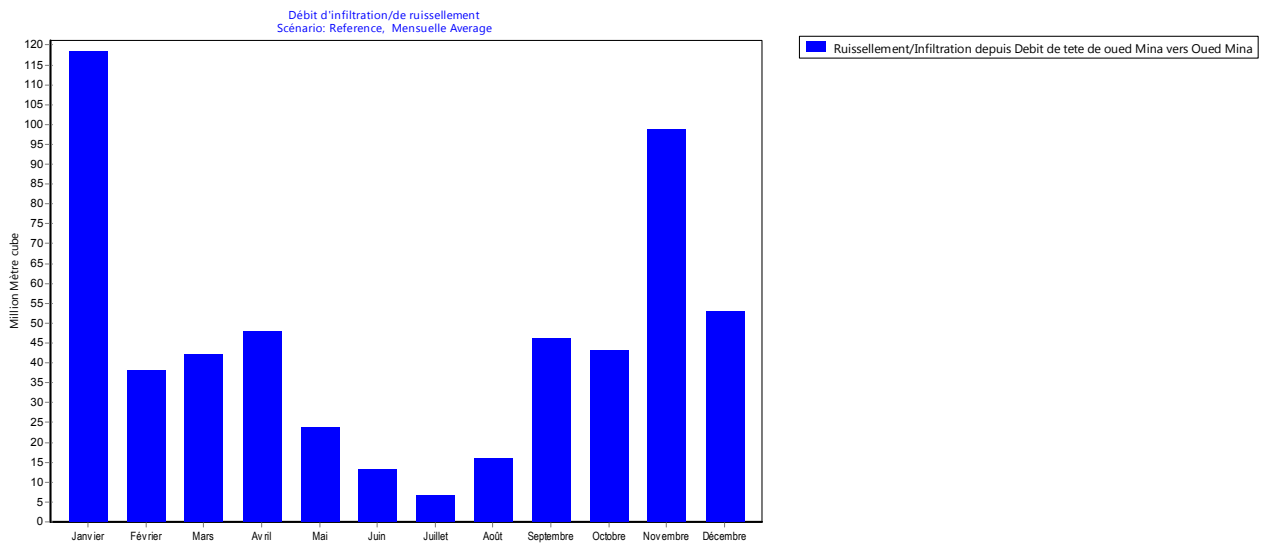


Fig. V.11. Infiltration et Ruissèlement d'eau

2.5. Eau de surface et vulnérabilité aux changements climatiques

L'eau de surface dans le bassin est employée en grande partie pour l'alimentation en eau potable et l'agriculture. Elle est aussi vulnérable vis-à-vis des changements climatiques comme pour les autres ressources en eau. La figure ci – dessous (Fig. V.11) montre les graphes correspondants. Pour étudier cette vulnérabilité, nous avons établi deux scénarios :

- Scénario : «changements climatiques ».
- Scénario : «référence ».

L'analyse des résultats obtenus à partir de ces deux scénarios, nous montrent que :

- s'il y a changement climatique, on enregistre une augmentation de débit de la rivière avec un minimum de l'ordre de 0.2 Mm³ en 2040 et un maximum de 10.2 Mm³ environ ce qui permet de déduire une année normale,
- par contre, celui du scénario de référence présentera un débit moyen de 3.4 Mm³ (Voir figure V.12)

