

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
FACULTE DES HYDROCARBURES, DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DES
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.



Mémoire de Master Académique

Domaine : science de la terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

*Analyse morphométrique et occupation du sol
et leurs influences sur les eaux du bassin
versant d'oued Mafragh (Nord-est algérien)*

Présenté par

DERRADJI Tahani

Devant le jury :

Président :	<i>MERABET Lakhdar</i>	<i>MAA</i>	Univ. Ouargla
Promoteur :	<i>DJIDEL Mohamed</i>	<i>Pr.</i>	Univ. Ouargla
Co-Promoteur :	<i>MEDJANI Fethi</i>	<i>MCA</i>	Univ. Ouargla
Examineur :	<i>BELAOUEUR Abdelaziz</i>	<i>MCB</i>	Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2018/2019

Dédicace

A ma grande mère pour sa tendresse, son amour, et son encouragement durant toute ma vie pour que je puisse réussir.

A ma très chère mère « tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir. Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte.

En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée »

A ma très chère tante N, signe d'amour, de tendresse, de respect, et qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'étude

Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A ma très chère Zora, mes chers cousins, cousines et ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A tous mes amies qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime

Remerciement

Au terme de cette étude, je tiens en premier lieu à remercier Dieu qui m'a facilité le travail en mettant sur mon chemin des gens qui m'ont énormément aidé et soutenu.

*J'exprime mes vifs remerciements à mon encadreur Monsieur le Professeur **DJIDEL Mohamed** qui a su m'accueillir dans le domaine de l'hydrogéologie et me le faire découvrir. Je le remercie également pour, sa disponibilité, sa patience, son aide, ses idées scientifiques précieuses, ses encouragements et ses conseils et l'intérêt qu'il a manifesté pendant la réalisation et la mise en forme de ce mémoire de Master. Je lui suis très reconnaissante pour son encadrement et son soutien dans ce projet.*

*A Monsieur **MEDJANI FETHI** mon Co-encadreur, pour sa modestie et ses idées claires, pertinentes et encouragements.*

*Je remercie également **Mr MERABET Lakhdar** d'avoir accepté de présider le jury.*

*J'adresse mes remerciements à **Mr BELAOUEUR Abdelaziz** d'avoir accepté de juger et critiquer ce mémoire.*

Merci aussi à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Et enfin, merci à mes proches.

DERRAJJI Tahani

Table des matières

TABLE DES MATIERES	III
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES FIGURES	VII
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE.....	3
I. SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA MAFRAGH :	3
II. APERÇU SOCIO-ECONOMIQUE :	4
II.1. La population :	4
II.2. L'industrie :	4
II.3. L'agriculture :	4
II.4. Le tourisme :	4
II.5. La Pêche :	4
II.6. Facteurs de pollutions	4
II.6.1- Pollution urbaine	4
II.6.2- Pollution industrielle	5
II.6.3- Pollution Agricole :	5
III. TOPOGRAPHIE ET ENERGIE DU RELIEF :	5
III.1. Topographique et Morphologie du Bassin Versant	5
III.1.1. Les Plaines Littorales	5
III.1.2. Les Bassins Intérieurs :	7
III.1.3. Les Basses Montagnes :	9
III.1.4. Les Hautes Montagnes (Djebels) :	9
III.1.5. Le Cordon Dunaire :	10
IV. LA GEOLOGIE DU TERRAIN :	10
IV.1. Formations géologiques en faveur du réservoir aquifère du bassin versant :	10
IV.1.1. Stratigraphie	10
IV.1.2. Tectonique et paléogéographie	12
V. APERÇU HYDROGEOLOGIQUES :	13
V.1. Les Différentes Nappes du Système Aquifère du Bassin Versant de la Mafragh :	13
V.1.1. Plaines d'El Asfour :	13
V.1.2. La Plaine de Boutheldja :	14
V.1.3. La Plaine d'El-Taref :	15
V.1.4. Nappe de la Plaine d'Annaba :	16
VI. LA CLIMATOLOGIE :	17
VI.1. Les facteurs climatiques :	17
VI.1.1. Précipitation :	17
VI.1.2. Température :	20
VI.1.3. Humidité de l'air :	21
VI.1.4. Le vent :	21
VI.2. Bilan hydrique :	22

VI.2.1. Calcul du bilan hydrique selon la formule de CW Thornthwaite :	22
VII. CONCLUSION	23
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	25
I. INTRODUCTION :	25
II. MATERIELS	25
<i>II.1. Les données satellitaires</i>	<i>25</i>
II.1.1. Les images (MNT).....	25
II.1.2. Les images satellitaires (Sentinel-2) :	25
II.1.3. Les images Google Earth :	25
<i>II.2. Les logiciels utilisés :</i>	<i>25</i>
II.2.1. ArcGis 10.3 :	25
II.2.2. Google Earth Pro :	26
II.2.3. Origin :	26
II.2.4. Diagramme :	26
II.2.5. PhreeqcI v 2.15 (Parkhurst and Appelo, 1999).....	26
III. METHODES :	26
<i>III.1. La modélisation hydrologique :</i>	<i>27</i>
III.1.1. Délimitation du bassin versant	27
III.1.2. La réalisation de la carte des pentes :	28
<i>III.2. Analyse Morphométrique :</i>	<i>28</i>
III.2.1. Surface et périmètre :	29
III.2.2. La forme	29
III.2.3. Le rectangle équivalent :	29
III.2.4. Les altitudes caractéristiques :	29
III.2.5. Pente moyenne du bassin versant.....	29
III.2.6. Indices de pente :	30
III.2.7. Dénivelée spécifique (Ds) :	30
III.2.8. Les caractéristiques du réseau hydrographique :	31
<i>III.3. Occupation du sol :</i>	<i>32</i>
III.3.1. Les prétraitements des images :	32
III.3.2. Classifications supervisées :	33
III.3.3. Cartographie par ArcGis 10.3 :	33
<i>III.4. Risque d'Erosion :</i>	<i>34</i>
III.4.1. Paramètres du modèle USLE :	35
<i>III.5. Hydrochimie :</i>	<i>36</i>
III.5.1. Méthodes de traitement des résultats :	37
III.5.2. Aptitude des eaux à l'irrigation :	37
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION :	39
I. INTRODUCTION	39
II. HYDROLOGIE :	39
<i>II.1. Les caractéristiques de forme.....</i>	<i>39</i>
II.1.1. La Surface et périmètre du bassin versant	39

II.1.2. La forme	39
II.1.3. Le rectangle équivalent :	40
II.2. Le relief :	41
II.2.1. La courbe hypsométrique :	41
II.2.2. Formes de Relief Marqués par des Tranches d'Altitudes :	42
II.2.3. Les altitudes caractéristiques :	43
II.2.4. Pentes du bassin versant :	43
II.2.5. Dénivelée spécifique (Ds)	45
II.3. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant :	45
II.3.1. La topologie : structure du réseau et ordre des cours d'eau	46
II.3.2. les caractéristiques du réseau :	46
III. OCCUPATION DU SOL :	47
IV. RISQUE D'EROSION :	49
<i>IV.1. Facteur topographique (LS) :</i>	49
<i>IV.2. Facteur d'érodibilité du sol (K) :</i>	49
<i>IV.3. Le facteur d'érosivité de pluie (R) :</i>	50
<i>IV.4. Facteur du couvert végétal (C) :</i>	51
<i>IV.5. Facteur des pratiques anti-érosives (P) :</i>	51
<i>IV.6. Estimation des pertes de sols (A) :</i>	51
<i>IV.7. Validation :</i>	54
V. HYDROCHIMIE :	54
<i>V.1. Faciès chimiques des eaux :</i>	55
V.1.1. Formule ionique :	55
V.1.2. Diagramme de piper :	57
<i>V.2. Paramètres physico-chimique et potabilité des eaux :</i>	58
V.2.1. Température des eaux	58
V.2.2. Potentiel hydrogène (pH) :	59
V.2.3. La conductivité électrique :	59
V.2.4. L'oxygène dissous (O ₂) :	59
V.2.5. Les éléments majeurs :	60
V.2.6. Les nutriments	64
<i>V.3. Aptitude des eaux à l'irrigation :</i>	66
VI. CONCLUSION :	66
CONCLUSION GENERALE	68
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	70

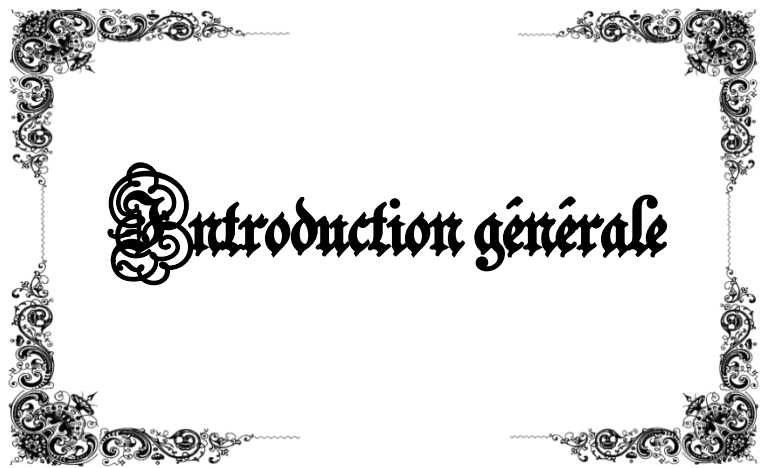
Liste des tableaux

Tableau 1 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) à la station d'El-Taref (1997_2018).....	17
Tableau 2 : variations annuelles des précipitations à la station d'El-Taref	18
Tableau 3 : Valeurs du coefficient pluviométrique (1996/2018)	20
Tableau 4 : Variations mensuelles de l'humidité de l'air à la station d'El Kala (1990-2010)	21
Tableau 5 : Vitesses des vents moyennes mensuelles et annuelles pour la station d'El Kala (90/91-09/10)	21
Tableau 6 : Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite (station d'El-Taref 1997-2018)	22
Tableau 7 : Classification du relief selon Ig par l'ORSTOM	30
Tableau 8 : Classification du relief selon Ds.....	31
Tableau 9 : Norme de potabilité de l'eau	37
Tableau 10 : Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR (Louvier, 1976).....	38
Tableau 11 : Caractéristiques de forme des sous bassins de la Mafragh.....	40
Tableau 12 : Répartition de la superficie selon l'élévation des courbes de niveau	41
Tableau 13 : Répartition du relief par classe des pentes.....	43
Tableau 14 : Indices de pentes et nature de reliefs.....	45
Tableau 15 : Les longueurs d'ordres des cours d'eau dans le bassin versant de la Mafragh.....	46
Tableau 16 : Répartition de la superficie selon l'élévation des classes de l'occupation de sol.....	47
Tableau 17 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux superficielles du bassin Versant de la Mafragh de deux dates (septembre et avril)	54
Tableau 18 : Formule ionique et faciès chimique des eaux d'Avril 2016.....	55
Tableau 19 : Formule ionique et faciès chimique des eaux de Septembre 2016.....	56

Liste des figures

Figure 1 : Carte de la situation géographique du bassin versant de la Mafragh.....	3
Figure 2 : Carte des altitudes du bassin versant de la Mafragh	6
Figure 3. Carte géologique du bassin versant de la Mafragh (Villa, 1980).....	11
Figure 4 : Carte hydrogéologique du bassin versant d'Oued Mafragh (ANRH, 2008).....	14
Figure 5 : Coupe hydrogéologique du massif dunaire de Bouteldja (Energo -project enhyd, 1992).	15
Figure 6 : Coupe schématique du système aquifère d'Annaba la Mafragh. (Derraji, 2004).....	16
Figure 7 : Variations mensuelles des précipitations à la station d'El-Taref.....	18
Figure 8 : variations des précipitations moyennes annuelles de la station d'El-Taref	19
Figure 9 : Variations mensuelles des températures à la station d'El-Taref (1997-2018)	20
Figure 10 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite à la station d'El-Taref (1997-2018)	23
Figure 11 : Organigramme pour la délimitation et l'extraction des bassins versants.....	27
Figure 12 : Organigramme des caractéristiques morphométriques mesurées pour un bassin versant	28
Figure 13 : Organigramme du processus général de traitements des images Sentinel-2.....	33
Figure 14 : Organigramme méthodologie du model USLE appliqué.....	34
Figure 15 : Carte présente la délimitation du bassin versant d'oued Mafragh	39
Figure 16 : Rectangle équivalent de la Mafragh	40
Figure 17 : La courbe hypsométrique du bassin versant « Mafragh »	41
Figure 18 : Carte altimétrique du bassin versant de la Mafragh.....	42
Figure 19 : Carte des pentes du bassin versant de la Mafragh	43
Figure 20 : Carte de réseau hydrographique.....	45
Figure 21 : Carte d'occupation du sol dans le bassin versant d'Oued Mafragh.....	48
Figure 22 : Les surfaces d'occupation du sol (%).....	48
Figure 23 : Le facteur topographique (LS) dans le bassin versant Mafragh	49
Figure 24 : Le facteur d'érodibilité (K) dans le bassin versant Mafragh	50
Figure 25 : Le facteur d'érosivité (R) dans le bassin versant Mafragh	50
Figure 26 : Le facteur du couvert végétal (C) dans le bassin versant Mafragh.....	51
Figure 27 : Les risques d'érosion dans le bassin de l'oued Mafragh	52
Figure 28 : Répartition des surfaces de pentes en fonction des risques d'érosion	53
Figure 29: Répartition des surfaces d'occupation du sol en fonction des risques d'érosion.....	53
Figure 30 : Représentation graphique des pourcentages des faciès chimiques	56
Figure 31 : Faciès chimique du mois de septembre et Avril	57
Figure 32 : Variations spatiotemporelle de température	58

Figure 33 : Variations spatiotemporelle du PH	58
Figure 34 : Variations spatiotemporelle de la conductivité électrique	59
Figure 35 : Variations spatiotemporelle de l'oxygène dessous	60
Figure 36 : Variations spatiotemporelle du calcium.....	60
Figure 37 : Variations spatiotemporelle du Magnésium	61
Figure 38 : Variations spatiotemporelle du Sodium.....	62
Figure 39 : Variations spatiotemporelle du Potassium.....	62
Figure 40 : Variations spatiotemporelle du Bicarbonate	63
Figure 41 : Variations spatiotemporelle du Chlorures	63
Figure 42 : Variations spatiotemporelle du Sulfate	64
Figure 43 : Variations spatiotemporelle du Nitrate	65
Figure 44 : Variations spatiotemporelle du Phosphate.....	65
Figure 45 : Classification des eaux à l'irrigation en fonction du SAR (diagramme de Riverside)	66

A decorative rectangular border with intricate floral and scrollwork patterns, framing the central text.

Introduction générale

Introduction générale

Le bassin versant de la Mafragh faisant partie de l'un des plus importants bassins hydrographiques de l'Algérie (bassin versant des côtiers Constantinois-Est). Le bassin versant de la Mafragh représente un réservoir naturel remarquable d'eaux superficielles et souterraines par son apport moyen annuel important. Dans cet espace, l'eau représente le facteur moteur du développement industriel, touristique, agricole, urbain et rural de la région, nécessitant sa mobilisation en quantités énormes. Cependant ce développement a influé sur la qualité des ressources en eau avec de nombreux cas de pollution industrielle et urbaine qui ont été observés en l'occurrence au niveau des zones humides d'une part, et la dégradation du sol par l'érosion hydrique d'autre part. En Algérie le taux d'érosion spécifique atteint les valeurs les plus élevées d'Afrique du Nord. Selon Demmak (1982), ceux-ci dépassent 2000 tonnes/km²/an dans les bassins versants de l'Atlas Tellien.

L'objectif de cette recherche est de déterminer les paramètres hydrométriques du bassin versant « Mafragh », d'étudier et d'exploiter le pouvoir des données satellitaires (MNT et Sentinel-2) pour mieux analyser le bassin versant, décrire l'état de l'occupation du sol et d'adopter une méthodologie qui permettra de superposer et d'analyser un ensemble de facteurs pour faire ressortir une carte des zones à risques naturels liés à l'eau (érosion hydrique) dans la zone d'étude. Ainsi la qualité des eaux de surface pour connaître l'évolution saisonnière et les facteurs influant sur cette zone.

L'évaluation et le contrôle des risques d'érosion nécessitent l'analyse et l'intégration des différents facteurs qui favorisent les processus érosifs (la topographie du terrain, l'érodibilité des sols, et l'occupation du sol). Le Système d'Information Géographique (SIG) permet d'intégrer les différents facteurs, d'analyser leurs informations spatiales et d'appliquer des équations mathématiques par superposition des couches raster afin de faire ressortir une carte du risque en question (carte de sensibilité à l'érosion).

Par cette étude et afin d'arriver à notre objectif, nous avons développé les étapes suivantes :

- ⇒ Au cours du premier chapitre, on a présenté les principales données que nous avons recueillies et qui concernent le cadre général de notre région d'étude (situation géographique, étude socio-économique, description des caractéristiques géomorphologique, aperçu géologique, hydrogéologique et hydroclimatologique).
- ⇒ Le deuxième chapitre, se focalise sur la présentation des différentes méthodes de traitements utilisées sur le matériel disponible pour ce travail. La représentation de la modélisation

hydrologique et l'analyse morphométrique du bassin versant, la description du modèle « USLE » (Universal Soil Loss Equation) pour l'estimation de l'érosion dans le bassin versant étudié par la télédétection et le SIG, les techniques d'analyse des échantillons ainsi que les outils informatiques utilisés pour le traitement de nos résultats.

- ⇒ Le troisième chapitre, est consacré à l'interprétation et la discussion des résultats d'analyses morphométrique obtenus des différents traitements du modèle numérique de terrain (MNT). Une interprétation des résultats d'occupation du sol et du risque d'érosion obtenus des différents traitements d'images satellitaires et le modèle USLE respectivement. Enfin une interprétation qualitative des résultats des différentes analyses physicochimiques des eaux de surface de la zone d'étude.

Et enfin une Conclusion Générale qui fera l'objet d'une synthèse des résultats obtenus dans cette étude.

A decorative rectangular border with ornate floral and scrollwork patterns in each corner, framing the central text.

Chapitre I

Description de la zone d'étude

Chapitre I : Description de la zone d'étude

I. Situation géographique du bassin versant de la Mafragh :

Le bassin versant de la Mafragh est situé à l'extrême Nord Est Algérien, Selon les cahiers de l'agence des bassins hydrographiques, il inclut dans le bassin versant des côtiers Constantinois-Est et codifié sous le numéro 03. Il est limité longitudinalement entre 7°45' et 8°45' Est d'une part, et latitudinalement entre 36°20' et 36°55' Nord d'autre part, n'englobe pas la totalité de la superficie de la wilaya d'El-Taref. Il est réparti aussi sur la wilaya de Souk Ahras, la wilaya de Guelma et l'état de la Tunisie (Fig. 1). Il occupe une superficie de l'ordre de 2768.31 Km² et couvre pratiquement 70.30% du bassin versant des côtiers Constantinois-Est.