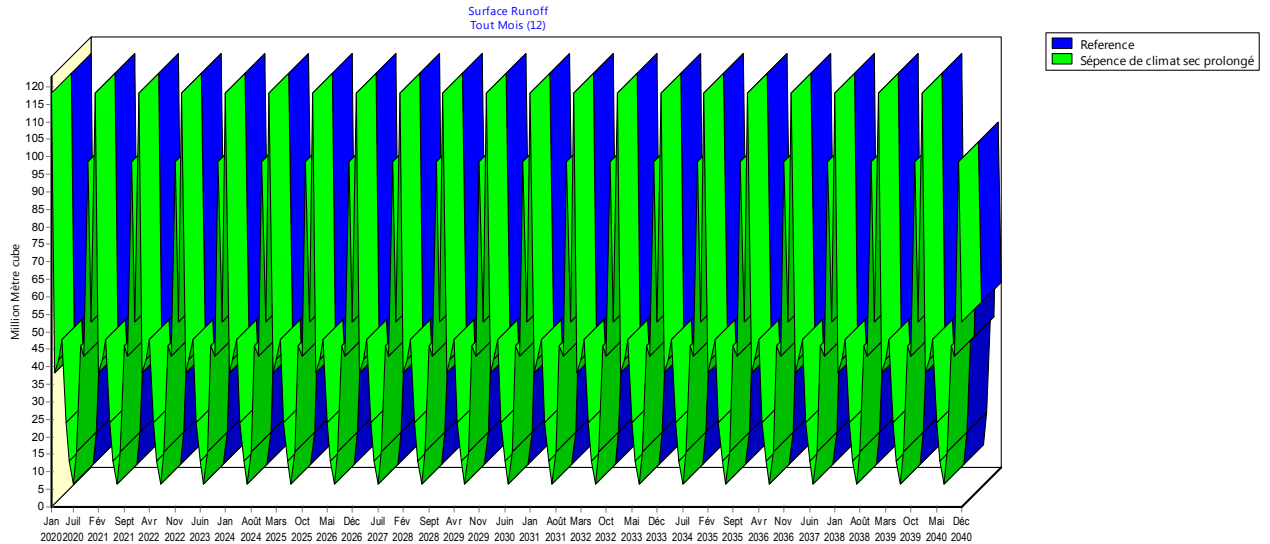


Fig. V.12 .Evolution des débits d'eau de surface

La variation de débit sortant concernant le scénario de référence est très remarquable que celle de scénario de changement climatique du 2020 au 2024 et 2028 au 2040 selon la figure V.13.

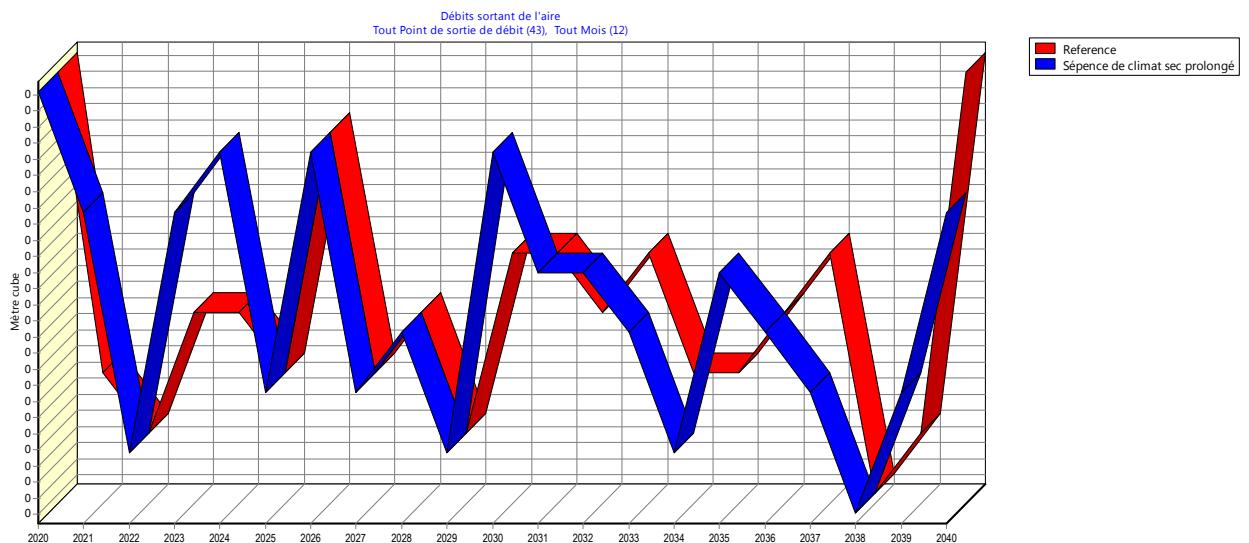


Fig. V.13. Variation débit sortant dans le scénario de référence et le changement climatique

2.6. Evapotranspiration et vulnérabilité aux changements climatiques

L'évapotranspiration constitue à la fois une ressource en eau et une perte. En termes de bilan, il est une perte mais en termes de quantité il est une ressource car il constitue l'humidité de l'air qui est utilisable pour certaines plantes.

Cette ressource est aussi vulnérable. Pour évaluer cet effet, nous avons analysé deux scénarios :

- Scénario de « changements climatiques » ;
- Scénario de la « méthode de l'année hydrologique » qui a une fonction de référence.

Les deux graphes montrent que :

- Pour les années du scénario de la méthode hydrologique : l'évapotranspiration est identique, elle augmente à 1.4 Mm³ durant le mois de Mai et 0.2 Mm³ pour le mois décembre.
 - Pour le scénario "changements climatiques", l'évapotranspiration est identique. Ceci permet de conclure que s'il y a changements climatiques, le taux d'évapotranspiration connaîtra une variation significative. Les graphes ci – dessous montrent cet effet.
- De même la comparaison de la somme de l'évapotranspiration pour le scénario "changements climatiques" et scénario "méthode de l'année hydrologique" indique une diminution remarquables (Fig. V.14).

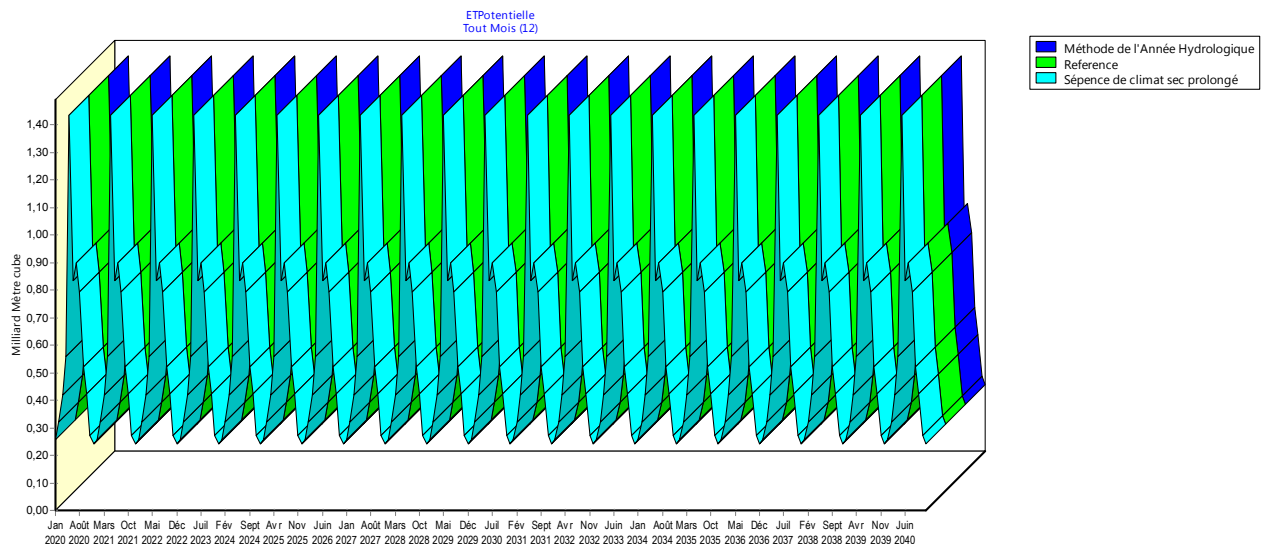


Fig. V.14. Evolution de l'évapotranspiration réelle pour le scénario de référence et scénario de changement climatique

2.7. Débit du site de demandes pour l'horizon 2040

Les graphes ci- dessous montrent les débits entrants pour chaque site de demande venant de toutes les sources ainsi que les consommations ; les scénarios utilisés pour évaluer ces résultats sont les scénarios "changements climatiques" et scénario de "référence".

Le débit consommé est divisé en deux parties :

- les débits consommés par les besoins domestiques et élevages.
- les débits consommés par les irrigations Agricole qui sont extraits directement des lâchés du barrage Bakhadda ou des prélèvements directs d'oued Mina partie amont.

Pour l'ensemble des deux scénarios, les débits entrants sont consommés directement, à part les précipitations (Fig. V.15).