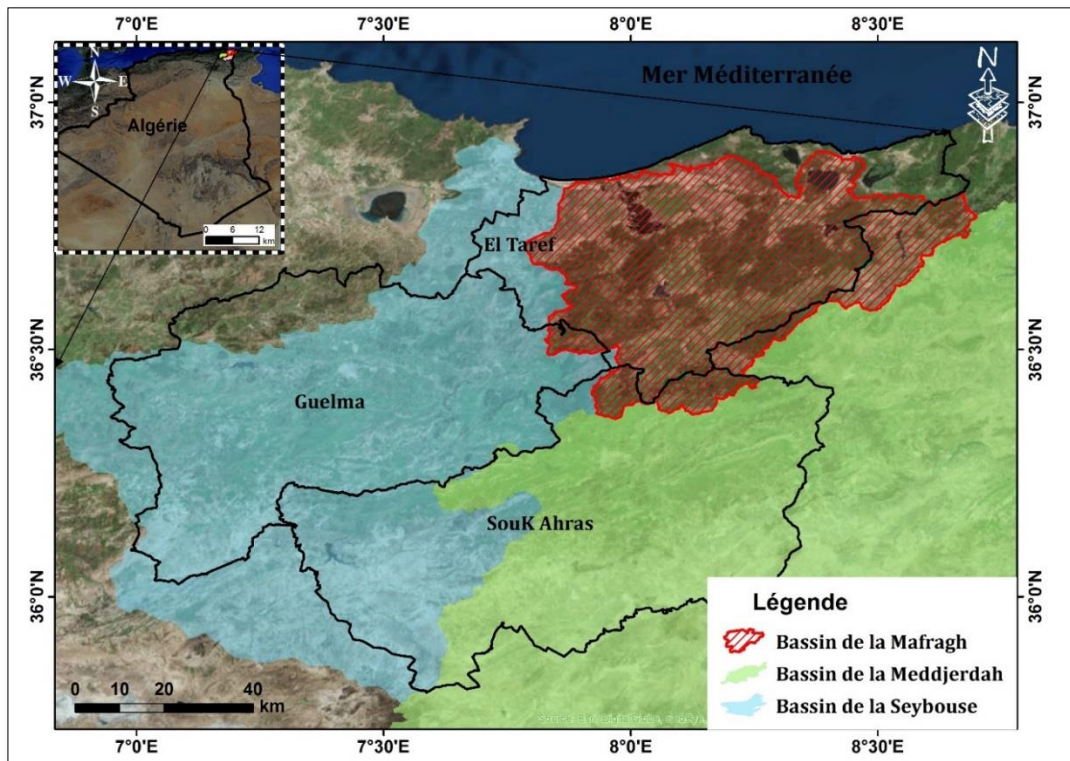


Figure 1 : Carte de la situation géographique du bassin versant de la Mafragh

Notre terrain d'étude est limité :

- Au Nord par le massif dunaire de Boutheldja formant obstacle naturel avec la mer méditerranée ;
- Au sud par le bassin de Meddjerdah ;
- A l'Est par le bassin des côtiers de la Calle et les frontières Tunisiennes ;
- A l'Ouest par le bassin de la Seybouse.

Il est drainé par deux oueds importants :

- Oued Bounamoussa à l'Ouest.
- Oued Kebir-Est à l'Est.

Ces deux cours d'eau rejoignent la mer par un exutoire unique : Oued Mafragh.

II. Aperçu socio-économique :**II.1. La population :**

La wilaya d'El-Taref étant zone principale du bassin, est occupée par une population de 430000 habitants, soit une densité de 129 habitants par km² (ANDI, 2013).

Cette population est fortement concentrée dans les agglomérations les plus importantes telles que : El-Taref, El-Kala, Besbes ... etc.

La répartition de la population est due à la présence des différents pôles dans la région d'étude qui sont :

II.2. L'industrie :

La wilaya d'El-Taref par sa vocation agricole elle n'est définie que par une activité industrielle très peu développée dominée par les PMI (petite et moyenne industrie) agroalimentaires caractérisées principalement par la conservation et la transformation de la tomate.

II.3. L'agriculture :

La région d'étude par sa vocation agricole et ses conditions pédoclimatiques est un important pôle agricole dans l'Est algérien :

- La plaine de Bounamoussa : caractérisée par des cultures maraîchères, industrielles, fourragères et agricoles ainsi que l'élevage de bovins.
- Les terres de l'arrière-pays où domine la céréaliculture associée à l'élevage de bovin. En outre il y a lieu l'émergence de labels, tel que le concentré de tomate, les vignobles des coteaux de Bouteldja et du périmètre de Bounamoussa, il y a aussi le melon de Bouteldja et du périmètre de Bounamoussa, et la dinde de Ramel Souk.

II.4. Le tourisme :

L'activité du tourisme est bien distinguée dans la région d'El-Taref grâce à ses zones humides telles que le lac Mellah, Oubaira, Tonga, lac des oiseaux, le marais de la Mekhada, le parc national d'El-Kala, les vestiges romains de Bougous, les sources thermales de Hammam Sidi Trad, un écosystème forestier et une très riche faune et flore.

II.5. La Pêche :

L'activité de pêche sportive et touristique à la fois, est très prisée dans la région (littoral marin, espaces lacustres, oueds, barrages...etc.) avec deux ports de pêche.

II.6. Facteurs de pollutions***II.6.1- Pollution urbaine***

Une menace réelle sur le milieu naturel se distingue par :

- Des déchets solides urbains estimés à 110 T/J environ concernant 26 décharges sauvages (Inspection de l'environnement).

- Environ 39000 m³/j d'eaux usées domestiques sont rejetées dans les oueds et même parfois à ciel ouvert sans traitement préalable par raison de réseau défectueux et de dysfonctionnement des quatre stations d'épuration (Labar, 2003).

II.6.2- Pollution industrielle

Un nombre de six unités de conserveries de tomate rejettent chaque saison environ 26000 m³ vers les oueds Bounamoussa, Seybousse et Kébir-est sans traitement préalable. Ainsi, cinq unités limitrophes aux oueds récepteurs Bounamoussa et Seybousse font l'origine d'une pollution biochimique caractérisée par les valeurs excessives de matières en suspension (MES) et demande chimique en oxygène (DCO) (Labar, 2003).

II.6.3- Pollution Agricole :

La région d'étude est à vocation agricole, on note la présence de plusieurs fermes à élevage important qui ne dispose pas d'équipement de sécurité contre la pollution provoquée par les différents rejets. La zone d'étude est une vaste plaine agricole cultivée à plus de 36%.

On note une polyculture soumise à l'utilisation intensive des épandages d'engrais et de pesticides riches en NO₃, PO₄, SO₄, lessivés par les eaux de surface ces matières peuvent atteindre les nappes superficielles ou profondes par échanges verticaux ou horizontaux (Bahroun, 2011).

III. Topographie et Energie du Relief :

III.1. Topographique et Morphologie du Bassin Versant

Les montagnes telliennes de l'Est algérien se présentent comme un bourrelet longeant et dominant la mer méditerranée depuis Bejaïa jusqu'à la frontière tunisienne. Le Tell Oriental se subdivise en plusieurs ensembles topographiques présentant chacun des caractères et des problèmes géomorphologiques propres, de l'Ouest vers l'Est, cette région décroît en altitude.

La région du bassin versant de la Mafragh, qui fait la terminaison Est de ces montagnes, présente des unités topographiques et morphologiques, qui peuvent être décrites comme suit (Fig. 2) :

III.1.1. Les Plaines Littorales

1.1.1. La Plaine de Boutheldja (basse vallée du Kébir-Est)

Tout à l'Est, la plaine de Boutheldja correspond à la basse vallée de l'Oued Kebir-Bougous. Occupée sur ses bordures par des étangs marécageux (Lac des Oiseaux, Région de Righia), elle est légèrement bombée de part et d'autre de l'oued.

a. Les Bordures de la Plaine d'Annaba (Basse vallée de la Mafragh)

La terminaison extrême Nord-Est de la grande plaine d'Annaba s'organise autour de Garaat M'Khada où convergent les oueds Kebir, Bounamoussa et Bouhllalah donnant naissance à L'oued Mafragh avant de se jeter dans la Méditerranée.

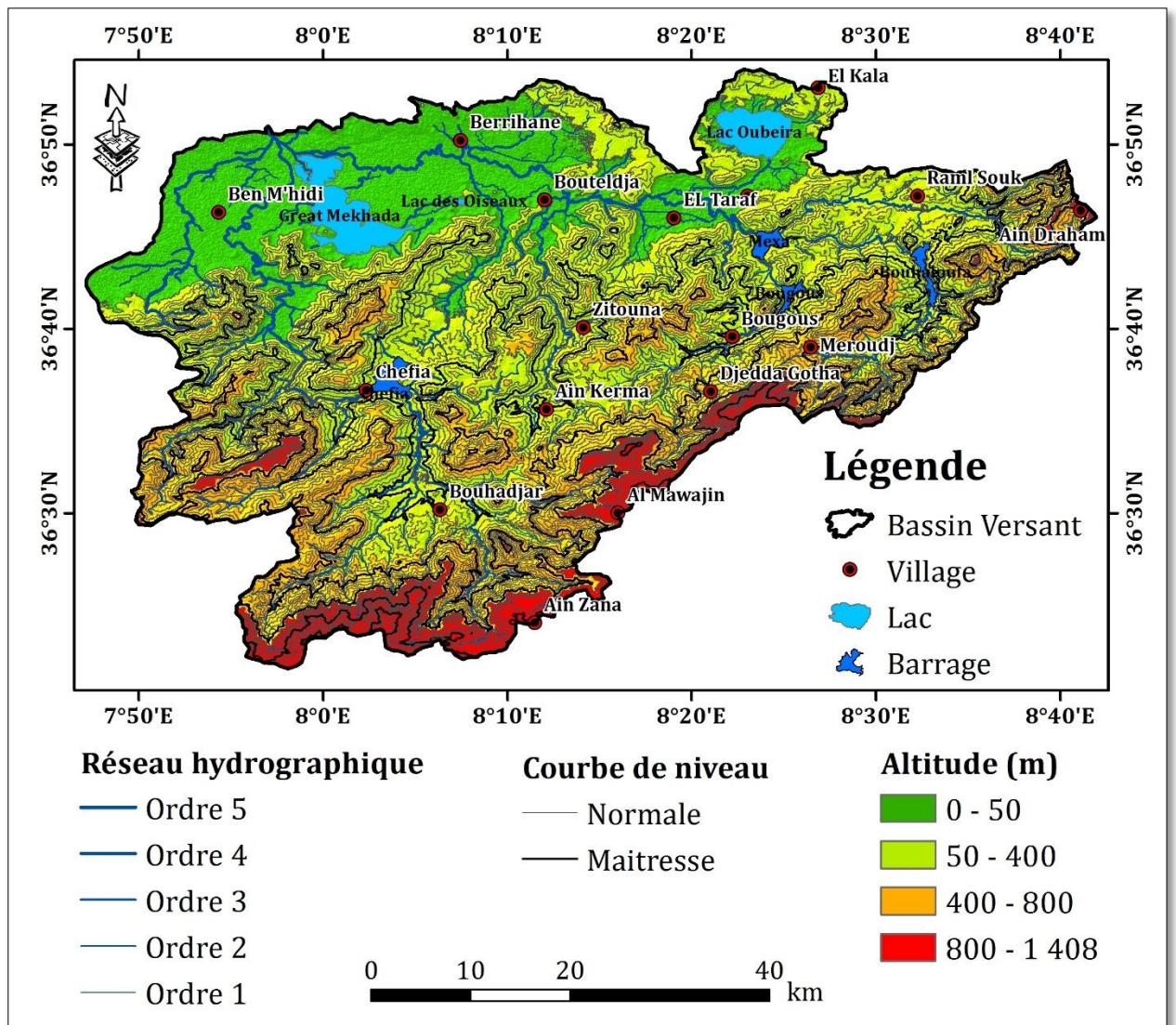


Figure 2 : Carte des altitudes du bassin versant de la Mafragh

La partie Est de la grande plaine de Annaba correspond au bassin du secteur aval de la Mafragh ; en réalité, cette partie est couverte de Garaas, au milieu des quelles serpentent des « Khelidjs » (Khelidj Esseba, Khelidj Ennakhla, Khelidj Eddib). Ces « Khelidjs », qui sont des faux bras de rivières où l'eau ne coule parfois que par intermittence et dont le réseau est largement anastomosé (Joleaud, 1936), révèlent l'absence de toutes les lignes directrices dans l'hydrographie locale : des côtes de 1 m sont relevés entre oued Chourka et l'Ouest d'oued Bounamoussa à 5 km de la mer. Par contre, des côtes de 2 m sont relevées entre oued Chourka et oued Kebir-Est, et qui sont les points les plus bas de la plaine d'Annaba. A l'Ouest, la plaine de Ben M'hidi, qui fait partie de la grande plaine d'Annaba, est la plus basse, avec des points de côte de 5 m de hauteur (Djidel, 2004).

b. Garaat M'Khada :

En grande partie temporaire, Garaat M'Khada est un marais profond de 0.4 à 1 m durant la période des hautes eaux. Lors de son assèchement, et même quand la nappe d'eau émerge, elle

est utilisée comme terre de pacage par les riverains. Du fait de l'influence directe de la méditerranée qui se propage à l'intérieur de ces terres, des tamarins couvrent une partie de la région et les poissons marins arrivent durant cette saison dans la nappe d'eau comme (les Aloses et les Muges). Vers le Nord, l'altitude des collines qui surplombe Garaat M'khada atteint les 356 m à Djebel Bou-Kerma.

III.1.2. Les Bassins Intérieurs :

Trois types de bassins internes peuvent être distingués : des bassins montagnards, un bassin de plaine et des bassins littoraux occupés par des lacs.

1.2.1. Les Bassins Montagnards :

Ces bassins, à caractère montagnard, sont des fenêtres qui ont été creusées dans la nappe des grés numidiens, des failles normales ont conditionnées la localisation et les limites des bassins

a. Le Bassin de la Cheffia :

Creusé dans des roches tendres, il présente deux parties avec au centre une ligne de hauteur qui joue le rôle de ligne de partage des eaux. La partie méridionale, occupée par le Lac du Barrage de la Cheffia (570 ha), est drainée par oued Bounamoussa. La partie septentrionale, drainée par oued Cheffia, présente une topographie de glacis. L'ensemble est dominé, sur toutes ses bordures, par des escarpements gréseux. Le bassin est drainé par oued Cheffia qui rejoint oued Boulathane par des gorges vers le Nord.

b. Le Bassin d'Ain el Karma :

Ce bassin est drainé par oued Yabous et Chaabet Rebiha avant de former oued Zitouna vers le Nord. Il est caractérisé par une topographie morcelée où les altitudes varient. Elles sont de 1041 m à djebel Dir vers le Sud-Est, pour atteindre les 349 m à kef Ain Loulidja. En son centre, un promontoire « Cap » porte le nom de Bordj Ain El Karma « Mechtat Meradia Fouguania ».

c. Le bassin de Bouhadjar :

Il est caractérisé par une topographie plus accidentée où les altitudes atteignent les 808 m à djebel Souani, 1406 m à djebel M'Sid, 1015 m à Kef El Boum et 740 m à Draa Safsaf. Il est drainé par deux oueds importants : oued Bouhadjar et oued Kebir. Ce bassin constitue la zone d'alimentation du barrage de la Cheffia qui se situe au nord de ce dernier.

1.2.2. Le Bassin des Plaines :

Au Nord-Est, le bassin d'El-Taref - Ain Assel est une véritable plaine interne. L'altitude du fond plat varie de 2 à 28 m, et est parcourue par l'amont d'oued Kebir. Au Nord, le lac Oubeïra qui occupe une dépression prolonge cette plaine. Plus au Sud l'ensemble du bassin est dominé par des escarpements gréseux qui le ceinturent complètement. Des vallées étroites drainent ce bassin avant de rejoindre oued Kebir qui met en communication le bassin d'El-Taref avec la plaine de Boutheldja vers l'Ouest par un couloir étroit.

1.2.3. Les Bassins Littoraux :

Les crêtes de la ligne de partage des eaux au nord de l'oued Kebir et qui sépare le bassin versant de la Mafragh des côtières de la Calle sont caractérisées par des altitudes basses allant d'Ouest vers l'Est de 177 m à djebel Bourdim à 156 m à djebel Hdjar Siah pour atteindre les 254 m dans l'extrême Est à la limite Algéro-Tunisienne (Kef Maatallah).

Ces bassins littoraux font la limite Nord-Nord-Est de notre région d'étude et c'est dans la région d'El Kala (La Calle) que se localisent les bassins littoraux. Ces trois bassins sont occupés par des lacs : le lac Melah qui est en relation avec la mer par un grau, le lac Oubeïra à 2 m d'altitude et le lac Tonga à 2-3 m d'altitude. Ce dernier, drainé incomplètement vers la Baie de la Messida, prend aujourd'hui l'aspect de plaines très humides surtout durant les années sèches. Vu son importance hydrologique, le lac Oubeïra peut être inclus comme unité du système hydrologique de la Mafragh et un aperçu pour éclaircir cette relation particulière s'avère nécessaire.

a. Lac Oubeïra :

Le lac Oubeïra est situé à la côte 25 m. Il est occupé par de l'eau douce et alimenté essentiellement par les oueds Messida et Bouhachicha au Sud et oued Legraa au Nord. Ce lac est séparé du lac Melah par un seuil de 44m de hauteur. Lors des averses d'hiver (période des hautes eaux) les eaux de l'Oued Kebir s'écoulent vers le lac. En été, le système hydrologique fonctionne en sens inverse. C'est l'Oued Messida qui a la particularité de s'écouler alternativement dans les deux sens à la recherche d'un équilibre hydrologique naturel. Donc, ce lac est alimenté principalement par l'Oued Messida qui a creusé un petit estuaire au Sud-Est de la Garaa, qui reste à sec en été et qui reçoit en hiver une importante masse d'eau venant des marécages de l'Ouest de Ain El Assel. Ces marais, lors des grosses pluies sont aussi en communication directe avec oued Kebir qui se jette à la mer sous le nom de la Mafragh, après avoir traversé les Garaas de la grande plaine d'Annaba et les dunes littorales voisines. C'est par cette voie que les poissons migrateurs du lacs (Anguilles, Muges, Aloses) effectuent leurs déplacements périodiques, lors des crues, où le courant de l'oued Messida vers le lac est fort violent.

Par contre, quand le niveau du lac est très haut et que les pluies cessent (période des basses eaux), l'affluent devient émissaire et une partie des eaux du lac retournent aux marais d'où elles étaient venues. Les Muges et les Aloses sont alors prisonniers. Il ne semble pas en tous cas que les poissons proprement marins tels que les Loups ou Bars, qui pénètrent fréquemment dans les Khelidjs de la grande plaine de Annaba atteignent normalement le lac Oubeïra (Joleaud, 1936).

Enfin, les eaux de Garaat el Ouez s'écoulent régulièrement en partie vers le Nord dans le lac Melah par oued El Aroug et en partie vers le Sud dans l'oued Kébir par Chaabet Damet El Lil

qui rejoint Chaabet El Khalidj, avant de rejoindre oued Kebir. Ainsi donc, la ligne de partage des eaux de cette zone du versant nord du bassin d'El-Taref, n'occupe pas une position géographique immuable.

III.1.3. Les Basses Montagnes :

1.3.1. Les Basses Montagnes des Monts de la Cheffia :

Une première barrière topographique constitue la limite Sud de l'aval du bassin de la Mafragh où l'altitude s'élève à 569 m à Bougloub, pour atteindre les 739 m à Djebel Bou-Abed, puis s'abaisse à 367 m à Kef Medina. Il s'agit là d'une série de basses montagnes des monts de la Cheffia.

III.1.4. Les Hautes Montagnes (Djebels) :

1.4.1. Les Monts de la Cheffia :

Parallèlement à la chaîne des Monts de la Medjerda, les Monts de la Cheffia constituent une deuxième barrière topographique, mais plus modérée, d'orientation SW-NE où l'altitude varie entre 996 m à Bled Djemaat El Guerfi (Forêt de l'Oued Soudan), en allant vers le NE et 808 m à Djebel Souani, 659 m à Djebel Oum Ali et 463 m à Ras El Ourda. Elle est de l'ordre de 396 m à Kef Rhorf Dbeïa et ne dépasse pas les 179 m à Kef El M'kouz.

1.4.2. Les Monts de la Calle (El Kala) :

Les monts de la Calle font la continuité des Monts de la Cheffia à travers une zone de reliefs, sans lignes directrices bien marquées, découpés par les quatre vallées transversales (SSO-NNE), des oueds Cheffia, Bouhalloufa, Guergour et Bougous, tous tributaires de l'oued Kebir (haute Mafragh).