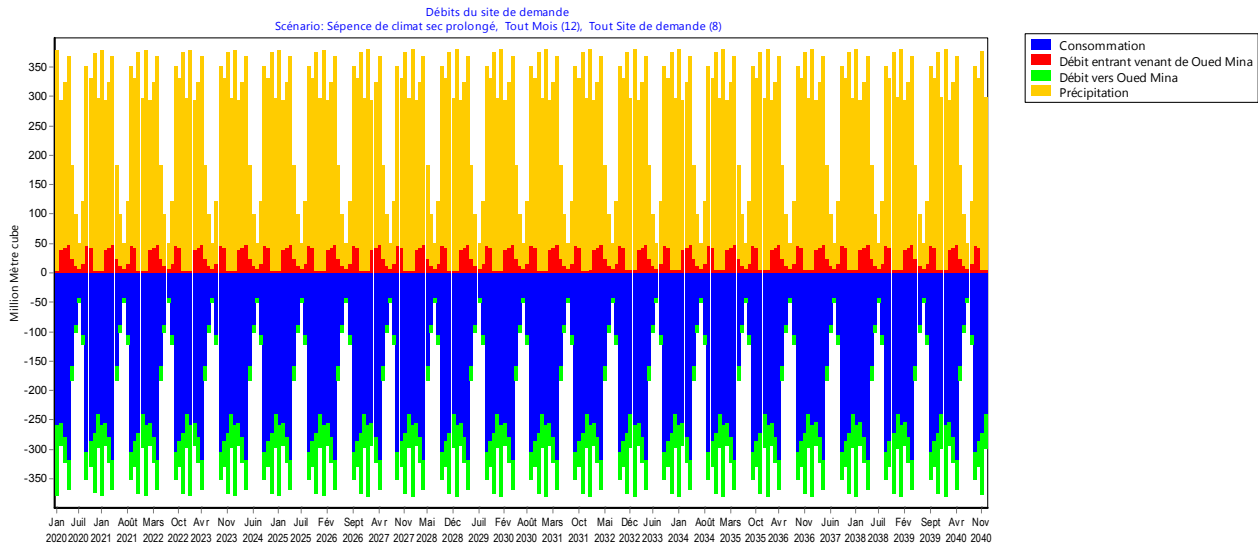


Fig. V.15. Débits des sites de demande en eau -scénario “changement climatiques”

Le débit reste insuffisant par apport à la consommation surtout en période prolongée de la sècheresse (cas de changements climatiques) comme nous pouvons le remarquer dans la figure V.14. Surtout que les précipitations insuffisantes où on trouve une consommation en séquence changement climatique de -2614.2 Mm^3 pour chaque années et les précipitations (2886.5) pour la même durée, ce qui influe sur le débit entrant venant vers Oued Mina pour le même scénario, donc un déficit en eau si en va introduire l'évapotranspiration.

Par contre, le scénario de référence montre qu'il reste un débit non utilisé venant des sources d'approvisionnement. Ce sont les débits vers les sites de demande (Oued Mina) qui ne sont pas très remarquables pour ceux du scénario changements climatiques. On constate aussi que la demande des sites est suffisamment dans le scénario de référence (figure V.16).

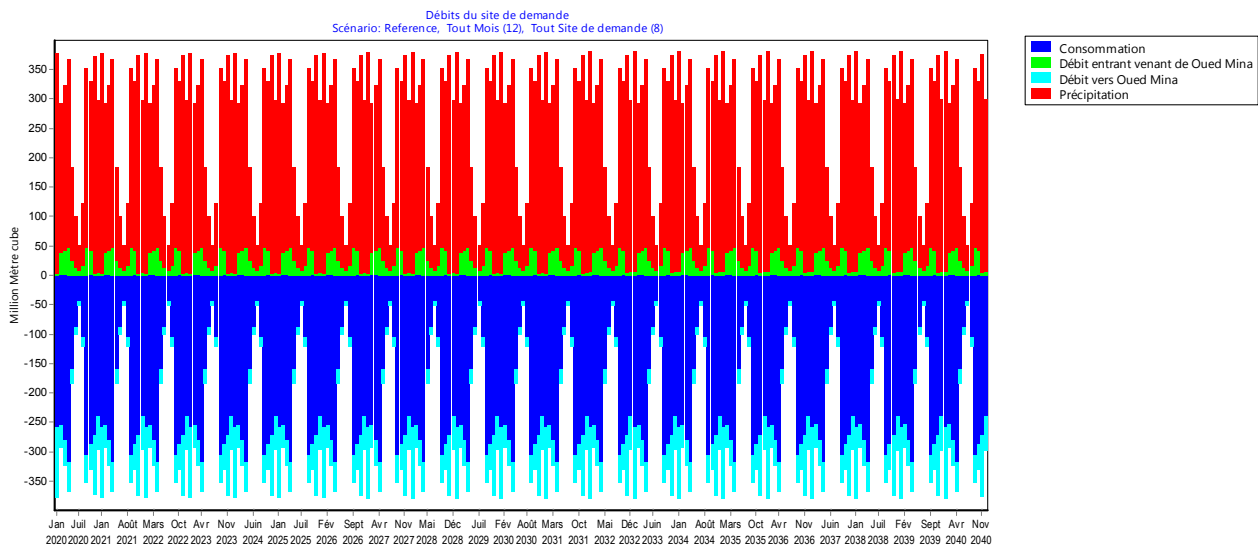


Fig. V.16. Débit du site de demandes Scénario de référence

3. Bilan de gestion des ressources en eau

Le bilan de gestion des ressources en eau s'annonce comme suit :

$$Q_s = Q_e - Q_u$$

Avec :

- Q_s : débit sortant à l'exutoire du bassin
- Q_e : débit entrant ou débit venant de toutes les ressources
- Q_u : débit utilisé ou volume d'eau consommé par chaque branche d'utilisations

Si l'on ne tient pas compte du changement climatique, le débit entrant dans le bassin est de l'ordre de 66.3 Mm^3 pour l'horizon 2020 – 2040. Les débits utilisés (consommés par les utilisateurs) sont de -66.3 Mm^3 , ce qui implique que le débit sortant sera égal au débit entrant pour la même période. Donc il ya un bilan équilibré entre le débit sortant et le débit entrent.