1.4.3. Les Monts de la Medjerdah :

Le long de la frontière algéro-tunisienne, les Monts de la Medjerda constituent une barrière topographique d'orientation SW-NE dont le point le plus élevé culmine à 1406 m (Djebel M'Sid). L'altitude s'abaisse progressivement vers le Nord-Est pour atteindre 1041 m à Djebel Dir, 1202 m à Kef Rokba « Ghorrat el Hammam » et 821 m à Kef Mzaza.

La ligne topographique de la Medjerda est la troisième barrière topographique qui longe le bassin versant dans sa partie sud. Elle porte des escarpements rocheux et son versant nord (Algérien) en pente forte, a un commandement de 500 m et plus. En revanche, Kef Rokba domine une topographie plane qui s'élève de 450 à 500 m sur l'ensemble des massifs de cette région. Elle recoupe les sommets des chaînons de direction SW-NE et crée à certains endroits de véritables plateaux comme celui où s'implante la forêt d'Ouerda. Cette topographie sommitale peut être suivie depuis les Monts de la Medjerda jusqu'au-dessus de la plaine d'Annaba et de la Mer méditerranée à El Kala. Elle s'incline régulièrement de 450-500 m à 170-180 m au Nord. Cependant, par endroits, elle reste dominée par des massifs comme le Djebel Oum Ali (659 m) et Souani (808 m). De plus, c'est dans cette topographie que les cours d'eau comme l'oued Bougous,

s'est encaissé. Il se crée alors toute une série de bassins internes parcourus par le réseau hydrographique (Affoun, 2006).

III.1.5. Le Cordon Dunaire :

Vers le nord, le massif dunaire constitue la limite nord du bassin versant de la Mafragh. Le long du littoral, un gros cordon dunaire s'étend depuis l'embouchure de la Seybouse jusqu'au Cap Rosa. Peu large et peu épais à l'Ouest, il se développe vers l'est où il atteint 120 m d'altitude et 7 à 8 km de large. Il constitue aussi une véritable barrière entre la plaine intérieure et la mer, ce qui gêne le drainage. Seul l'oued Mafragh est capable de la traverser, bien qu'il soit souvent obstrué en hiver. Des séries de ligne de dunes isolent la grande plaine de Annaba de la méditerranée. Leur point culminant (89 m) se trouve à 1300 m de la mer. Ainsi l'ensemble de la région dunaire dessine une pente plus raide vers la méditerranée que vers l'intérieur des terres. L'aire occupée par les dunes finit sur la mer par un abrupt de 40 m de haut à l'ouest de l'embouchure de la Mafragh. Vers l'Est, le réseau de dune se développe largement dans la zone du Cap Rosa allant d'une largeur de 1,5 km du côté Est de la Mafragh à 15 km vers El-Taref. Le massif dunaire est d'une longueur de 25 km depuis la Mafragh jusqu'à El-Taref.

IV. La géologie du terrain :

IV.1. Formations géologiques en faveur du réservoir aquifère du bassin versant :

Dans cette partie nous allons présenter quelques caractères généraux sur la géologie du bassin de l'oued Mafragh. Cette étude nous permet de différencier toutes les unités géologiques en fonction des paramètres lithologiques.

La zone d'étude fait partie de l'ensemble géologique du tell algérien, Nord oriental, elle est caractérisée par une géologie diversifiée.

Nous sommes appuyés sur des études antérieures notamment celle de Vila (1980) et Marre (1987) qui décrivent notre terrain d'étude.

Le chrono-stratigraphie de la région d'étude révèle des terrains géologiques d'âges différents allant du Secondaire au Quaternaire (Fig. 3).

IV.1.1. Stratigraphie

1.1.1. Secondaire

Cet étage est caractérisé par des formations marneuses, marno-calcaires et des schistes légèrement argileux avec des intercalations de calcaire, le secondaire affleure ainsi à l'Est du bassin versant de la Mafragh au niveau des monts Bousouaqui (Tunisie), Cheffia et enfin cap rosa par le crétacé supérieur.

1.1.2 Tertiaire

Il est défini par des formations Grésos-argileuses numidiennes couvrants d'ouest en Est particulièrement tous les secteurs de montagnes jusqu'à El Kala on distingue :

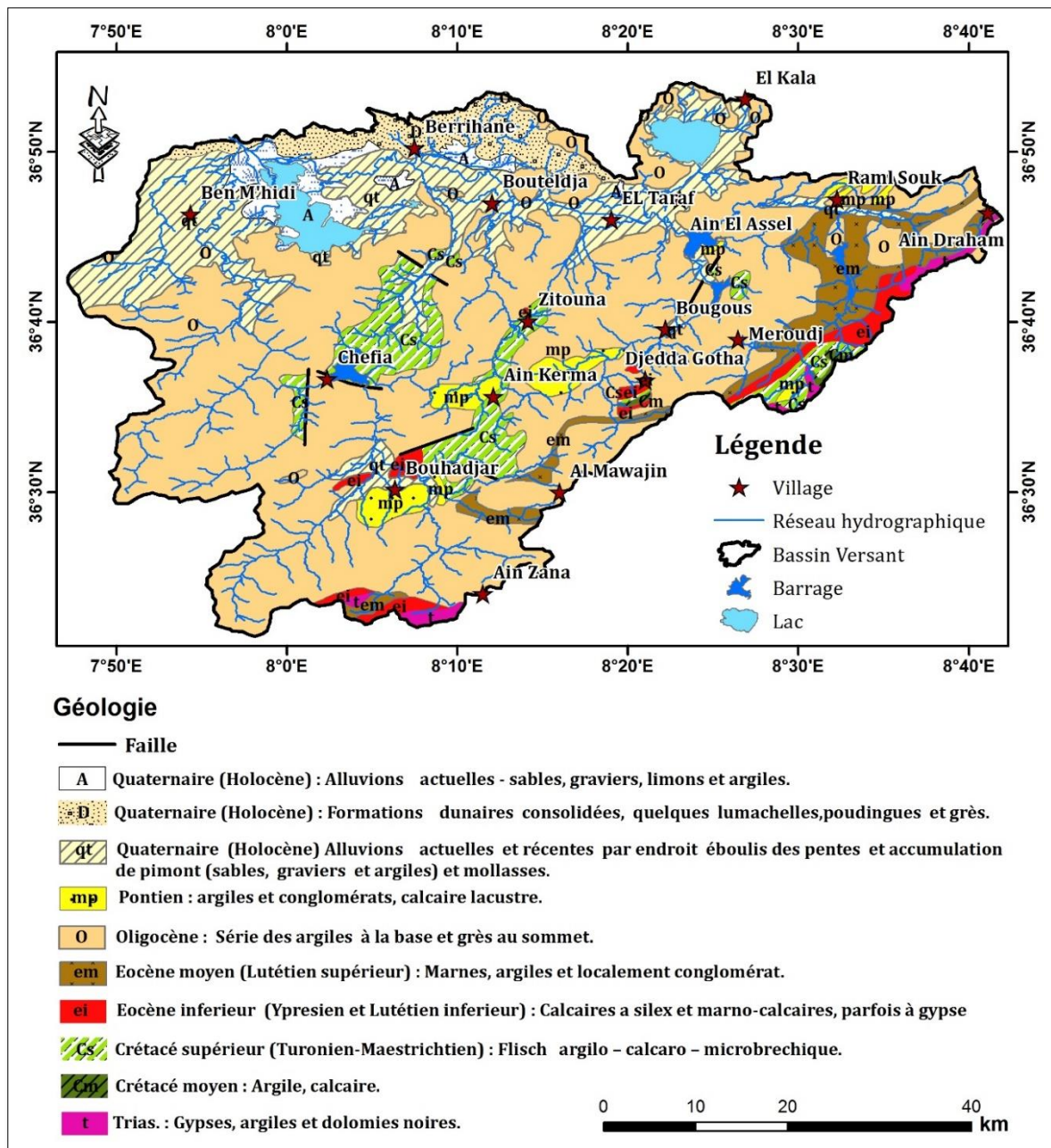


Figure 3. Carte géologique du bassin versant de la Mafragh (Villa, 1980)

- a. *Eocène inférieur* : Il affleure en une série transgressive de calcaire marneux à silex ou à bitume.
- b. *Eocène moyen* : Il est constitué de marnes argileuses et calcareuses de teinte foncée à rares intercalation de calcaires.
- c. *Eocène supérieur* : Il est caractérisé par des formations argileuses du Numidien de couleur rouge ou grise. Parfois sur la base verte à brunâtre d'où le nom des flyschs type Numidien limitant les alluvions des oueds avec des intercalations des bancs gréseux.
- d. *Oligocène* : Il est représenté par des argiles surmontées par des grès Numidiens avec des intercalations des petits bancs de grès quartzeux qui se définissent sur tous les reliefs des collines du flanc sud de la plaine d'El-Tarf et limitent les alluvions des oueds.

e. Pontien : Il est constitué par des argiles, des conglomérats et des calcaires lacustres.

1.1.3. Quaternaire

Les dépôts quaternaires sont largement répandus, ils sont constitués de limons, de sables et graviers sur les rives des oueds, les estuaires et les lacs.

- a. Quaternaire ancien* : Il caractérise les plaines de la région qui sont une vaste zone d'épandage de l'oued Bounamoussa et Kebir-Est. Il est marqué par un affaissement du littoral correspondant aux alluvions sableuses rencontrées dans les terrasses moyennes alluvionnaires situées au Sud-Ouest de Bouteldja et au centre de la plaine d'El-Taref.
- b. Quaternaire moyen* : Il est présent le long des versants des oueds, défini généralement par des matériaux alluvionnaires, des limons et des cailloux. On distingue :
 - *Pléistocène ancien* : Il définit les hautes terrasses et se caractérise par des formations alluvionnaires avec des cailloux roulés et des blocs de Grés Numidiens enrobés ensembles dans une matrice argileuse.
 - *Pléistocène moyen* : Il correspond aux moyennes terrasses qui traversent la région d'El-Taref jusqu'à Ain Assel et parfois les rives de l'oued Kebir-Est et qui sont constituées de cailloux roulés, de sables et de limons.
 - *Pléistocène récent* : correspond aux basses terrasses, aux versants des oueds et présente un grano-classement naturel défini par les galets à la base, surmontées par les graviers et à la surface se trouvent les sables et les limons.
- c. Quaternaire récent* : Il correspond aux dépôts alluvionnaires, sables cailloux et limons fins avec dominance d'argiles parfois canalisant ainsi les lits des oueds. Il caractérise la lagune marine du lac mellah et les deux autres dépressions marécageuses le lac Oubeira et le lac Tonga ainsi que les dunes littorales par des formations sableuses (Sadoune, 2012).
- d. Quaternaire actuel* : Il est défini par les dépôts alluvionnaires (sables, cailloux ...) qui constituent les lits des oueds avec des sables arables et les plages actuelles avec des sables marins.

IV.1.2. Tectonique et paléogéographie

Des monts gréseux argileux dits monts de la Cheffia couvrent la majorité de la partie sud du bassin et correspondent à des phénomènes orogéniques de régression de la mer du nord au sud durant le Miocène moyen d'où il y a eu aussi la sédimentation continentale en matériaux fluviatiles des principaux oueds alors que la phase de transgression précédente du Miocène inférieure n'a permis que la mise en place des nappes telliennes et le charriage de la nappe numidienne.

Ainsi en période de fin régression et retrait total de la mer un enfoncement progressif des grès numidiens et un remplissage des plaines El-Taref, et d'Annaba en matériaux détritiques d'âge paléo-quaternaire.

Ainsi, un effondrement de ces plaines est marqué par l'existence de deux fosses séparées par l'élévation de Daghoussa.

- Fosse de Ben Ahmed d'orientation Sud-Nord.
- Fosse de Ben M'hidi de direction Sud-Ouest et Nord-Est.

Finalement un golfe au Mio-pliocène plonge le long des grandes vallées et présente des matériaux du quaternaire récent caractérisant le cordon dunaire et les lacs de la région (Labar, 2003)

Ces phénomènes multiples orogéniques et de morphogénèse ont permis des contacts par faille de plusieurs directions :

- Contact entre les oueds Seybousse et Bounamoussa par faille de direction NE-SW
- Contact au niveau du cap Rosa par faille de direction NW-SE
- Les failles par contact de Bouteldja et El-Taref de direction générale NW-SE

V. Aperçu Hydrogéologiques :

Après avoir fait la connaissance de la nature géologique des différentes formations qui constituent le bassin versant de l'Oued Mafragh, nous décrivons ci-dessous les différentes formations aquifères et nous tenterons d'appréhender la géométrie des principales nappes exploitées par de nombreux ouvrages de captage.

Le système hydrogéologique de la Mafragh (Fig. 4) peut être schématisé de la façon suivante (Derradji, 2004) :

- Des aquifères superficiels exploités en grande partie par des puits domestiques et dont la lithologie varie d'une zone à l'autre.
- Des nappes profondes reconnues par les forages profonds.

V.1. Les Différentes Nappes du Système Aquifère du Bassin Versant de la Mafragh :

V.1.1. Plaines d'El Asfour :

Le bassin d'El Asfour correspond à une plaine alluviale avec un fond parfaitement plat.

1.1.1. La Nappe Semi-captive :

La Nappe semi-captive repose sur un substratum imperméable argileux par endroit et limoneux par d'autres. Les sables argileux forment le toit semi-captif de la nappe, et les graviers constituent le réservoir de cette nappe avec une épaisseur qui varie de 15 à 20 m.

1.1.2. La Nappe superficielle :

Cette nappe est contenue dans les cailloutis, entre cette nappe alluviale et celle des graviers se forme un horizon sablo-argileux semi-perméable. Dans certaines zones de la plaine, les deux nappes sont totalement confondues en une seule à surface libre. L'alimentation et le drainage de la nappe sont en étroite liaison avec l'Oued Bounamoussa (Labar, 2003).

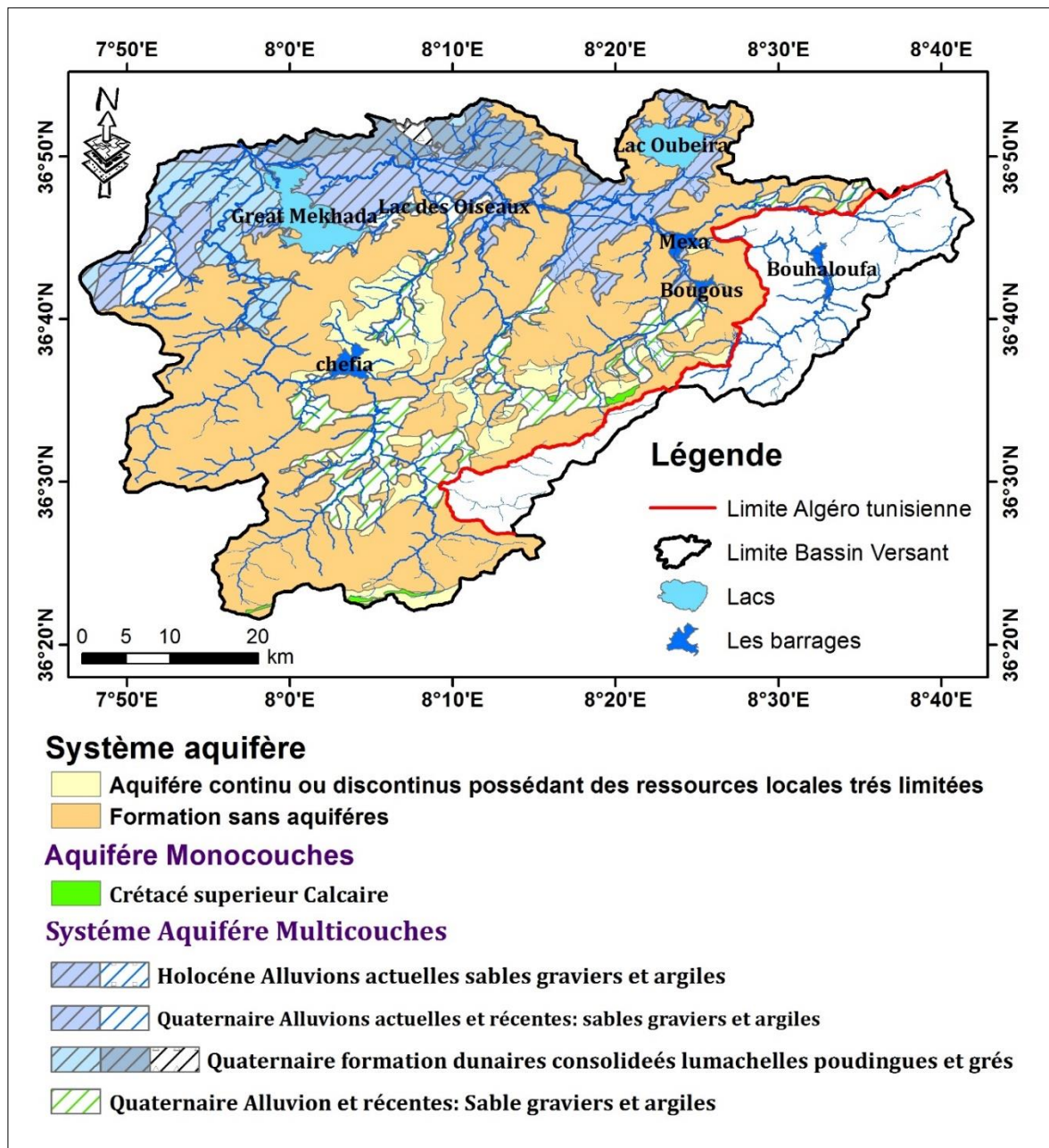


Figure 4 : Carte hydrogéologique du bassin versant d'Oued Mafragh (ANRH, 2008)

V.1.2. La Plaine de Boutheldja :

1.2.1. La Nappe Libre du Massif Dunaire :

Le long du littoral, un énorme massif dunaire s'amplifie de l'Ouest vers l'Est, il prend alors une orientation NW-SE conforme aux vents dominants. Le massif dunaire de Bouteldja est essentiellement constitué de sables éoliens qui forment une nappe libre, avec des épaisseurs comprises entre 20 et 120 m et l'existence d'intercalations des lentilles argileuses qui correspondent à d'anciens fonds de marais. La nappe libre du massif repose sur un substratum argilo-gréseux imperméable à semi perméable. Elle est alimentée par les précipitations atmosphériques, le ruissellement à partir des pentes favorables des formations numidiennes et en fin les affluents de l'oued El Kébir Est (Khérici, 1993 ; Aoun Sbaiti, 2010).

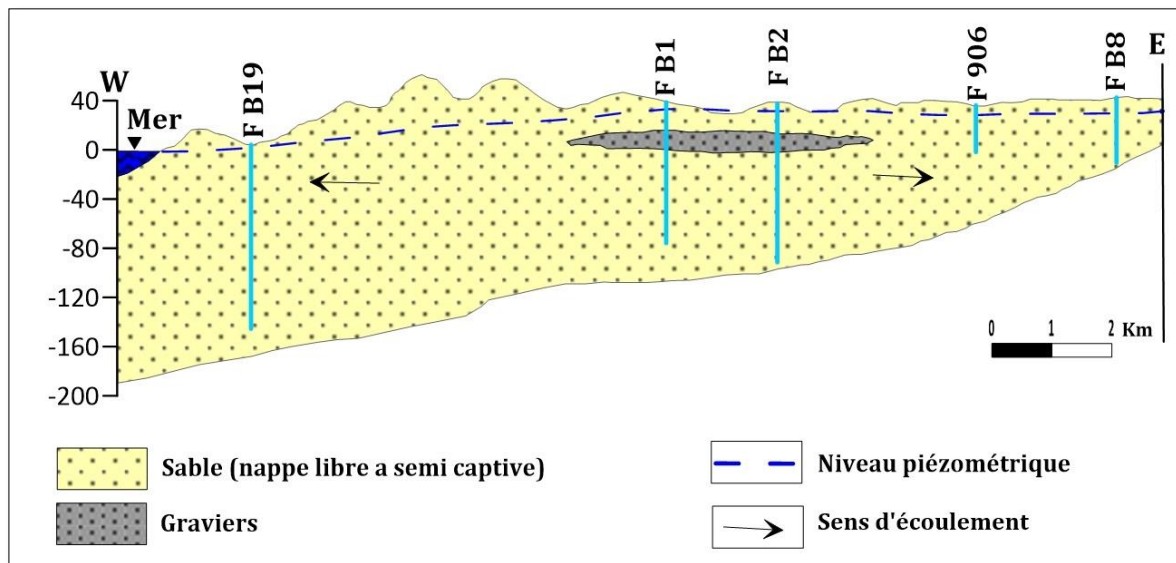


Figure 5 : Coupe hydrogéologique du massif dunaire de Bouteldja (Energo -project enhyd, 1992).

1.2.2. Nappe captive :

Selon la coupe hydrogéologique dans la plaine de Boutheldja, il s'avère qu'il y a un contact entre les sables dunaires et les graviers par passage latéral de faciès qui induit des variations des caractères hydrochimiques, car la nappe du massif dunaire se décharge dans la nappe des graviers. Cette dernière repose sur une couche argileuse assurant l'étanchéité du substratum. Elle est constituée de graviers, galets et sables d'origines gréseuses issus des formations numidiennes, avec des passages de marnes, le tout est surmonté par une couche argilo-limoneuse qui constitue le toit de la nappe captive (Fellah, 1998). Selon la morphologie de l'aquifère, l'épaisseur varie de 50 à 150 m. La productivité d'un forage de cette nappe est de 7,0 - 35 l/s.

1.2.3. Nappe superficielle :

Elle se distingue dans les formations argilo-sableuses et limoneuses et dans les argiles compactes avec un passage latéral de sables fins, d'une épaisseur allant de 40 à 50 m. L'alimentation de cette nappe s'effectue par les eaux de pluie et l'Oued Kébir Est selon la carte de fluctuation piézométrique. L'amplitude est de l'ordre de 2.5 m au Sud de la plaine, due probablement au drainage de la nappe par l'oued Boulathane et le lac des Oiseaux car dans cette zone les puits ont une faible influence sur la nappe. Au centre de la plaine une fluctuation de 2 à 2.5 m due à l'influence des puits et des forages.

V.1.3. La Plaine d'El-Taref :

1.3.1. Nappe profonde :

Cette nappe s'étend de l'Est vers l'Ouest avec un substratum marneux et un toit argileux d'épaisseur importante, le réservoir est constitué de galets et de graviers. La puissance de la nappe varie suivant la morphologie du substratum de 5 à 15 m. La productivité d'un forage de cette nappe est de 4 à 10 l/s (ENERGO Project ENHYD, 1992).

1.3.2. Nappe superficielle :

Elle couvre la totalité de la plaine d'El-Taref, elle est contenue dans les formations alluvionnaires et les argiles plus au moins sableuses, elle est séparée de la nappe captive par un horizon argileux qui constitue le toit de la nappe captive et le substratum de cette nappe. Ce sont les précipitations efficaces qui alimentent cette nappe. Au centre de la plaine la fluctuation est très importante avec une amplitude maximale de 4.5 m, cela est dû à l'exploitation par de nombreux puits, en allant vers le Nord de la plaine la fluctuation diminue ; ceci est peut-être dû au drainage des oueds : Kébir-Est et Messida par la nappe. Par ailleurs au Sud-Ouest de la plaine la fluctuation varie de 1.5 à 2.5 m cela est dû à l'alimentation de la nappe par oued Guergour.

V.1.4. Nappe de la Plaine d'Annaba :

En réalité les nappes de la plaine d'Annaba sont des nappes qui chevauchent les deux bassins la Mafragh et la Seybouse. Un examen cartographique nous a permis d'estimer que plus de 60 % de la surface géographique des nappes de la plaine d'Annaba se localise dans le bassin de la Mafragh, sachant que la circulation des eaux souterraines n'obéit à aucune limite géographique.

1.4.1. Nappe des alluvions récentes et actuelles (superficielle) :

Cette nappe couvre la majorité de la plaine d'Annaba, soit une superficie de 320 km². Elle est contenue dans les alluvions récentes et actuelles à texture argilo sableuse, argilo-limoneuse ou sablo-argileuse avec quelques lentilles de sables.

1.4.2. Nappe des graviers (profonde) :

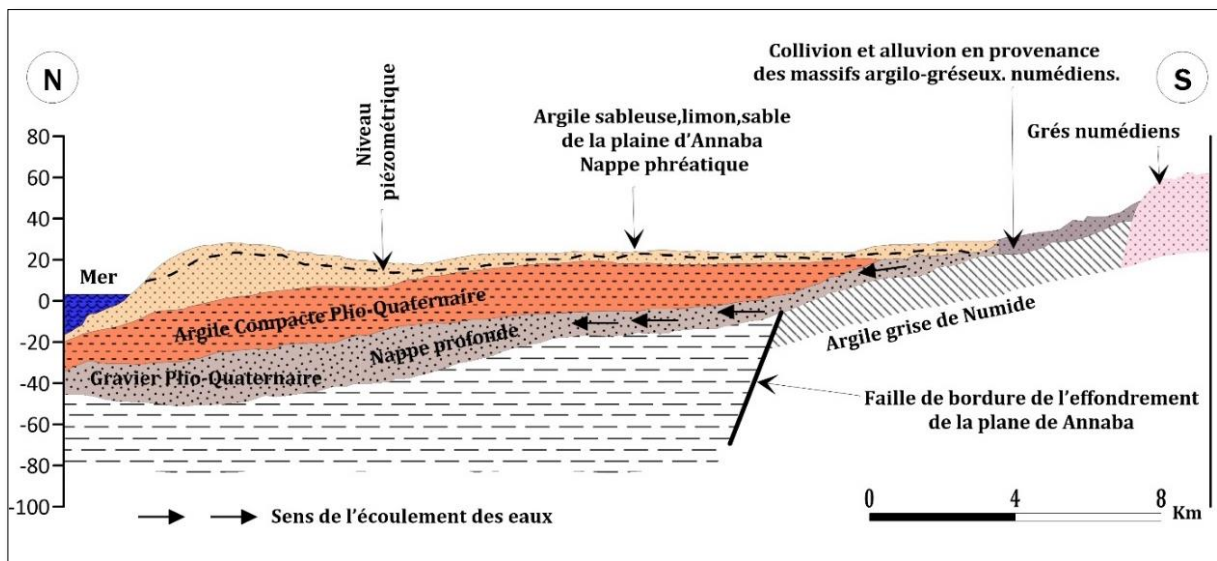


Figure 6 : Coupe schématique du système aquifère d'Annaba la Mafragh. (Derraji, 2004)

Cette nappe est située en dessous de l'aquifère superficiel (Fig. 6), elle s'étend sur toute la superficie de la plaine. Contenue dans les graviers, sables et galets plio-quaternaires et encaissée dans un bassin d'effondrement. L'épaisseur de l'horizon aquifère est variable de 2 à 70 m d'Ouest en Est et du Sud vers le Nord. Son toit est perméable, semi-perméable à imperméable formé de

sables argileux, d'argiles sableuses ou d'argiles. A travers ce toit intervient le phénomène de drainance dans la zone centrale.

VI. La Climatologie :

L'étude des caractéristiques climatiques d'un bassin versant est nécessaire pour la connaissance du comportement hydrologique de ses cours d'eau. Pour cela, l'élaboration du bilan hydrique est indispensable pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences d'un système hydraulique de surface d'une région donnée.

Lors de l'élaboration de cette étude hydroclimatique, on s'est basé sur les données climatiques de la station « El-Taref » couvrant une période d'observation de 21 ans.

VI.1. Les facteurs climatiques :

VI.1.1. Précipitation :

Le terme précipitation désigne tout type d'eau qui tombe du ciel, sous forme liquide ou solide.

Cela inclut la pluie, la neige, la grêle, ... etc. La précipitation est un facteur très important, qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement sur le régime des cours d'eaux et l'alimentation des nappes aquifères.

Notre région d'étude est classée parmi les régions les plus pluvieuses dans notre pays l'Algérie et pour l'interprétation des données pluviométriques, nous avons utilisé des séries de précipitation allant de 1997 jusqu'aux 2018 soit 21 ans d'observation.

1.1.1. Les précipitations mensuelles :

La précipitation moyenne mensuelle nous permet de donner un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations en se basant sur des calculs de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré pour un nombre d'années quelconques. Le tableau 1 donne la répartition mensuelle au niveau de station d'El-Taref.

Tableau 1 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) à la station d'El-Taref (1997_2018)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
P (mm)	55.88	64.75	104.77	120.27	110.84	90.32	75.50	65.19	45.69	12.29	6.30	13.85

L'observation du Tableau, montre que les mois les plus pluvieux vont du mois de Septembre jusqu'au mois d'Avril. Les mois les plus secs sont Juin, Juillet et Août.

Pour mettre en évidence la variation mensuelle des précipitations, nous avons réalisé un histogramme montrant la variation mensuelle des précipitations.

L'histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Fig. 7) réalisé pour la station d'El-Taref montre une hétérogénéité importante des précipitations d'un mois à l'autre, le mois le plus pluvieux de l'année est le mois de Décembre ou on a enregistré un maximum de l'ordre de 120.27 mm, tandis que le mois de juillet est le mois le moins pluvieux auquel on marque un minimum de l'ordre de 6.30 mm.

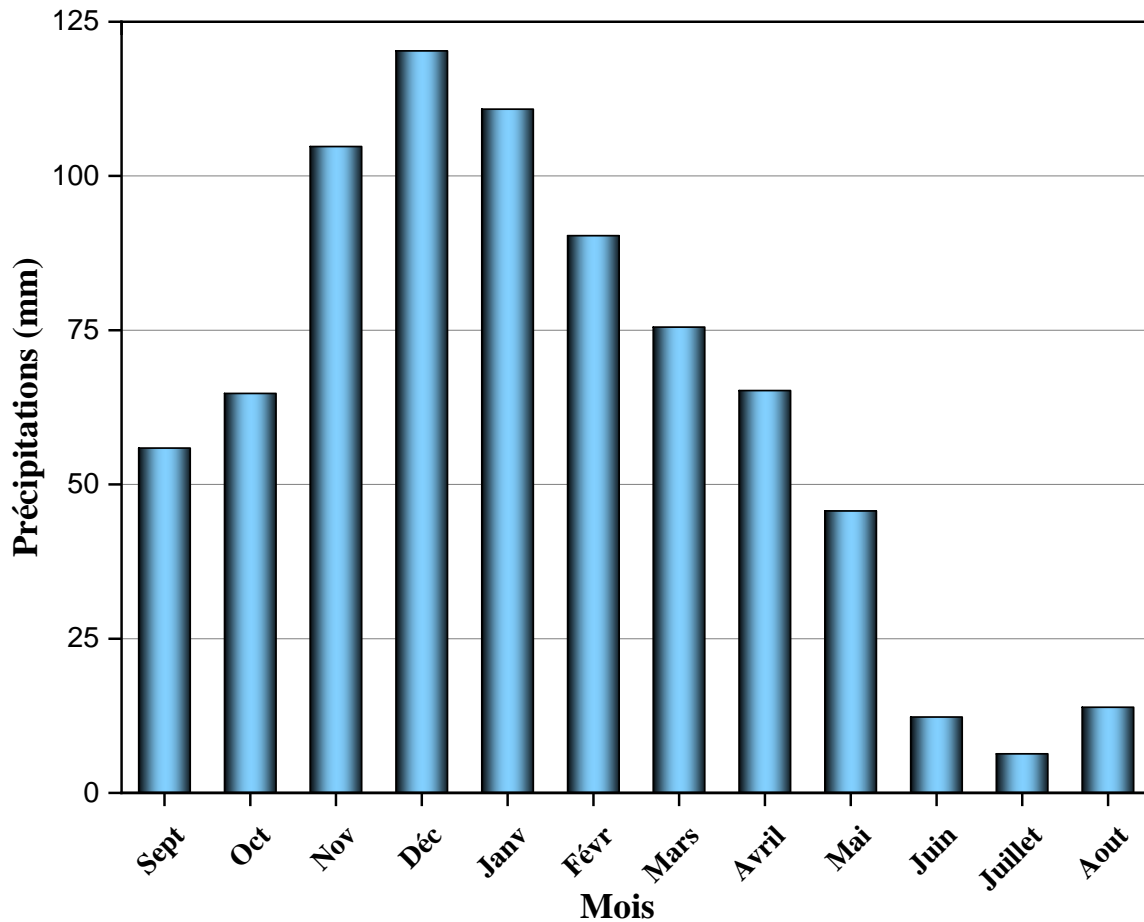


Figure 7 : Variations mensuelles des précipitations à la station d'El-Taref

1.1.2. Précipitation annuelles :

Les hauteurs des pluies moyennes annuelles enregistrées par la station d'El-Taref pour 21 ans d'observations sont comme suite :

Tableau 2 : variations annuelles des précipitations à la station d'El-Taref

Années	Précipitation annuelles (mm)
1997-1998	728.74
1998-1999	679.99
1999-2000	476
2000-2001	564.63
2001-2002	439.47
2002-2003	962.77
2003-2004	853.31
2004-2005	840.07
2005-2006	706.93
2006-2007	676.25
2007-2008	698.85

Années	Précipitation annuelles (mm)
2008-2009	1020.28
2009-2010	793.05
2010-2011	910.49
2011-2012	1046.42
2012-2013	765.25
2013-2014	786.63
2014-2015	903.3
2015-2016	802.68
2016-2017	642.22
2017-2018	781.38

Selon l'histogramme (Fig. 8) on remarque que l'année pluvieuse est l'année 2011/2012 avec une valeur de l'ordre de 1046.42 mm, par contre l'année 2001/2002 est marquée par des faibles précipitations (439.47 mm).

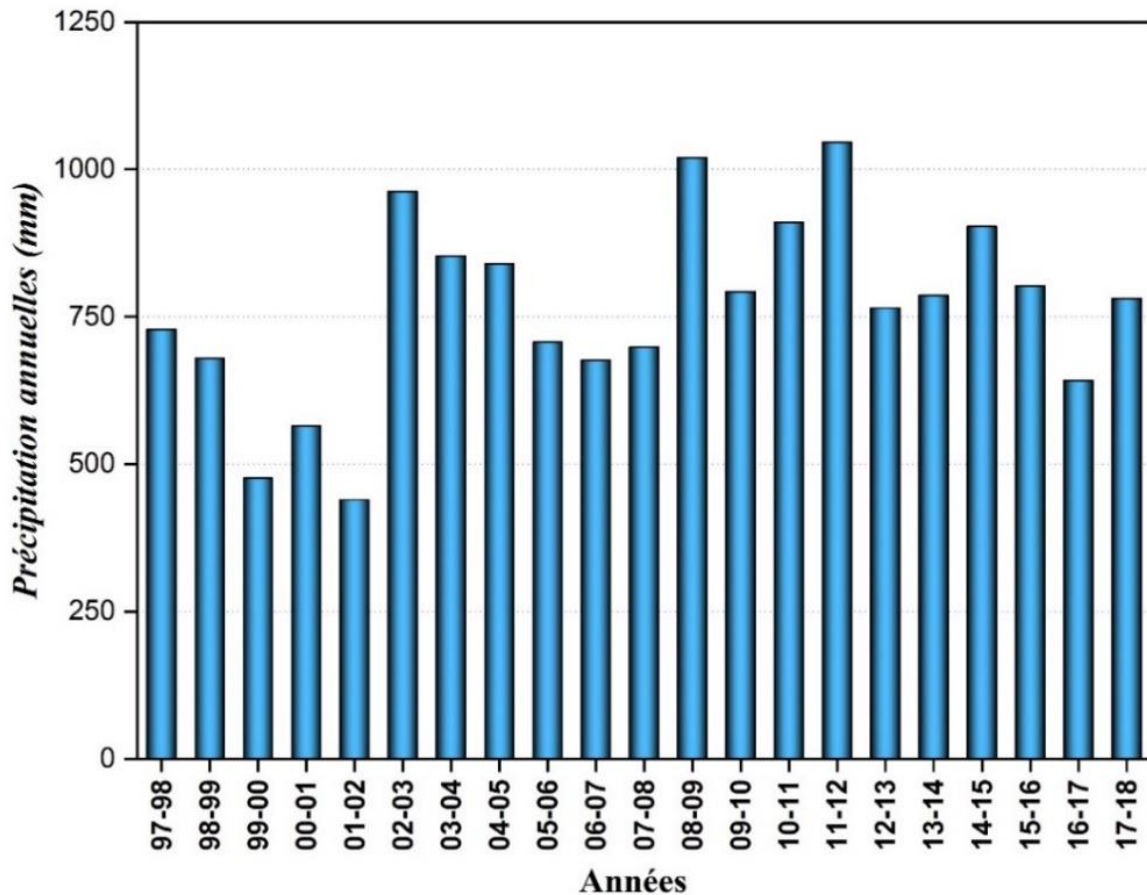


Figure 8 : variations des précipitations moyennes annuelles de la station d'El-Taref

1.1.3. Coefficient pluviométrique :

C'est un paramètre climatique très important, définit comme étant le rapport de la pluviométrie d'une année à une pluviométrie moyenne pour une période de n années. Il permet de déterminer pour une station donnée si l'année est excédentaire ou déficitaire. L'année est excédentaire (AE) si $H > 1$, et si $H < 1$, l'année correspondante est déficitaire (AD).

$$H = \frac{P}{P_{moy}}$$

Avec :

H : coefficient pluviométrique

P : Pluviométrie annuelle de l'année en (mm).

P_{moy} : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

D'après le tableau ci-dessous concernant les résultats du coefficient pluviométrique nous remarquons qu'il y a 9/21 années déficitaires et 12/21 années excédentaires.

Années excédentaires : 2002-2003, 2003-2004, 2004-2005, 2008-2009, 2009-2010, 2010-2011, 2011-2012, 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016, 2017-2018

Années déficitaires : 1997-1998, 1998-1999, 1999-2000, 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003, 2005-2006, 2006-2007, 2007-2008, 2016-2017.

Tableau 3 : Valeurs du coefficient pluviométrique (1996/2018)

Années	Précipitations annuelles (mm)	H	Observations
1997-1998	728.74	0.95	AD
1998-1999	679.99	0.89	AD
1999-2000	476	0.62	AD
2000-2001	564.63	0.74	AD
2001-2002	439.47	0.57	AD
2002-2003	962.77	1.26	AE
2003-2004	853.31	1.11	AE
2004-2005	840.07	1.10	AE
2005-2006	706.93	0.92	AD
2006-2007	676.25	0.88	AD
2007-2008	698.85	0.91	AD
2008-2009	1020.28	1.33	AE
2009-2010	793.05	1.04	AE
2010-2011	910.49	1.19	AE
2011-2012	1046.42	1.37	AE
2012-2013	765.25	1.00	AE
2013-2014	786.63	1.03	AE
2014-2015	903.3	1.18	AE
2015-2016	802.68	1.05	AE
2016-2017	642.22	0.84	AD
2017-2018	781.38	1.02	AE

VI.1.2. Température :

La température est le second facteur important dans l'étude climatique, car elle agit directement sur le phénomène de l'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les températures utilisées se rapportent à la station (El-Taref) durant 21 années d'observation (1997-2018).