Conclusion

L'application de ce modèle WEAP sur notre site montre la demande en eau pour chaque site de demande (Tiaret, Rahouia, Guertoufa Mchrra Sfa, Djillali Ben Amar, Agriculture et l'élevage) ainsi que la vulnérabilité de la ressource en eau face à la demande. L'évaluation a été faite à partir de l'analyse de deux scénarios : (i) scénario de référence de l'année hydrologique en cours et (ii) scénario de changements climatiques.

Pour les années du scénario de la méthode hydrologique : l'évapotranspiration augmente à 1.4 Mm^3 durant le mois de Mai et 0.2 Mm^3 pour le mois décembre, alors que pour le scénario du changement climatique l'évapotranspiration est identique. Ceci permet de conclure que le débit reste insuffisant par apport à la consommation surtout en période prolongée de la sécheresse, cas de changements climatiques.

Comme on peut remarquer que les précipitations sont insuffisantes par rapport à la demande (scénario de changement climatique) ayant une influence négative sur le débit entrant vers Oued Mina ; donc le déficit en eau est plus accentué dans le cas de ce scénario. Par contre, le scénario de référence montre que le débit entrant est égale à celle de débit sortant.

Le bilan hydrique de la gestion des ressources en eau le bassin pour l'horizon 2020 – 2040 montre un débit global de 66707.6 Mm^3 , réparti entre une consommation par les usagers de l'ordre de -54890.7 Mm^3 , ce qui implique un débit sortant vers oued Mina de -11816.9 Mm^3 .

CONCLUSION GENERALE

En guise de conclusion, nous pouvons retenir que la gestion des ressources en eau en Algérie, comme partout ailleurs, est un sujet complexe, dans le sens où elle dépend de nombreuses variables, notamment climatiques, économiques, sociales, démographiques, mais également des aspects relatifs à l'infrastructure hydrotechnique utilisée pour mobiliser, exploiter et distribuer l'eau aux usagers-consommateurs quelque soit.

Ces variables sont caractérisées par de nombreuses incertitudes, particulièrement une disponibilité en eau en quantité et qualité très aléatoire et une demande croissante d'année en année. Le modèle WEAP (*Water Evaluation and Planning system*) a été développé pour simuler le bilan hydrique actuel et évaluer les stratégies de gestion des ressources en eau d'une zone donnée. Il a pour objectif de comparer l'offre et la demande en eau et permet la projection dans le futur la confrontation entre les différentes catégories de ressources en eau, à l'échelle d'une unité spatiale et à différents horizons.

Le choix de la Bassin versant de oued Mina partie amont dans la Wilaya de Tiaret pour l'application de ce modèle est motivée la présence d'une demande en eau urbaine agricole, doté d'un petit barrage de Bakhadda. A travers les résultats obtenus, on peut retenir l'insuffisance de la base de données relative au climat local. Toutefois, les stations moyennes au site d'étude note un climat très sec dans son ensemble, l'hiver est rigoureux dans les régions élevées, la température moyenne annuelle est de 17,64°C. Les précipitations moyennes interannuelles sont estimées à 353,61 mm.

L'évaluation a été faite à partir de l'analyse de deux scénarios : (i) scénario de référence de l'année hydrologique en cours et (ii) scénario de changements climatiques. Le modèle a été calé pour l'année 2020 comme référence et s'étale à l'horizon 2040. Les deux scénarios construits dans cette approche reflètent l'effet des tendances futures de la demande en eau en tenant compte des différents politiques d'exploitation et les facteurs qui peuvent influencer la demande et d'évaluer l'impact de la disponibilité des ressources par le changement climatique probables dans la région.

L'application de ce modèle sur notre site montre la demande en eau pour chaque site de demande (Tiaret, Rahouia, Guertoufa Mchrra Sfa, Djillali Ben Amar, Agriculture et l'élevage) ainsi que la vulnérabilité de la ressource en eau face à la demande au changement climatique. Pour les années du scénario de la méthode hydrologique : l'évapotranspiration augmente à 1.4 Mm³ durant le mois de Mai et 0.2 Mm³ pour le mois décembre, alors que pour le scénario du changement climatique l'évapotranspiration est identique. Ceci permet de conclure que le débit reste insuffisant par apport à la consommation surtout en période prolongée de la sécheresse, cas de changements climatiques. Comme on peut remarquer que les précipitations sont insuffisantes par rapport à la demande (scénario de changement climatique) ayant une influence négative sur le débit entrant vers Oued Mina ; donc le déficit en eau est plus accentué dans le cas de ce scénario. Par contre, le scénario de référence montre que le débit entrant est égale à celle de débit sortant.