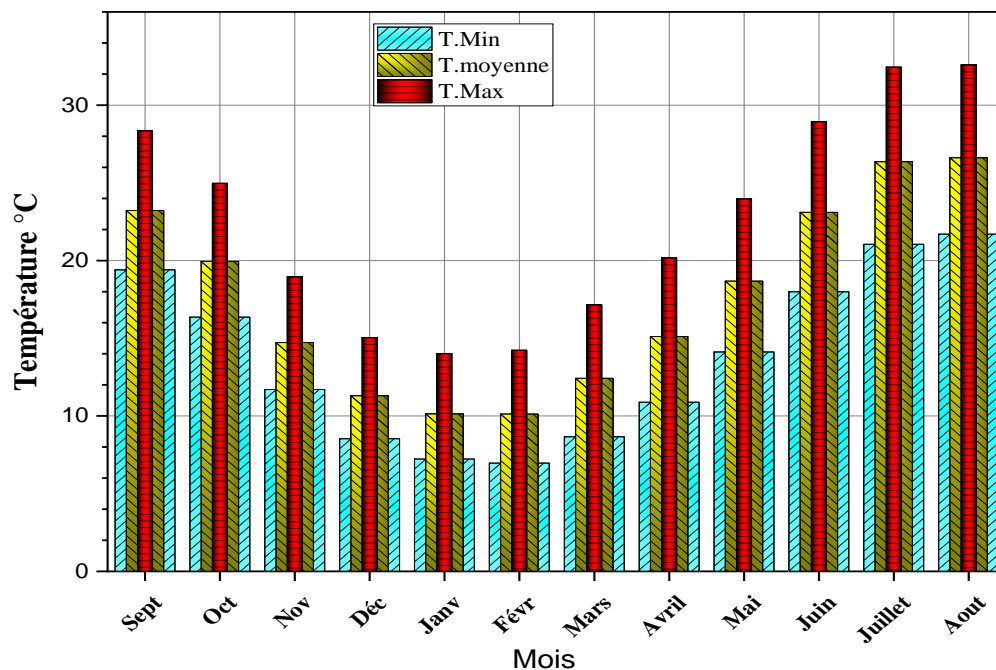


Figure 9 : Variations mensuelles des températures à la station d'El-Taref (1997-2018)

L'histogramme (Fig. 9), montrent les variations des moyennes mensuelles et annuelles des températures. Nous remarquons que les faibles températures sont mesurées au cours des mois de Décembre, de Janvier, de Février et de Mars, les températures moyennes minimales s'observent au mois de Février de l'ordre de 6.9°C, tandis que les plus fortes valeurs caractérisent les mois de Juin, de Juillet et d'Août avec une valeur maximale de 32.45°C au mois d'Aout.

VI.1.3. Humidité de l'air :

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de vapeur saturante à la même température. Le Tableau 4, montre seulement les moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air pour la station météorologique El Kala pour une période de 20 ans (90/91-09/10).

Dans la zone d'étude et dans la région d'El Kala en général le degré humidité relative est très élevé autour de 70 % le long de l'année. Il est presque constant avec une moyenne de 70.54 % le maximum est observé en Janvier 74.13 % et le minimum en Juillet 67.24 % Il est faible au cours de l'année.

Tableau 4 : Variations mensuelles de l'humidité de l'air à la station d'El Kala (1990-2010)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Moy
Humidité (%)	70.32	68.07	69.26	72.36	74.13	73.51	73.20	70.98	70.49	69.34	67.24	67.57	70.54

VI.1.4. Le vent :

Les vents ont un effet important sur les phénomènes d'évaporation, de précipitation et à un degré moindre sur les températures. Le Nord Est Algérien, est dominé par des vents de direction Nord à Sud-Ouest avec une dominance secondaire de secteur Nord à Nord-Est À la région d'étude, Selon les données des stations météorologiques d'El Kala pour une période de de 20 ans (90/91-09/10). La vitesse moyenne est de l'ordre de 2,68m/s.

Tableau 5 : Vitesses des vents moyennes mensuelles et annuelles pour la station d'El Kala (90/91-09/10)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Moy
Moy (m/s)	2.15	2.59	2.975	3.06	3.16	3.12	3.255	3.07	2.54	1.95	2.105	2.165	2.68

VI.1.5. L'indice d'aridité (l'indice de De Martonne) :

Il est défini par la relation suivant : $I = \frac{P}{T+10}$

I : précipitation annuelle moyenne (mm)

T : température annuelle moyenne (C°)

Selon DE MARTONNE :

- $I > 30$: climat humide (l'écoulement est abondant).
- $20 < I < 30$: climat tempéré.
- $10 < I < 20$: climat semi-aride.

- $5 < I < 10$: climat désertique.
- $I < 5$: climat hyper aride.

Pour la station d'El-Taref on trouve $I = 27.70$ ce qui correspond à un climat tempéré.

VI.2. Bilan hydrique :

Le bilan hydrologique a pour but principal d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la région d'étude, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, ruissellement et évapotranspiration).

VI.2.1. Calcul du bilan hydrique selon la formule de CW Thornthwaite :

Cette méthode est basée sur la notion de **RFU** (réserve en eau dans le sol facilement utilisable par les plantes). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 100 mm au maximum.

La méthode de Thornthwaite nous permet à partir des données de base (précipitation, température ($T^{\circ}\text{C}$), le coefficient thermique mensuel (K) et l'indice thermique mensuel (i)) de calculer l'évapotranspiration potentielle selon la relation suivante :

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \cdot K$$

où $I = \sum i = \sum \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$ et $a = 0.016I + 0.5$

Avec :

T : Température moyenne annuelle $^{\circ}\text{C}$.

i : Indice thermique mensuel.

I : Somme des indices mensuels.

ETP : Evapotranspiration potentiel mensuelle en mm.

K : terme correctif dépend de la durée d'insolation.

Les résultats de calculs effectués selon cette méthode sont reportés dans le tableau.

Tableau 6 : Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite (station d'El-Taref 1997-2018)

Période	T ($^{\circ}\text{C}$)	i	K	ETPC (mm)	Pr (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	23.22	10.23	1.03	107.16	55.88	0.00	55.88	51.28	0.00
O	19.94	8.12	0.97	76.12	64.75	0.00	64.75	11.37	0.00
N	14.72	5.13	0.86	38.47	104.77	66.30	38.47	0.00	0.00
D	11.30	3.44	0.81	22.21	120.27	100.00	22.21	0.00	64.36
J	10.13	2.91	0.87	19.48	110.84	100.00	19.48	0.00	91.36
F	10.12	2.91	0.85	19.00	90.32	100.00	19.00	0.00	71.32
M	12.42	3.97	1.03	33.64	75.50	100.00	33.64	0.00	41.86
A	15.11	5.34	1.10	51.65	65.19	100.00	51.65	0.00	13.54
M	18.67	7.35	1.21	84.06	45.69	61.63	84.06	0.00	0.00
J	23.10	10.15	1.22	125.72	12.29	0.00	73.92	51.80	0.00
J	26.36	12.39	1.24	163.16	6.30	0.00	6.30	156.86	0.00
A	26.61	12.57	1.16	155.33	13.85	0.00	13.85	141.48	0.00
Année	17.64	84.48		895.99	765.65		483.21	412.79	282.44

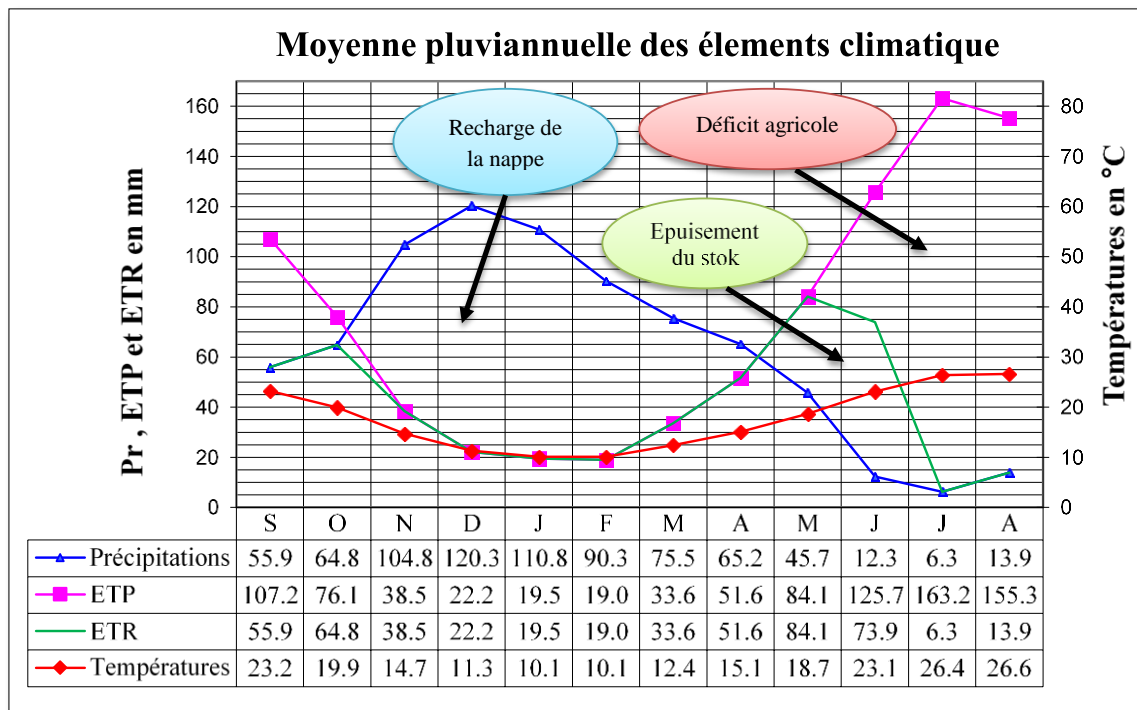


Figure 10 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite à la station d'El-Taref (1997-2018)

Ce graphe (Fig. 10) montre que l'évapotranspiration maximale a été observée pendant le mois de juillet pour une valeur de 163.2 mm, ce qui produit un déficit agricole et nécessite une irrigation pour les zones agricoles. Par contre, on observe une recharge de la nappe à partir du mois de novembre, pour atteindre son maximum 100 mm.mois⁻¹ jusqu'au mois d'avril, Lorsque la recharge dépasse la RFU, le surplus d'eau va partir soit sous forme du ruissellement, soit sous forme d'infiltration vers la nappe.

VII. Conclusion

Il ressort que le bassin de la Mafragh est défini par la prédominance des ensembles morphostructuraux suivants :

- La nappe Numidienne caractérisée par les grès Numidiens et qui longe toute les collines de la vallée Mafragh.
- Les formations récentes d'âge quaternaires qui remplissent les bas-fonds des collines, les basses plaines et les zones plates du bassin, favorisent la stagnation des eaux superficielles, ce qui permet en périodes pluvieuses l'apparition de surfaces d'eaux stagnantes temporaires. Evidemment, du point de vue hydrogéologique et hydrologique d'importants aquifères se localisent dans les formations récentes.

L'étude hydrogéologique du bassin de la Mafragh a mis en évidence l'existence d'un important réservoir d'eau souterraine contenue surtout dans les formations alluvionnaires (galets, graviers, sable, avec parfois des intercalations argileuses). Cet ensemble est divisé en fait en plusieurs nappes dont les plus importantes :

- 1- Un système aquifère constitué du massif dunaire de Boutheldja d'une superficie de près de 180 km² et d'une plaine alluviale résultant des dépôts de l'Oued Kébir-Est et ses affluents d'une superficie de 20 km².
- 2- Au Sud, le passage latéral aux graviers de la plaine de Boutheldja est marqué par de nombreux marécages (nechaats et garaas) d'une superficie de 15 km².
- 3- En ce qui concerne la plaine de Annaba d'une superficie de près de 320 Km², elle est caractérisée par :
 - Une nappe superficielle exploitée en grande partie par des puits domestiques.
 - Une nappe profonde, reconnue par les forages profonds.

L'analyse des données climatiques d'une série d'observation de 21 ans a permis d'attribuer à la région d'étude un climat méditerranéen avec deux périodes bien distinctes :

- Une période chaude et sèche (de Mai à Septembre)
- Une période froide et humide (d'octobre à Avril).

La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de (765.65mm) de la station El-Taref, le bassin de la Mafragh est parmi les régions les plus arrosées en Algérie et la température moyenne annuelle est de 17.64°C. L'humidité relative est élevée autour de 70 % le long de l'année.

L'estimation du bilan d'eau par la méthode de Thornthwaite a montré qu'à partir du mois de novembre, l'apport considérable des pluies, la chute de température et la diminution de l'évapotranspiration permettent la recharge du sol mais un déficit agricole enregistré à partir du mois de juin jusqu'au mois d'octobre, et à partir du mois de mai jusqu'au mois de septembre c'est la période des basses eaux et c'est également la saison durant laquelle on irrigue.

A decorative rectangular border with ornate floral and scrollwork patterns in each corner, framing the central text.

Chapitre II

Matériels et méthodes

Chapitre II : Matériels et méthodes

I. Introduction :

Dans cette partie, nous allons présenter les différentes méthodes de traitements des images satellitaires, les formules numériques pour déterminé les caractéristique morphométrique et la méthode de réalisation de la carte d'occupation de sol et du risque d'érosion et le traitement des résultats par utilisation de l'outil informatique. Ainsi la préparation des analyses hydrochimique et leur méthode d'interprétation.

II. Matériels

II.1. Les données satellitaires

II.1.1. Les images (MNT)

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation 3D de la surface d'un terrain ou d'une planète, créée à partir des données d'altitude de terrain. Le MNT ne prend pas en compte les objets présents à la surface du terrain tels les plantes et les bâtiments.

Ces données altimétriques du Modèle Numérique de Terrain ont été utilisées afin de réaliser la carte des pentes, la délimitation du bassin versant et la détermination du réseau hydrographique drainant le bassin versant.

II.1.2. Les images satellitaires (Sentinel-2) :

Afin d'étudier l'occupation de sol de notre zone d'étude, nous avons analysé deux scènes « LIC-T32Lf » et « LIC-T32MF » de l'image sentinel-2. Ces deux scènes sont prises pour la date (10/03/2019), chacune contient 13 bandes multispectrales, mais seulement 4 bandes à 10 m de résolution ont été utilisées, dont trois bandes dans le visible (B2 : Bleu, B3 : Vert et B4 : Rouge) et une bande dans l'infrarouge (B8 : PIR).

II.1.3. Les images Google Earth :

Un jeu de données a été utilisé pour la mise en place de la cartographie de l'occupation du sol pour les dates les plus récentes. En effet, les images satellitaires de Google Earth de très haute résolution (Images Digital Globe) ont permis de digitaliser les lacs et les barrages. Elles ont aussi servi pour la vérification et la correction des réseaux hydrographique.

II.2. Les logiciels utilisés :

II.2.1. ArcGis 10.3 :

Est un logiciel de la firme ESRI, leader mondial des SIG. La version la plus simple du logiciel « Arc Gis desktop », « Arc View » comprenant les applications « Arc Catalog », « Arc Map », « Arc Toolbox ». Ainsi que l'extension « Spatial Analyst ». A l'aide de ces applications, on peut effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géotraitement.

ArcMap représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Elle se subdivise en deux interfaces : visualisation et traitement des données géographiques dans la fenêtre « data view » et mise en page de carte dans la fenêtre « layout view ».

II.2.2. Google Earth Pro :

Est un logiciel, propriété de la société Google, permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage de photographies satellitaires. Ce logiciel permet à tout utilisateur de survoler la Terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Selon les régions géographiques, les informations disponibles sont plus ou moins précises. Ainsi un habitant d'une métropole peut localiser son restaurant préféré, obtenir une vue en 3D des immeubles de la métropole, alors que la résolution des photos d'une bonne partie de la Terre est très faible. La couverture, d'après Google, devrait s'améliorer rapidement.

II.2.3. Origin :

Origin est un logiciel de traitement et d'analyse de données scientifiques pour environnement microsoft Windows développé par OriginLab. Il permet notamment de tracer des graphes 2D et 3D et possède des fonctions d'analyse de pics. Il est aussi capable d'importer des fichiers de divers formats tels que Excel, ASCII, Mathematica ou sigmaplot, et d'exporter les graphes en format JPEG, GIF, TIFF ... etc.

II.2.4. Diagramme :

C'est un logiciel d'hydrogéochimie qui aide à vérifier la fiabilité des analyses chimiques par le calcul de la balance ionique, et des paramètres géochimiques (rapports caractéristiques et les indices de saturation) et de réaliser des diagrammes hydrochimiques (Piper, Schoeller, Reverside, ... etc.). (Bouklab ; Chekirou, 2017)

II.2.5. PhreeqcI v 2.15 (Parkhurst and Appelo, 1999)

C'est un logiciel de modélisation thermodynamique qui fait la simulation à l'évaporation naturelle de l'eau (température de l'échantillon). Il fait des calculs des indices de saturation ($IS = \log(Q) / \log(Kps)$) des minéraux dissous dans l'eau (en utilisant la loi de Debye-Huckel).

III. Méthodes :

Les délimitations manuelles des bassins versants sur les cartes topographiques et les analyses morphométriques classiques ont été les toutes premières mesures quantitatives utilisées pour cerner la géomorphologie des bassins versants. Ces analyses sont le préambule à de nombreuses études hydrologiques. Aujourd'hui l'outil informatique permet d'entreprendre aisément ces différentes manipulations permettant la délimitation des bassins versant, la mesure de la géométrie, de l'hypsométrie, des pentes ou de l'organisation du réseau hydrographique. A cet effet, ArcGis fournit des outils intéressants de calculs et de mesures hydromorphologiques à partir des cartes MNT.

III.1. La modélisation hydrologique :

III.1.1. Délimitation du bassin versant

Le bassin versant est défini comme la surface parcourue par un cours d'eau et ses affluents. Un cours d'eau prend généralement naissance dans une zone à reliefs et draine la surface topographique. Les écoulements convergent vers la section la plus basse du cours d'eau appelée exutoire.

C'est pourquoi le contour du plan d'eau est transformé en points espacés, qui correspond à la résolution du MNT. A chaque point sera associé un « sous bassin versant », l'ensemble des sous-bassins formant le bassin versant total du plan d'eau.

Pour être délimité, le bassin versant topographique n'a théoriquement besoin que d'un exutoire, à partir duquel les géotraitements permettent de remonter les lignes de plus grande pente et de dessiner les lignes de crêtes (Fig. 11).

Parallèlement le MNT a subi le traitement de remplissage pour donner un modèle hydrologique correct (outil « *Fill* »), puis les directions de flux ont été calculées. Le sous-bassin versant est ensuite calculé pour chaque point de contour en utilisant l'outil « *Watershed* » de la « *ToolBox ArcGis / Spatial Analyst / Hydrology* ». Ces sous bassins versants sont transformés en polygones puis agrégés avec la surface du plan d'eau pour former un bassin versant global.

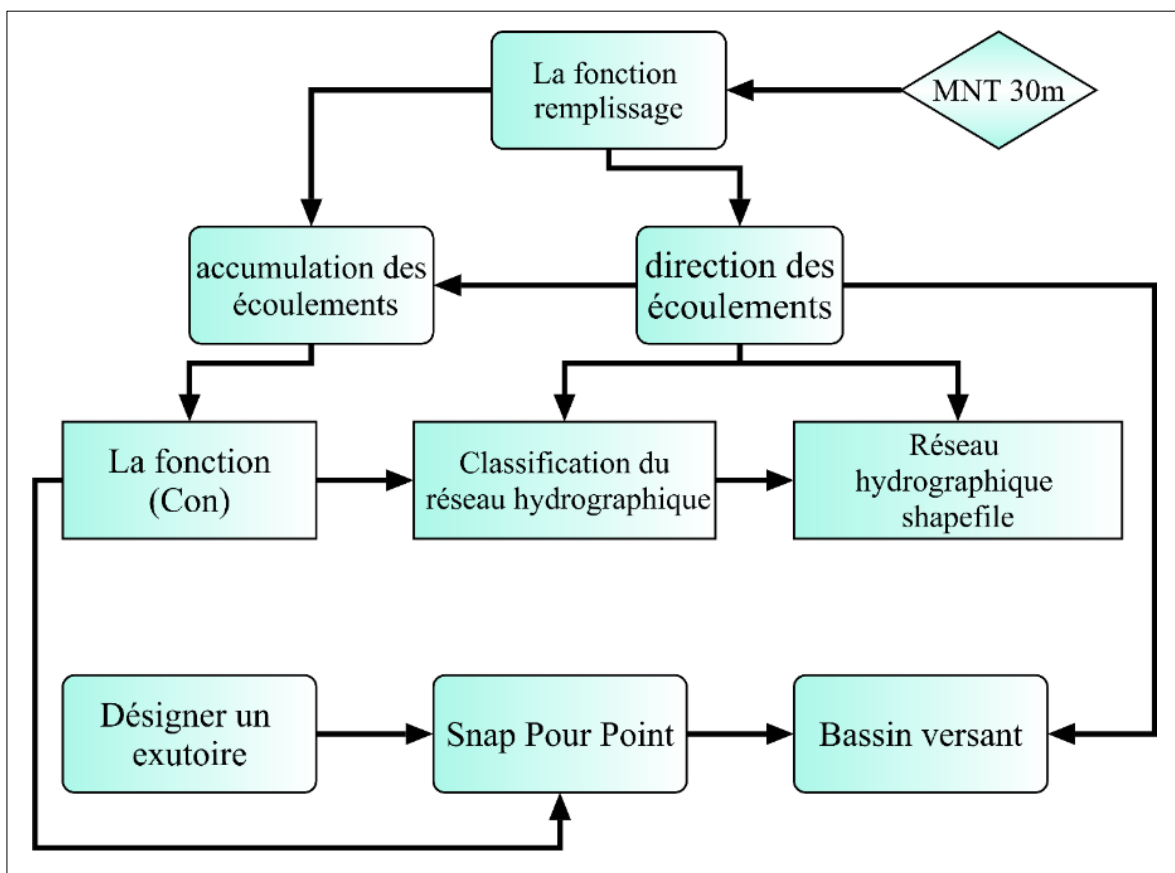


Figure 11 : Organigramme pour la délimitation et l'extraction des bassins versants

III.1.2. La réalisation de la carte des pentes :

La Carte des pentes quant à elle est dérivée du MNT sous ArcGIS à partir du Modules : *Spatial Analyst tools* → *surface* → *Slope*. Nous obtenons donc une carte des pentes en pourcent avec une subdivision de 5 classes (« < 2% », « 2% - 6% », « 6% - 12% », « 12% - 18% », « > 18% »).

III.2. Analyse Morphométrique :

La détermination des caractéristiques morphométriques est nécessaire pour déterminer et analyser le comportement hydrologique du bassin versant (Bendjeddou et Bougoffa, 2018 ; Benzougagh et al., 2017 ; Ould Ahmed, 2018 ; Iratni, 2014 ; Brahmia, 2016 ; Daifallah, 2017)

Diverses caractéristiques morphologiques sont à définir : en premier lieu, la taille du bassin (surface), sa forme, son élévation, sa pente, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques (le cas de notre travail).

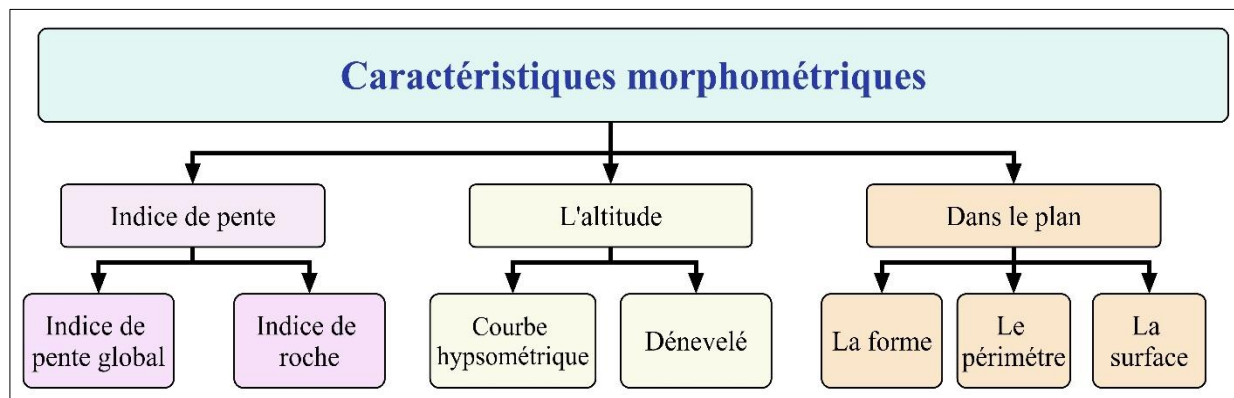


Figure 12 : Organigramme des caractéristiques morphométriques mesurées pour un bassin versant

Les caractères physiques d'un bassin sont très nombreux. On s'est attaché à ne retenir que ceux qui pouvaient s'exprimer par un nombre ; ainsi les courbes hypsométriques et les graphiques de profil en long ont-ils été écartés, certains caractères numériques choisis pouvant prétendre apporter une information équivalente.

Dans un bassin versant, on peut retenir 3 caractères morphométriques principaux :

- Dans le plan (la forme, le périmètre et la surface).
- L'altitude.
- L'indice de la pente.

Un caractère secondaire, l'indice de pente global I_G , et deux caractères intermédiaires de calcul la dénivelée totale D et la longueur du rectangle équivalent L .

A ces facteurs s'ajoutent encore les caractéristiques du réseau hydrographique.

III.2.1. Surface et périmètre :

La détermination de la surface du bassin versant ainsi que son périmètre a été déterminé par le logiciel ArcGIS. Cette technique nous a permis de calculer avec précision la surface de notre bassin.

III.2.2. La forme

L'indice de compacité de Gravelius (1914) K_G est défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

III.2.3. Le rectangle équivalent :

Cette notion a été introduite pour pouvoir comparer des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement. Soit L et I la longueur et la largeur du rectangle, et P et A le périmètre et l'aire du bassin versant. On a :

$$L = \frac{K_G \sqrt{A}}{1.12} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right)$$

III.2.4. Les altitudes caractéristiques :

Les altitudes maximales et minimales sont obtenues directement à partir de la carte topographique et l'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \frac{\Sigma(h_i \cdot A_i)}{A}$$

Avec :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin (m).

A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau (Km^2).

h_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m).

A : superficie totale du bassin versant (Km^2).

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique.

III.2.5. Pente moyenne du bassin versant

La pente moyenne du bassin versant est égale au quotient de la différence entre les hauteurs extrêmes par la longueur du rectangle équivalent. On estime la pente moyenne à partir de la courbe hypsométrique du bassin.

$$P_{moy} = \frac{\Delta H}{L}$$

Avec :

P_{moy} : Pente moyenne [m/km ou %].

ΔH : Altitude moyenne en (m).

L : Longueur de rectangle équivalent en (Km).

III.2.6. Indices de pente :

Les indices de pente se déterminent à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique sur le bassin. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global I_g donné par la relation :

$$I_g = \frac{H5\% - H95\%}{L}$$

Sur la courbe hypsométrique déjà tracée, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface totale.

H5 et H95 sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin. La dénivelée D est donc égale à H5 – H95.

Avec :

D : dénivelée entre les altitudes ayant 5% et 95% de la surface du bassin versant tirées à partir de la courbe hypsométrique (m),

L : longueur du rectangle équivalent (m)

Tableau 7 : Classification du relief selon I_g par l'ORSTOM

Type de relief	Indice de pente globale
Relief très faible	$I_g < 0.002 \text{ m/Km}$
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
Relief fort	$0.05 < I_g < 0.5$
Relief très fort	$I_g > 0.5 \text{ m/Km}$

L'indice de pente (I_p) proposé par M^r Roche on a :

$$I_p = \frac{1}{L} \sum \sqrt{B_i \cdot (a_i - a_{i-1})}$$

Avec :

$(a_i - a_{i-1})$: Dénivelée entre deux courbes de niveau voisines (m).

B_i : le pourcentage de la surface totale du bassin se trouvant entre deux côtes successives a_i et a_{i-1} en %.

L : Longueur du rectangle équivalent (m).

III.2.7. Dénivelée spécifique (D_s) :

Elle est calculée par la formule suivante :

$$D_s = I_g \times \sqrt{S} = \frac{D}{L} \times \sqrt{S}$$

A la différence de l'indice global I_g , la dénivelée spécifique D_s est indépendante de la surface et permet alors de comparer des bassins de tailles différentes.

Tableau 8 : Classification du relief selon D_s

$D_s < 10$	Relief très faible
$10\text{m} < D_s < 25\text{m}$	Relief faible
$25\text{m} < D_s < 50\text{m}$	Relief assez faible
$50\text{m} < D_s < 100\text{m}$	Relief modéré
$100\text{m} < D_s < 250\text{m}$	Relief assez fort
$250\text{m} < D_s < 500\text{m}$	Relief fort
$D_s > 500\text{m}$	Relief très fort

III.2.8. Les caractéristiques du réseau hydrographique :

a. Densité de drainage D_d

C'est un paramètre qui permet de caractériser l'organisation du chevelu hydrographique et le degré de drainage du bassin versant, il correspond au rapport entre la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Avec :

D_d : Densité de drainage (Km/Km^2)

L_i : Longueur des thalwegs = 1575.22 (Km)

A : Surface du bassin versant = 2768.31 (Km^2)

b. Fréquence des cours d'eau (F) :

Représente le nombre de cours d'eau par unité de surface.

$$F = \frac{\sum N_i}{A}$$

Avec :

F : Densité hydrographique (Km^{-2})

N_i : Nombre des cours d'eau

A : Surface du bassin versant

c. Coefficient de torrentialité :

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité des thalwegs élémentaires et de la densité de drainage :

$$C_T = D_d \cdot F_1$$

Avec :

D_d : densité de drainage

F_1 : fréquence des thalwegs élémentaires $F_1 = N_1/A$ avec N_1 : nombre de cours d'eau d'ordre 1.

Le temps de concentration il se calcule par la formule de GIONDOTTI

$$T = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} + H_{min}}}$$

Avec :

- TC : temps de concentration (heure)
- S : superficie du bassin (km²)
- L : longueur du talweg principal (km)
- H_{moy} : altitude moyenne (m)
- H_{min} : altitude minimale (m)

III.3. Occupation du sol :

III.3.1. Les prétraitements des images :

Les données acquises par télédétection nécessitent donc une série de traitements afin qu'elles soient les plus représentatives possible de la réalité. Pour atteindre notre objectif, notre démarche a été réalisée comme suit :

a. Empilement des bandes spectrales (Composite Bands) :

Le prétraitement d'image commence par un empilement spectral des bandes de chaque scène à partir de la commande « Composite Bands » dans le logiciel ArcGis, cette étape est utilisée pour simplifier l'assemblage (mosaic) et le découpage des scènes étudiées.

b. Découpage des images (Extraction) pour extraire la zone d'étude :

Pour l'extraction du secteur d'intérêt et la correction géométrique de l'image Sentinel-2 dans le système de référence UTM/WGS 84, fuseau 32N. Nous avons effectué un redimensionnement par « Extraction » dans le menu principal d'ArcGis.

c. La composition colorée :

Dans l'exploitation des images Sentinel-2, nous pouvons choisir de faire une analyse combinée en faisant appel aux différentes compositions colorées ou choisir une analyse individuelle, canal par canal.

Les images individuelles apparaissent comme des images à niveaux de gris. Cependant, ils peuvent être combinés pour former des images composites, en affectant à chaque bande spectrale une couleur primaire.

Nous considérons que les trois bandes spectrales sélectionnées présentent le maximum d'information. D'après ce dernier la combinaison des bandes 5 (PIR), 4 (Rouge) et 3 (Vert) représente le maximum d'information pour notre thématique dans la région d'étude.

L'analyse des signatures spectrales montre une décorrélation entre les différentes bandes spectrales.

III.3.2. Classifications supervisées :

Un des objectifs de traitement d'images satellitaires est d'obtenir une carte d'occupation des sols. Ce plan s'obtient par classification des données de télédétection. La classification consiste à regrouper des pixels en catégories les plus homogènes possibles, c'est-à-dire créer des classes contenant le plus de pixels similaires. La partition de l'image en ensembles de pixels représentant une même occupation du sol. Pour la classification supervisée on dispose d'échantillons (des vérités terrain) donc un nombre fini de classes. Elle nécessite l'intervention d'un expert.

a. Classification par maximum de vraisemblance :

La classification par maximum de vraisemblance utilise également des zones-échantillons pour déterminer les caractéristiques des classes d'objets, qui deviennent également des centres dans l'espace multispectral. Par contre, au lieu d'affecter un vecteur spectral à la classe dont le centre de gravité est le plus proche, elle se base sur une analyse statistique de la distribution des vecteurs spectraux de l'échantillon pour définir des zones de probabilité équivalente autour de ces centres. La probabilité d'appartenance à chacune des classes est calculée pour chaque vecteur spectral et le vecteur est affecté à la classe pour laquelle la probabilité est la plus élevée. Un avantage considérable de cette méthode est qu'elle fournit pour chaque pixel, en plus de la classe à laquelle il a été affecté, un indice de certitude lié à ce choix. Il est ainsi possible de traiter différemment des pixels de la classe "eau" avec plus de 90% de certitude, et des pixels classe "eau" avec une faible probabilité. On hésitera par exemple moins à reclasser ces derniers pixels dans une autre classe lors de traitements ultérieurs.

III.3.3. Cartographie par ArcGis 10.3 :

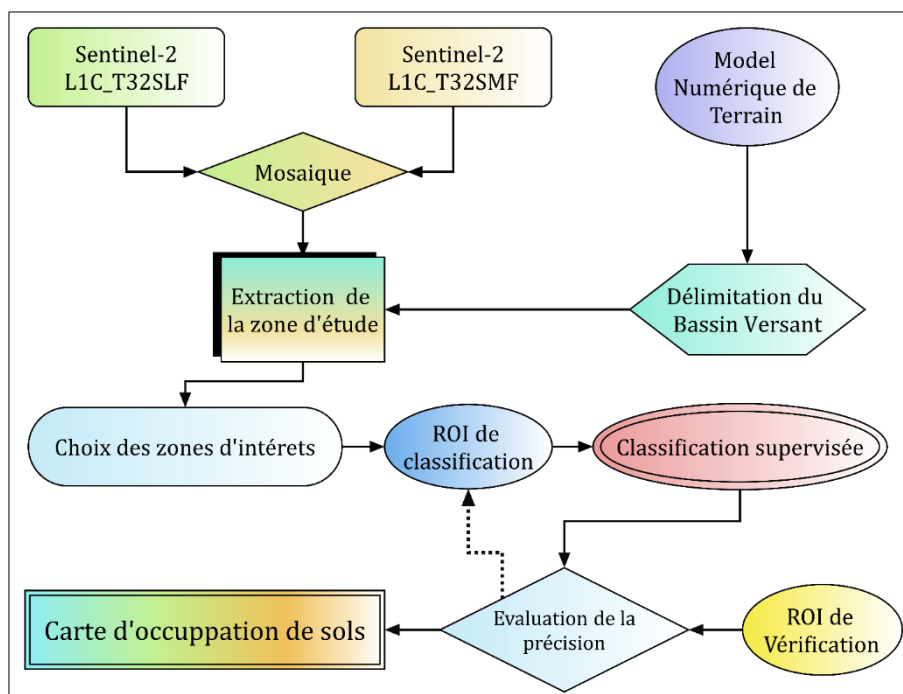


Figure 13 : Organigramme du processus général de traitements des images Sentinel-2

La cartographie englobe un grand nombre de notions, et joue un rôle spécial dans les SIG. Elle présente des regroupements logiques d'informations géographiques sous forme de couches. Ce qui nous a conduits d'effectuer les opérations suivantes :

- Extraction des classes de la carte de classification réalisée.
- Création d'un fichier pour stocker les informations sous la forme de couches thématiques pouvant être reliées les unes aux autres par la géographie.
- La mise en page afin d'organiser les éléments cartographiques (bloc de données, barre d'échelle, légende ... etc.) pour l'impression de la carte.

III.4. Risque d'Erosion :

La dégradation des sols se définit comme étant un processus qui réduit le potentiel de production des sols ou la qualité des ressources naturelles. L'érosion hydrique constitue un facteur principal de la dégradation du sol (Demmak, 1982).

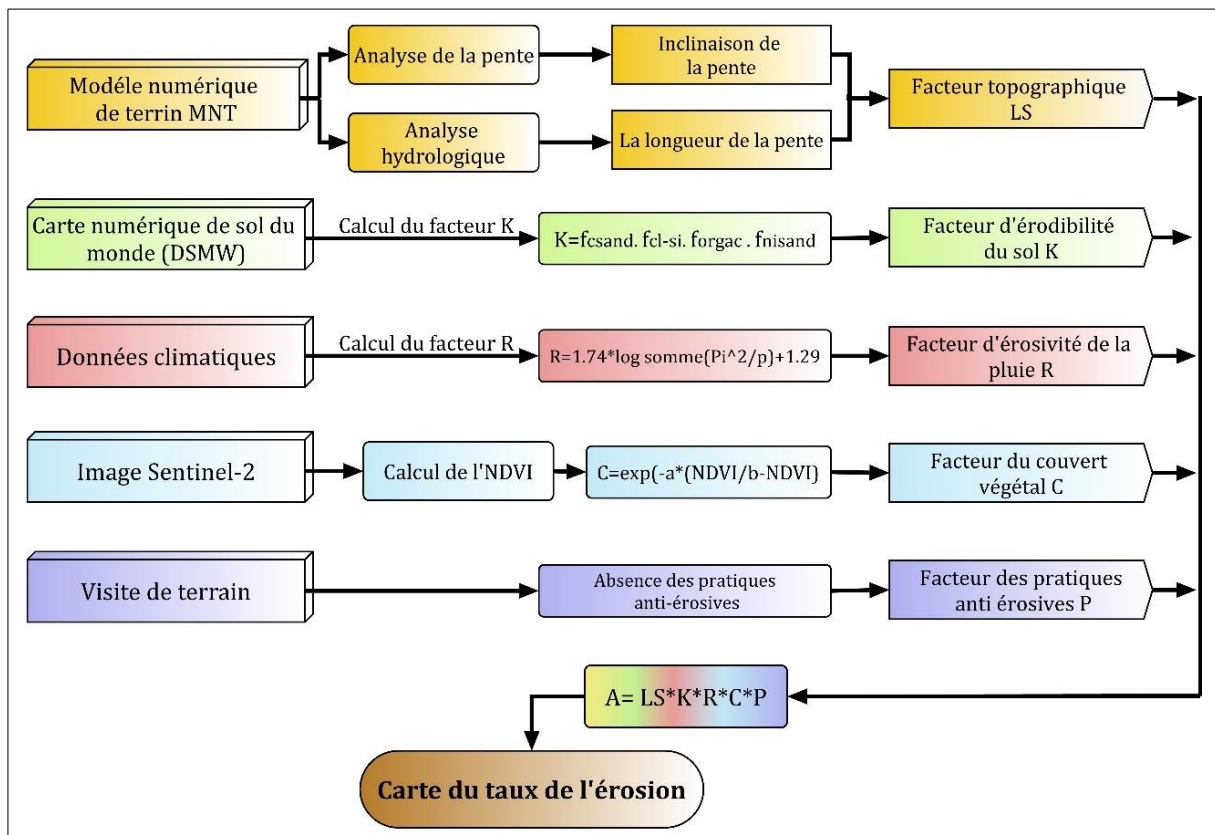


Figure 14 : Organigramme méthodologie du model USLE appliqué

Le phénomène d'érosion se manifeste par la dégradation de la terre par l'eau de ruissellement, la pluie, le vent, la glace ou autres agents externes, y compris les processus tels que l'ablation, le transport en suspension, le charriage ou les mouvements de masse (Kisi Ö, 2004).