Le bilan hydrique de la gestion des ressources en eau le bassin pour l'horizon 2020 – 2040 montre un débit global de 66707.6 Mm³, réparti entre une consommation par les usagers de l'ordre de - 54890.7 Mm³, ce qui implique un débit sortant vers oued Mina de -11816.9 Mm³.

Les sites (Tiaret, Rahouia, Guertoufa Mchrra Sfa, Djillali Ben Amar, Agriculture), montrent que l'eau distribuée connaîtra une variation au niveau de l'alimentation en eau potable et agricole surtout dans les mois de points (juin, juillet, Aout et Octobre) de 6.9 à 4.6 %, ou cet intervalle est élargie de Mai à octobre a partir de l'année 2035 de 27.6 à 3.3%. Pour le site de demande de l'élevage, cette variation n'est pas très remarquable. Le pourcentage de recouvrement de site de demande de l'élevage atteindre 100% pour le scénario de référence, donc la satisfaction des cites des demandes remarquable que en hiver.

Le recours vers les systèmes d'irrigation économes en eau pour l'usage Agricole, tels que le goutte à goutte nécessite des actions participatives et des aménagements spécifiques, afin de permettre l'accès à la ressource à une large population d'agriculteurs. L'eau de surface dans le bassin est employée en grande partie pour l'alimentation en eau potable (APE) et l'agriculture, elle est aussi vulnérable vis-à-vis des changements climatiques comme pour les autres ressources en eau.

L'encouragement des agriculteurs à l'arboriculture est vivement recommandé, dans le but d'une meilleure durée de vie du barrage. Le principe d'agir sur la demande en eau, réduit les pertes et le gaspillage de l'eau, d'où la nécessité de procéder à l'installation impérative des compteurs d'eau individuel ou collectif par l'organisme gestionnaire (ONID).

Par ailleurs et dans le cadre d'une optimisation de la gestion des ressources en eau des périmètres irrigués, il est recommandé de mettre en œuvre un programme de développement visant à :

- ✓ La réhabilitation des infrastructures hydrauliques existantes (périmètres, dévasement du barrage) ;
- ✓ Une utilisation optimale de l'eau potable et évité les mauvaises habitudes de gaspillage de l'eau.
- ✓ Une utilisation optimale des moyens modernes de l'irrigation pour une meilleure économie de l'eau (goute à goutte, aspersion,....).

Référence Bibliographiques

- [1] ANRH :carte des ressources souterraine au nord de l'algerie, dossier B, *Présentation des unités hydrogéologiques, Région Ouest*.
- [2] ACIA., 2007.Consensus scientifique sur le changement climatique dans l'Arctique, Dossier :résumé de "Impacts of a warming Arctic" (Impacte d'un réchauffement de l'Arctique) : un rapport publié par " ACIA" de l'anglais pour Arctic Climat Impacte Assesement (l'Evaluation de l'impacte de changement climatique dans l'Arctique). Résumé détails : Green facts & FPI. France.
- [3] Ali A., 2003. Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques « Besoin réel et urgent d'une d'adaptation et de moyens pour sa mise en œuvre » Maroc. 11pages.
- [4] Abdelkader khaldi. 2005-2006 :«Impacte de la sécheresse sur régime des écoulements souterraine dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien Monts de Tlemcen –Saida » université Oran.
- [5] Banque mondial 2009. Rapport de l'environnement.
- [6] Bekhtiar D., El Miloudi R, 2014: l'effet du changement climatique sur la ressources eaux souterraines cas de bassin versant de oued Mina.
- [7] Bekoussa, B., M. Meddi et H. JOURDE (2008). Forçage climatique et anthropique sur la ressource en eau souterraine d'une région semi-aride : le cas de la plaine de Ghriss (Nord-Ouest algérien). *Sécheresse*, 19, 3, 173-184.
- [8] CNES., 2006. Changement climatique : climat et effet de serre.avr.
- [9] Claude V., François R., 2001.Vivre les changements climatiques, l'effet de serre expliqué, Editions Multi Mondes. France.
- [10] Castany G., (1982 : 1998). Principes et méthodes de l'Hydrogéologie. Dunod, Paris, 236 p.
- [11] Castany G. et MARGAT J. (1977). Dictionnaire français de l'hydrogéologie. BRGM Orléans.150p
- [12] Daniel M., 2007. Evaluation, recherche et prospective, le programme de recherche, GIEC (gestion et impacte du changement
- [13] Djombo A. (2010) : Evaluation et allocation des ressources en eau pour le développement agricole et économique dans le bassin du fleuve Bandama : contribution du modèle WEAP. Mémoire de stage Master spécialité *GIRE*. Université d'Ouagadougou, Burkina Fasso.
- [14] Groupe eaux du Marseille ., 2008 Rapport , le conseil mondial de l'eau à Marseille « l'eau dans monde – tout savoir sur l'or bleu » . Parise. France. Juin. 36 Pages.
- [15] Hervé D., Jean – Claude A. Ghislain de M ., 2007. Les impacts des changements climatiques sur le cycle hydrologique.
- [16] Moussa, S. 2006. Changement climatique et sécurité alimentaire.
- [17] Morgan M. et Alexis G., 2013 : État des lieux du secteur de l'eau en Algérie, Études & analyses, Institut de Prospective Economique du Monde Méditerranéen (IPEMED).
- [18] Meddi, M. et P. Hubert. (2003). Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord- ouest de l'Algérie. Dans : Proceedings of an International Symposium « Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions », Montpellier, avril 2003. IAHS Publ. N° 278.