Parmi les modèles les plus appliquée dans la quantification de l'érosion, on trouve le model USLE (Universal Soil Loss Equation) de Wischmeier et Smith qui représente l'érosion comme étant le résultat de la multiplication de cinq paramètres sous la forme :

$$A = LS \times K \times R \times C \times P$$

Avec :

LS : Longueur de pente et d'inclinaison (sans unité) ;

K : Érodibilité des sols en tonne heure par Mégajoule millimètre (t.h/MJ.mm) ;

R : Érosivité des pluies en Mégajoule en millimètre par hectare heure (MJ.mm/ha.h) ;

C : Facteur du couvert végétal (sans unité) ;

P : Facteur tenant compte des pratiques antiérosives (sans unité).

III.4.1. Paramètres du modèle USLE :

a. Facteur topographique (LS) :

Pour le facteur topographique, le modèle numérique de terrain MNT a été utilisé pour extraire la longueur (L) et l'inclinaison de la pente (S), à l'aide d'outils ArcGis, selon l'expression suivante :

$$LS = [(Flow.Acc \times Résolution)/22,1]^{0,4} \times [(\sin(pente) \times 0.01745)/0,0896]^{1,4} \times 1,4$$

Ce facteur reflète l'effet de la topographie sur l'érosion. Il a été démontré que l'augmentation de la longueur et l'inclinaison des pentes peuvent produire des écoulements plus forts, par conséquent une érosion élevée (Haan et al., 1994).

b. Facteur d'érodibilité du sol (K) :

Le facteur « K » est une mesure de la vulnérabilité des particules de sol au détachement et au transport par la pluie et le ruissellement. Il faut savoir aussi que le sol est différencié selon leur résistance à l'érosion, fonction de la texture, de la structure, de la rugosité, de la teneur en matière organique et du degré d'humidité du sol (Renard et al., 2011).

Nous avons évalué l'indice K des différents types de sols à l'aide des équations de Masson (1971) et Williams (1975) et en utilisant la carte numérique du sol du monde DSMW (Digital Soil Map of the World). Le traitement de cette carte sous ArcGis a donné les taux de différents types de sol : sable, argile, limon et la matière organique.

Le facteur d'érodibilité du sol a été calculé par la formule de Williams (1975) :

$$K = f_{csand}, f_{cl-si}, f_{orgac}, f_{hisand}$$

Où : f_{csand} : est un facteur qui abaisse l'indicateur K dans les sols avec teneur élevée en sable grossier et plus élevée pour les sols avec un peu de sable.

f_{cl-si} : donne de faibles facteurs d'érosion du sol pour les sols avec taux élevés d'argile à limon.

f_{orgac} : réduit les valeurs de K dans les sols avec teneur élevée en carbone organique.

f_{hisand} : abaisse les valeurs K pour les sols à teneur en sable extrêmement élevée.

c. Le facteur d'érosivité de pluie (R) :

La pluie est l'élément moteur de l'érosion. Le coefficient « R » nécessite de connaître la répartition des précipitations sur toute la superficie du bassin versant.

L'érosivité de la pluie a été calculée suivant une équation élaboré par Wischmeier et Smith (1978) et modifié par Rango et Arnoldus (1987), elle ne concerne que les précipitations annuelles et mensuelles pour déterminer le facteur R :

$$\text{Log } R = 1.74 \times \log \Sigma \left(\frac{P_i^2}{P} \right) + 1.29$$

Où : R est le facteur de l'érosivité de la pluie ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$), P_i sont les précipitations mensuelles (mm) et P est le rapport annuel de précipitation (mm).

Les valeurs de l'érosivité de pluie sur la période 2000 à 2018 ont été interpolées à l'aide de la commande (Geostatistical Analyst), sur le logiciel ArcGis, afin d'obtenir une carte raster pour le facteur R.

d. Facteur du couvert végétal (C) :

La couverture végétale joue un rôle prédominant dans la réduction de l'érosion hydrique (Kheir et al., 2008). Le facteur « C » est un facteur sans dimension représentant l'effet de la couverture végétale sur l'érosion (Prasannakumar et al., 2012). Ce facteur varie de 0 (couverts les plus denses) à 1 (pas de couverture du sol). Il peut estimer à partir de l'indice de végétation par différence normalisé NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) à l'aide de l'imagerie satellitaire.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Où NIR est l'intensité de la lumière en proche infra-rouge, et RED est l'intensité de la lumière en canaux rouge.

La formule suivante proposée par Van der Knijff et al. (2000) ; Van Leeuwen et al. (2004) ; Prasannakumar et al (2012) a été utilisé pour générer le facteur C à partir des valeurs de NDVI.

$$C = \exp \left[-a \times \frac{NDVI}{b - NDVI} \right]$$

Où : a, b sont des paramètres déterminant la forme de la courbe de NDVI-C avec a = 2 et b = 1.

e. Facteur des pratiques anti-érosives (P) :

Le facteur P décrit les actions humaines conservatrices des sols qui se pratiquent pour contrer l'érosion hydrique. Les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage sont les pratiques les plus efficaces de conservation des sols (Koussa et Bouziane, 2018).

III.5. Hydrochimie :

Afin de déterminer la qualité des eaux du bassin versant de la Mafragh et mieux cerner la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autre usages (irrigation, industrie ... etc.), nous avons utilisé des analyses physico-chimiques de 11 sites des eaux de surfaces entre lacs et oueds :

- Les lacs : (lac Noir, lac Oubéira, lac des Oiseaux et Garaat Mekhada).
- Les oueds : (oued Mafragh, oued Kebir amont, centre et aval ; oued Bounamoussa amont, centre et aval) pour voir l'évolution spatiale de la qualité des eaux de ces oueds.

Ces analyses faites pendant la période humide (fin mars et début Avril) et un autre lors de la saison sèche (fin Septembre et début Octobre 2016) Les paramètres physico-chimiques sont la température, le pH, la conductivité électrique et l'oxygène dissous ; des paramètres chimiques tels que les éléments majeurs : les anions solubles (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) et les cations solubles (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+}) ainsi que les nutriments (NO_3 et PO_4).

III.5.1. Méthodes de traitement des résultats :

La réalisation des diagrammes hydrochimiques : pour la détermination des faciès chimiques de l'eau on a utilisé le logiciel « Diagrammes » par la représentation des éléments chimiques dans le diagramme de Piper, puis une représentation des éléments chimiques dans le diagramme de « Riverside » pour déterminer l'aptitude des eaux à l'irrigation.

La détermination de la potabilité des eaux : Les analyses physico-chimiques des eaux des zones humides du bassin versant de la Mafragh obtenus sont comparés avec des normes de potabilité de l'eau qui sont représentés dans le Tableau suivant :

Tableau 9 : Norme de potabilité de l'eau

Paramètres	Unités	Valeur maximales admissibles	
		Algérie (1)	OMS (2)
Résidu sec	mg/l	1500	/
Température	°C	25	/
Concentration en ions H^+	Unité pH	> 6.5 et < 9	> 6.5 et < 8.5
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20 °C	2800	400
TDS	mg/l	/	< 600
Calcium (Ca^{2+})	mg/l en CaCO_3	200	/
Magnésium (Mg^{2+})	mg/l en Mg^{+2}	150	/
Sodium (Na^+)	mg/l	200	200
Potassium (K^+)	mg/l	12	12
Alcalinité (HCO_3^-)	mg/l en CaCO_3	500	/
Chlorures (Cl^-)	mg/l	500	250
Sulfates (SO_4^{2-})	mg/l	400	250
Nitrates (NO_3^-)	mg/l en NO_3^-	50	50
Phosphate (PO_4)	mg/l	0.5	/

(1) : Selon le décret du 22 mars 2011 (J.O.R.A.), Algérie.

(2) : Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.), 2011.

III.5.2. Aptitude des eaux à l'irrigation :

L'accumulation du sodium sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols. Leur capacité de drainage donc leur perméabilité, conditionne la productivité

des terres irriguées. Le sodium a un effet particulièrement néfaste sur la végétation. Les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes. Ce risque peut être déterminé par le SAR (Sodium Absorption Ratio), qui s'exprime par la relation suivante :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

La combinaison du SAR et de la conductivité électrique de l'eau permet de faire une classification de l'eau destinée à l'irrigation.

Tableau 10 : Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR (Louvier, 1976)

Degré	Qualité	Classe	Possibilité d'utilisation
1	Excellente	C1S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures.
2	Bonne	C2S1 C2S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, sur sols ayant une bonne perméabilité.
3	Admissible	C2S3 C3S1 C3S2	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes aux sels sur les sols drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	Médiocre	C3S3 C4S1 C4S2	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à certaines espèces bien tolérantes aux sels sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C4S3 C4S4 C3S4	Eau ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions.

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns, framing the central text.

Chapitre III

Résultats et discussion

Chapitre III : Résultats et discussion :

I. Introduction

Nous présentons dans ce chapitre les différents résultats obtenus dans ce travail avec la discussion de celle-ci. Soit pour l'analyse morphométrique et l'occupation de sol par l'outil télédétection avec l'interprétation des résultats, ainsi la cartographie du risque d'érosion et la partie hydrochimie avec l'interprétation des résultats des analyses physicochimiques des eaux des zones d'études.

II. Hydrologie :

II.1. Les caractéristiques de forme

II.1.1. La Surface et périmètre du bassin versant

La délimitation du bassin versant d'Oued Mafragh (Fig.15) représente l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits d'écoulement sont en partie reliés à sa surface.

- La surface de notre bassin versant (A) = 2768.31 Km².
- Le périmètre (P) = 330.7 Km.

Ces deux indices vont nous aider à calculer les autres paramètres.

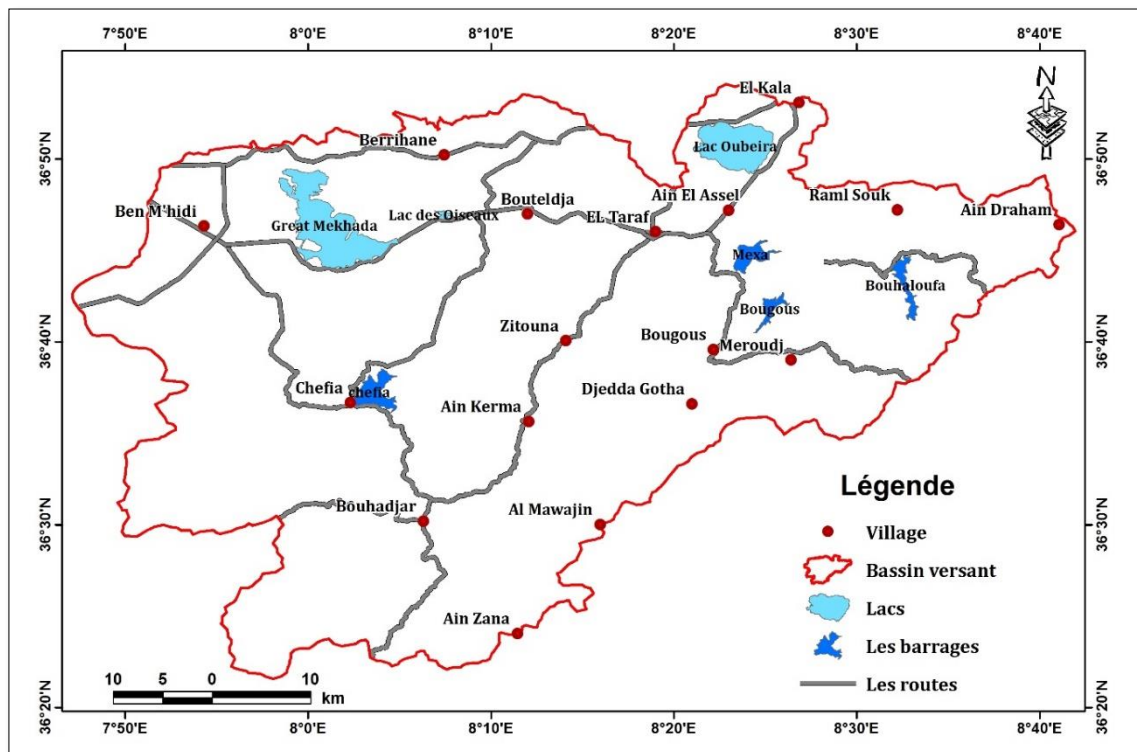


Figure 15 : Carte présente la délimitation du bassin versant d'oued Mafragh

II.1.2. La forme

L'indice de compacité de Gravelius caractérise la forme du bassin versant. Lorsque cet indice est proche de 1 le bassin versant est de forme quasiment circulaire, et s'il est supérieur à 1 le bassin est de forme allongé.

Tableau 11 : Caractéristiques de forme des sous bassins de la Mafragh

Bassin versant	Bounamoussa	Kebir Est	L'ensemble (Mafragh)
A (km ²)	1129.19	1639.12	2768.31
P (km)	234.02	256.00	330.70
K _G	1.95	1.77	1.75

Selon la valeur de K_G on peut dire que notre bassin est de forme allongée. Les valeurs de l'indice de compacité montrent que le sous bassin Bounamoussa (K_G = 1.95) est le plus allongé correspond à celui de l'oued Kebir Est (K_G = 1.77). Cette forme induit de faibles débits de pointe de crue (par conséquent il est mal drainé).

II.1.3. Le rectangle équivalent :

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimensions (L et l) ayant la même surface que le bassin versant. Il permet de comparer les bassins versants entre eux de points de vue de l'écoulement. Les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire est l'un de ces petits cotés.

On a :

L = 106.4 km et l = 10.61 km Pour le sous bassin de Bounamoussa

L = 113.57 km et l = 14.43 km pour le sous bassin de Kebir Est

L = **146.45 km**, l = **18.9 km** pour le bassin versant de la Mafragh

Les dimensions du rectangle équivalent traduisent que la longueur est grande 7 fois que la largeur.

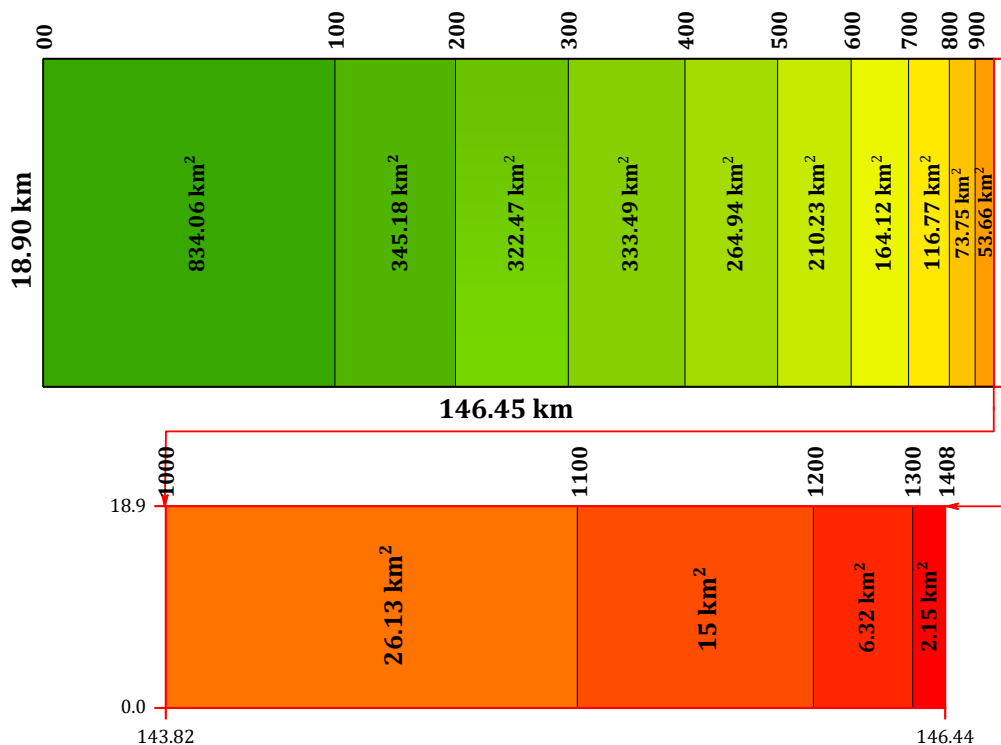


Figure 16 : Rectangle équivalent de la Mafragh

II.2. Le relief :

Les altitudes ainsi que la forme du relief influent considérablement sur les différents paramètres hydroclimatiques d'une région donnée. Elles déterminent en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

II.2.1. La courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude elle fournit une vue synthétique de la pente du bassin.

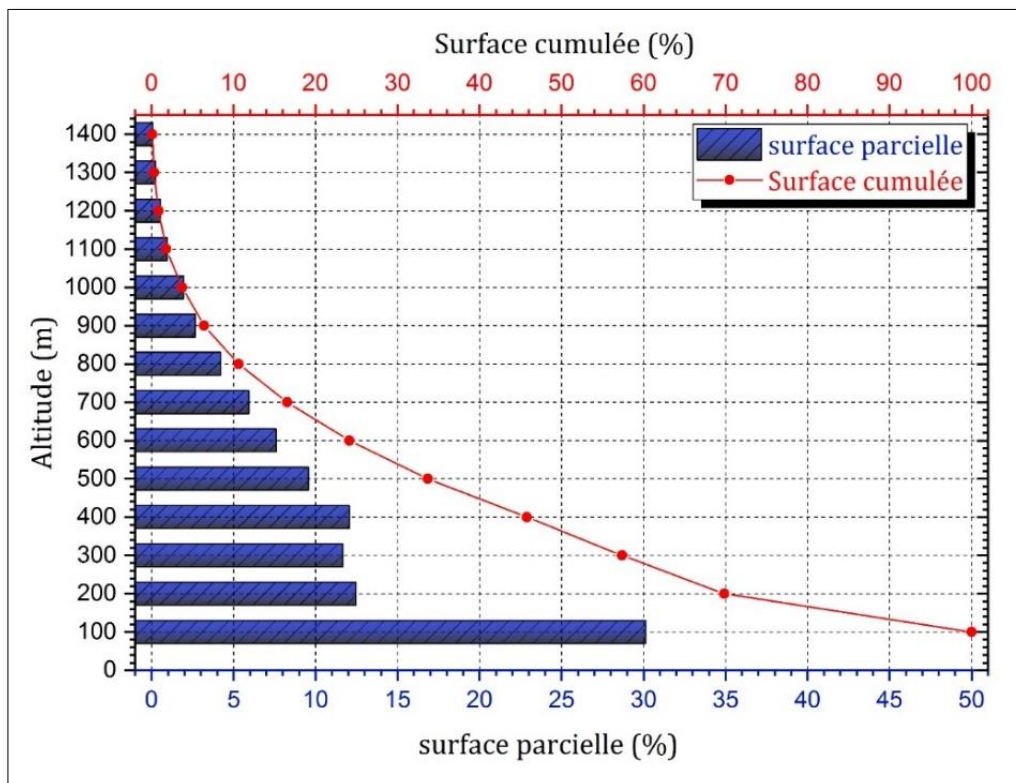


Figure 17 : La courbe hypsométrique du bassin versant « Mafragh »

Tableau 12 : Répartition de la superficie selon l'élévation des courbes de niveau

Elévation courbe de niveau (m)	Superficie entre les courbes (km ²)	% du total	% au-dessus de la limite inférieure
00 - 100	834.06	30.13	100.00
100 - 200	345.18	12.47	69.87
200 - 300	322.47	11.65	57.40
300 - 400	333.49	12.05	45.75
400 - 500	264.94	9.57	33.71
500 - 600	210.23	7.59	24.14
600 - 700	164.12	5.93	16.54
700 - 800	116.77	4.22	10.61
800 - 900	73.75	2.66	6.39
900 - 1000	53.66	1.94	3.73
1000 - 1100	26.13	0.94	1.79
1100 - 1200	15.00	0.54	0.85
1200 - 1300	6.32	0.23	0.31
1300 - 1408	2.15	0.08	0.08

La courbe hypsométrique du bassin de la Mafragh montre des pentes fortes à l'amont mais douce à l'aval et elle est représentée sous forme concave elle indique que notre bassin est vieux.