[19] Meddi, M., A. Talia et C. Martin (2009). Évolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie). Étude de Géographie Physique, CNRS, UMR 6012 (Éditeurs), Nice, France, 36, pp. 25-46.

[20] Rakotondrabe F. (2007) : Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 21 : cas du bassin versant de Morondava (Sud-ouest de Madagascar). Mémoire d'études approfondies spécialité hydrogéologie. Spécialité hydrogéologie. Ecole supérieure polytechnique d'Antananarivo (Madagascar).

[21] Serge p ., 2006 comment estimer le changement climatique ? Article du dossiern°52 : la modélisation informatique , exploration du réel , Revue pour la science , numéro de juillet /sept

[22] S.E.I (*Stockholm Environment Institute*) (2008): Tutorial de WEAP, Guide Utilisateur de WEAP (Système d'évaluation et de planification des ressources en eau).

[23] Teissier D., 1951 : Grands travaux de Marseille, Sondages étanchements consolidation, constructions électriques de France.

[24] Wikipédia , 2009 l'encyclopédie libre . Un article sur du climat. Janv

[25] Site web WEAP21: www.weap21.org

- <http://www.screencast.com/t/PNrYXAmS8jS>
- http://www.weap21.org/WebHelp/User_Defined_Variables.htm
- <http://www.weap21.org/Videos>
- <http://www.weap21.org/index.asp?doc=54&action=20>
- <http://cfpub.epa.gov/gcrp/recordisplay.cfm?deid=19886>

[26] Site de données précipitations et climatique :

- <http://globalweather.tamu>

ABSTRACT

The management of water resources is a concept based on the balance between the water availability of a given territory and the water demand of different socio-economic sectors. In Algeria, and particularly in the west of the country where there is a persistent drought, affecting water reserves, this situation raises a challenge for the search for an approach for the rational and efficient use of water resources, involving all users and consumers.

The multiple approaches combined with models for optimizing the water management system at the watershed scale make it possible to provide elements of a response to this problem and to establish a water strategy.

Our choice fell on the Mina catchment area upstream in wilaya of Tiaret, where we are witnessing a chronic water shortage. Containing an irrigated perimeter downstream of the Bakhadda Dam and an urban space with a regional dimension, the hydraulic system is based on a dam with a capacity of 43.80 Hm³ and by-passes by pumping over the river.

The methodology adopted consists of the application of the WEAP software, with a view to constructing a water resource allocation model by 2040. The data set consists of the physical parameters of the study area, of the readings. hydroclimatic for the reference year (2020) as well as the estimation of the sites of urban and agricultural water demand, retained in this study area, as well as the digitization of the thalwegs, urban location, agriculture, livestock, infrastructure, have been set on the site system. The future scenario of water distribution is based on four (5) assumptions have been created: (i) domestic water requirement; (ii) need for irrigation water; (iii) annual water use ratio, (iv) population demographic growth rate and (v) the effect of climate change on water resources.

The application results of the WEAP software make it possible to project into the future (2040) a water management plan on the scale of the BV (in the form of graphs and maps) and to establish a water balance and supply / request, taking into account a reference scenario (sc1) as well as the vulnerability due to climate change in the near future.

Keywords: Water, WEAP, watershed, Mina, Climate change, Tiaret.

المخلص

إدارة الموارد المائية هو مفهوم يقوم على التوازن بين توافر المياه في منطقة معينة والطلب على المياه لمختلف القطاعات الاجتماعية والاقتصادية. في الجزائر ، ولا سيما في غرب البلاد حيث يوجد جفاف مستمر يؤثر على احتياطات المياه ، يثير هذا الوضع تحديًا للبحث عن نهج للاستخدام الرشيد والفعال للموارد المائية ، يشارك فيه جميع المستخدمين والمستهلكين. تتيح الأساليب المتعددة جنبًا إلى جنب مع نماذج لتحسين نظام إدارة المياه على نطاق مستجمعات المياه توفير عناصر للاستجابة لهذه المشكلة وإنشاء استراتيجية للمياه.

وقد اختارنا على منطقة الحوض الهيدروغرافي لواد منا الجهة الأمامية ولاية تيارت ، حيث نشهد نقصًا مزمنًا في المياه. يحتوي النظام الهيدروليكي على محيط مروي في اتجاه مجرى النهر من سد بخدة ومساحة حضرية ذات بعد إقليمي ، ويعتمد النظام الهيدروليكي على سد تبلغ سعته 43.80 م³ ويمر عبر الضخ فوق واد.

تتكون المنهجية المعتمدة من تطبيق برنامج WEAP ، بهدف إنشاء نموذج لتخصيص الموارد المائية بحلول عام 2040. وتتكون مجموعة البيانات من المعلومات الفيزيائية لمنطقة الدراسة ، والقراءات. المناخ المائي للسنة المرجعية (2020) بالإضافة إلى تقدير مواقع الطلب على المياه في المناطق الحضرية والزراعية ، التي تم الاحتفاظ بها في منطقة الدراسة هذه ، وكذلك رقمنة المناطق الحضرية ، والموقع الحضري ، والزراعة ، والثروة الحيوانية ، والبنية التحتية ، على نظام الموقع. يعتمد السيناريو المستقبلي لتوزيع المياه على أربعة (5) افتراضات تم وضعها: (1) متطلبات المياه المنزلية ؛ (2) الحاجة إلى مياه الري ؛ (3) نسبة الاستخدام السنوي للمياه ، (4) معدل النمو الديموغرافي للسكان ، (5) تأثير تغير المناخ على موارد المياه.

تتيح نتائج تطبيق برنامج WEAP إمكانية عرض خطة إدارة المياه في المستقبل (2040) على مقياس الحوض في شكل رسوم بيانية وخرائط وإنشاء توازن مائي وإمداد / طلب ، مع مراعاة حساب سيناريو مرجعي (sc1) بالإضافة إلى قابلية التأثير بسبب تغير المناخ في المستقبل القريب.

الكلمات المفتاحية: المياه ، WEAP ، مستجمعات المياه ، منى ، تغير المناخ ، تيارت .

RESUME

La gestion des ressources en eau est un concept fondée sur l'adéquation entre les disponibilités hydriques d'un territoire donné et la demande en eau des différents secteurs socio-économiques. En Algérie, et particulièrement à l'Ouest du pays où sévit, une sécheresse persistante, affectant les réserves hydriques, cette situation, relève d'un défi pour la recherche d'une démarche d'utilisation rationnelle et efficiente de la ressource en eau, associant l'ensemble des usagers-consommateurs.

Les multiples approches combinées aux modèles d'optimisation du système de gestion de l'eau à l'échelle du bassin versant permettent de fournir des éléments de réponse à cette problématique et d'asseoir une stratégie de l'eau.

Notre choix a porté sur le bassin versant de Mina partie amont wilaya de Tiaret, où l'on assiste à une pénurie d'eau chronique. Renfermant un périmètre irrigué à l'aval du Barrage bakhadda et un espace urbain à dimension régionale, le système hydraulique se base sur un barrage d'une capacité de 43,80 Hm³ et des dérivations par pompage au fil de l'Oued.

La méthodologie adoptée consiste à l'application du logiciel WEAP, en vue de construire un modèle d'allocation de la ressource en eau à l'horizon 2040. Le jeu des données est constitué des paramètres physiques de la zone d'étude, des relevés hydroclimatiques pour l'année de référence (2020) ainsi que l'estimation des sites de demande en eau urbaine et agricole, retenus ont de cette zone d'étude, ainsi que la numérisation des talwegs, localisation urbaine, agricole, élevage, infrastructure, ont été réglés sur le système du site. Le scénario futur de la distribution de l'eau est basé sur quatre (5) hypothèses ont été créées : (i) besoin en eau domestique ; (ii) besoin en eau d'irrigation ; (iii) ratio d'utilisation d'eau annuelle, (iv) taux de croissance démographique de la population et (v) l'effet du changement climatique sur la ressource en eau.

Les résultats d'application du logiciel WEAP permettent de projeter dans le futur (2040) un plan de gestion de l'eau à l'échelle du BV (sous forme de graphes et cartes) et d'établir un bilan hydrologique et de offre/demande, tenant compte d'un scénario de référence (sc1) ainsi que de la vulnérabilité due aux changements climatiques dans un futur proche.

Mots clés : Eau, WEAP, bassin versant, Mina, Changement climatique, Tiaret.