II.2.2. Formes de Relief Marqués par des Tranches d'Altitudes :

La carte altimétrique donne plus de détails sur la morphologie du bassin versant. En effet la Figure 18 de la répartition altimétrique nous permet de dégager les formes du relief les plus caractéristiques du bassin versant et leurs altitudes. On distingue 04 tranches d'altitude :

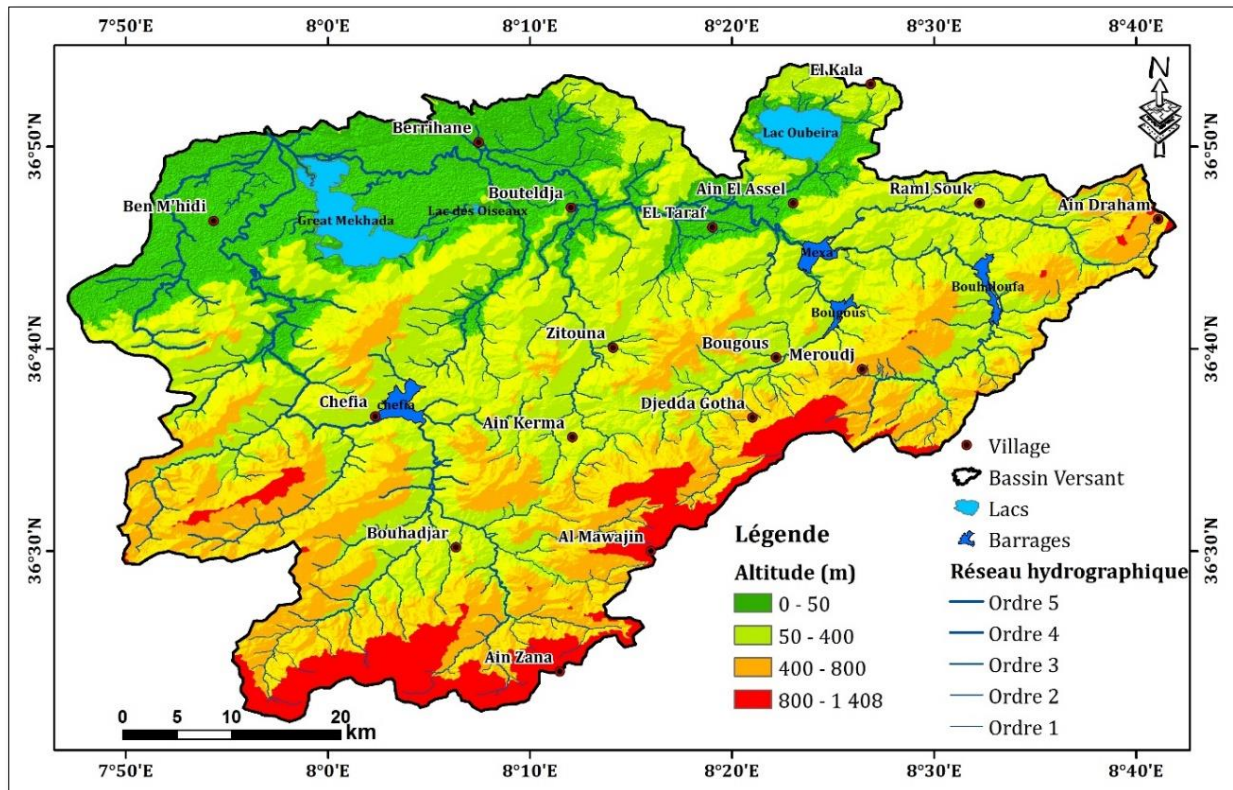


Figure 18 : Carte altimétrique du bassin versant de la Mafragh

La première tranche d'altitude allant de 0 à 50 m s'étalent d'Est en Ouest représente la zone des plaines. Et entre l'altitude 50 et 400 m occupe le centre du bassin ou apparaissent les versants, comme dans les basses collines des Monts de la Cheffia qui entourent les bassins intérieurs de Bouhadjar, Cheffia, Ain Karma et Asfour, ainsi que dans la région de Bougous au niveau de Djebel Oum Ali.

La tranche d'altitude de 400-800 m Elles apparaissent sur les limites Ouest du Bassin versant sur Kef-el-Ouach, Kef el Ramoul et Kef Mzaza sur les frontières Algéro-Tunisiennes. Elles constituent les crêtes de la ligne de partage des eaux de l'Ouest vers l'Est et cette tranche d'altitude représente les collines.

D'une altitude variant de 800 jusqu'à 1406 m, elles sont représentées par Kef el Boum, Kef Rekeb à l'Ouest et Djebel Dir, Djebel El Ghorra à l'Est. Elles représentent les crêtes de la ligne de partage des eaux du bassin versant dans sa partie Sud.

II.2.3. Les altitudes caractéristiques :

a. Les altitudes maximales et minimales

Les altitudes maximales et minimales ces deux données déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente. Pour le cas de notre bassin

$$H_{\max} = 1408\text{m et } H_{\min} = 0 \text{ m.}$$

b. L'altitude moyenne

A partir de la courbe hypsométrique on a trouvé que l'altitude moyenne :

$$H_{\text{moy}} = 321.16 \text{ m.}$$

c. L'altitude médiane

Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne, dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

Dans notre bassin d'étude est à partir de la courbe hypsométrique on a trouvé que l'altitude médiane est : $H_{\text{médiane}} = 360 \text{ m}$

II.2.4. Pentes du bassin versant :

Les pentes conditionnent fortement le ruissellement au niveau d'un bassin versant. L'étude de ce paramètre topographique est primordiale pour aborder les problèmes d'érosion et de transport solide. Il est nécessaire de commencer d'abord par une classification des pentes.

Tableau 13 : Répartition du relief par classe des pentes

Classes %	Superficie en km ²	%de la superficie totale	Classe des pentes
0-2%	137.84	4.98	Pentes très faibles
2-6%	471.58	17.04	Pentes faibles
6-12%	536.31	19.37	Assez faibles
12-16%	542.74	19.61	moyennes
>18%	1079.69	39.00	fortes

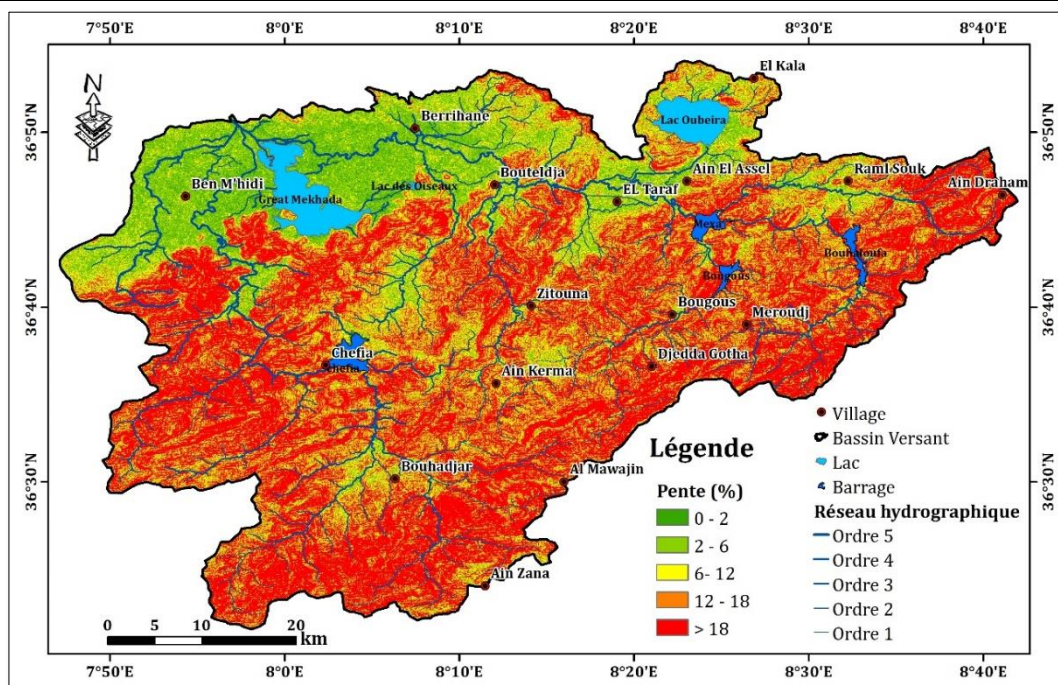


Figure 19 : Carte des pentes du bassin versant de la Mafragh

Les pentes (supérieur à 18%) sont concentrées dans la partie amont de Djebel Ghorra à l'Est, Bled Djemaa El Guerfi à l'Ouest, plus au Nord à Kef El Naoura et Kaf El Kourate (bassin de Asfour) et au Sud sur Djebel M'Sid (Kef R'keb). Cette classe de pente synchronise aux escarpements rocheux des massifs gréseux. La pente décroît progressivement en allant vers la partie centrale du bassin ou elle devient moyenne à assez faibles. Avec une classe de (12-18%) elle est essentiellement localisée sur les hauts piémonts de djebel El Ghorra à l'Est et M'Sid au Sud, ainsi que djebel Souani qui fait limite entre le bassin de Cheffia et de Bouhadjar. Plus vers le Nord on la rencontre sur djebel Bouabed et djebel Bourdim (Mechtat Oum El Agureb) au niveau du cordon dunaire, et à djebel Ain Bagrat à l'Ouest. Cette zone connaît la même dynamique avec une intensité plus prononcée. La classe (6-12%) reste relativement faible, marque spatialement le Sud-Est du bassin versant, on la rencontre sur les versants des collines de Ksar Ouglaa, dans le bassin d'Ain Karma « Djebel Loulidja », sur le versant d'Oued Zitouna à Mechtat Bou Barouk et Haoud Safsafa, dans la partie Ouest.

La pente devient faible à très faible à l'aval avec une classe de (2-6%). Cette classe apparaît sur les zones d'épandage et au pied des versants sous forme de glacis dans le bassin de Bouhadjar, Cheffia et Ain Karma comme les glacis de Djebel Oum-Ali, ainsi que sur le cordon dunaire qui se caractérise par une pente généralement faible. La classe de (0-2%) est localisée sur un matériel alluvionnaire (sablo-limoneux, sablo-argileux) de la basse vallée de la Mafragh (autrement dit : Plaine de Annaba/Boutheldja et El-Taref/Ain Assel), et apparaît également sur les replats des sommets gréseux.

Ces formes restent submergées durant la période pluvieuse en raison de la faible capacité d'évacuation de l'Oued Mafragh à cause de l'ensablement de l'embouchure ; ce qui provoque une stagnation et par conséquent un retour d'eau, surtout quand la mer est en hautes eaux, d'où une mauvaise réception des eaux d'oueds par cette dernière.

a. Pente moyenne du bassin versant

La pente moyenne d'un bassin versant est un paramètre important pour la détermination du temps de parcours de ruissellement, c'est à dire le temps de concentration.

Dans la zone d'étude : $P_{\text{moy}} = 9.6 \%$. On constate que la pente moyenne est faible, le risque d'érosion est rare mais le risque d'inondation est fréquent.

b. Indices de pente :

L'objet de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications.

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains.

Dénivelée D est donc égale à $H_5 - H_{95}$. Donc $H_5\% = 951 \text{ m}$ et $H_{95}\% = 116.5 \text{ m}$

$$I_g = 5.69\%$$

Cette valeur d' I_g très élevée, le relief du bassin versant d'oued Mafragh est très fort. L'indice de pente (I_p) proposé par Mr Roche, qui influence particulièrement le régime hydrologique du bassin, est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces.

Tableau 14 : Indices de pentes et nature de reliefs

Bassin	I_p (%)	I_g (m/Km)	Relief selon I_g
Oued Mafragh	26.16	5.69	Très fort

II.2.5. Dénivelée spécifique (D_s)

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie ($D = H_{5\%} - H_{95\%}$) et de la forme du bassin (l/L). Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M., indépendante des surfaces des bassins :

La valeur calculée de (D_s) dans le cas de notre bassin est de 299.37 m. Suivant le tableau le bassin est caractérisé par un relief fort, d'où l'influence bien prononcée des massifs montagneux dans notre bassin.

Il est aisé de comprendre que le relief de notre aire d'étude, implique un ruissellement superficiel assez rapide, et par conséquent un temps de concentration assez court, et des crues assez importantes.

II.3. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant :

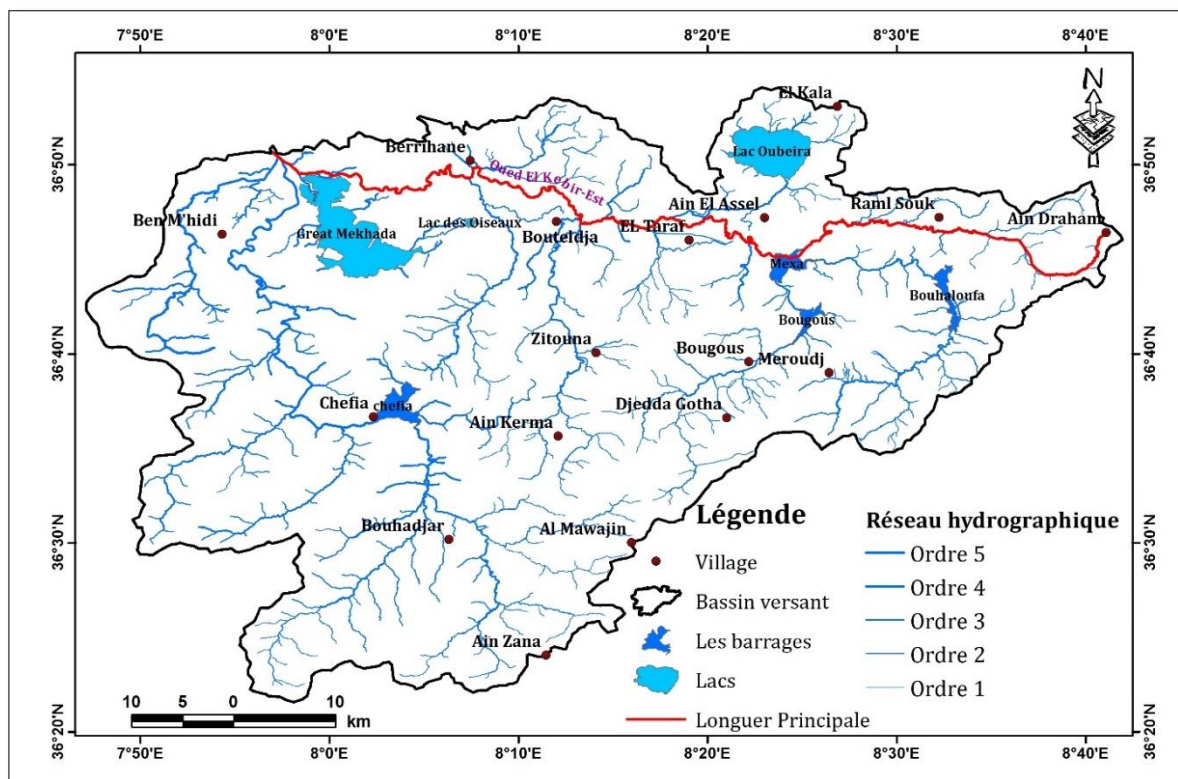


Figure 20 : Carte de réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques géographiques et physiques de la plaine et des cours d'eau d'une région donnée. Le bassin versant de la Mafragh est constitué par la réunion de deux grands oueds : l'oued Bounamoussa et l'oued Kebir Est. Elle se jette dans la méditerranée.

Divers paramètres sont utilisés pour définir le réseau hydrographique parmi les plus importants nous citons, la densité de drainage (Dd), la fréquence des cours d'eau (Fs) et le temps de concentration (Tc).

Le bassin versant de la Mafragh (Fig. 20) est caractérisé par un réseau hydrographique de type dendritique. Il est drainé par deux oueds importants (Oued Bounamoussa à l'Ouest et Oued Kebir à l'Est). Ces deux cours d'eau rejoignent la mer par un exutoire unique : Oued Mafragh.

Tableau 15 : Les longueurs d'ordres des cours d'eau dans le bassin versant de la Mafragh

Ordre	Nombre	Longueur (km)
1	199	359.86
2	227	634.15
3	87	417.64
4	7	162.25
5	1	1.32

II.3.1. La topologie : structure du réseau et ordre des cours d'eau

La topologie du réseau hydrographique se révèle utile dans la description du réseau hydrographique en proposant une classification, ainsi qu'un ordonnancement. Le réseau hydrographique de ce bassin versant est généralement dendritique (Figure.20), mais avec des variations locales.

À la partie amont et Sud-ouest du bassin versant le réseau hydrographique est parallèle. Ces variations seraient en relation avec les variations de la topographie.

II.3.2.les caractéristiques du réseau :

a. Longueur caractéristique :

La longueur du cours d'eau principale (L), est la distance curviligne, depuis la ligne de partage des eaux jusqu'à l'exutoire, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement, et par extension de dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant. Si les deux segments à l'embranchement sont de même ordre, on suit celui qui draine la plus grande surface. Pour le cours d'eau principal du bassin versant d'Oued Mafragh (Fig.20), la longueur caractéristique calculée est $L = 105.33$ km.

b. Densité de drainage D_d

C'est le paramètre le plus important qui caractérise le chevelu hydrographique, Elle nous renseigne sur l'efficacité de drainage de la région donnée. Elle dépend de la géologie, des caractéristiques topographiques du bassin versant et même de certaines mesures des conditions climatologiques

$$D_d = 0.56 \text{ Km/Km}^2$$

Cette faible densité de drainage du bassin versant, s'expliquerait par la perméabilité du substratum et par le relief qui est accidenté.

c. Fréquence des cours d'eau (F) :

Représente le nombre de cours d'eau par unité de surface.

$$F = 0.18 \text{ km}^{-2}$$

Cette faible valeur traduit que le réseau hydrographique présente une hiérarchisation moyenne.

d. Coefficient de torrencialité :

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité des thalwegs élémentaires et de la densité de drainage :

$$C_T = 0.04$$

Dans notre bassin versant, Le coefficient de torrencialité est 0.04. Cette valeur est très faible, il indique une infiltration des eaux, au niveau des formations géologiques perméables.

e. Le temps de concentration :

C'est le temps que met la particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour arriver à l'exutoire, $TC = 25.69 \text{ h}$

III. Occupation du sol :

La classe d'occupation du sol du bassin versant qui occupe la plus grande surface est celle des forêts avec 54.68% (1513.82 km²).

La surface agricole occupe 35.47% de la superficie du bassin versant représentant 982.01 km². En suit les surfaces du sol nu occupent 5.07% (140.47 km²).

Les surfaces d'eau sont réparties sur 80.93 km² soit (2.92%) de la surface du bassin versant et enfin les surfaces urbaines 51.08 km² (1.84%).

Tableau 16 : Répartition de la superficie selon l'élévation des classes de l'occupation de sol

Les classes	Superficie en km ²	% de la superficie totale
Surface Agricole	982.01	35.47
Surface urbaine	51.08	1.84
Sol nu	140.47	5.07
Surface d'eau	80.93	2.92
Foret	1513.82	54.68

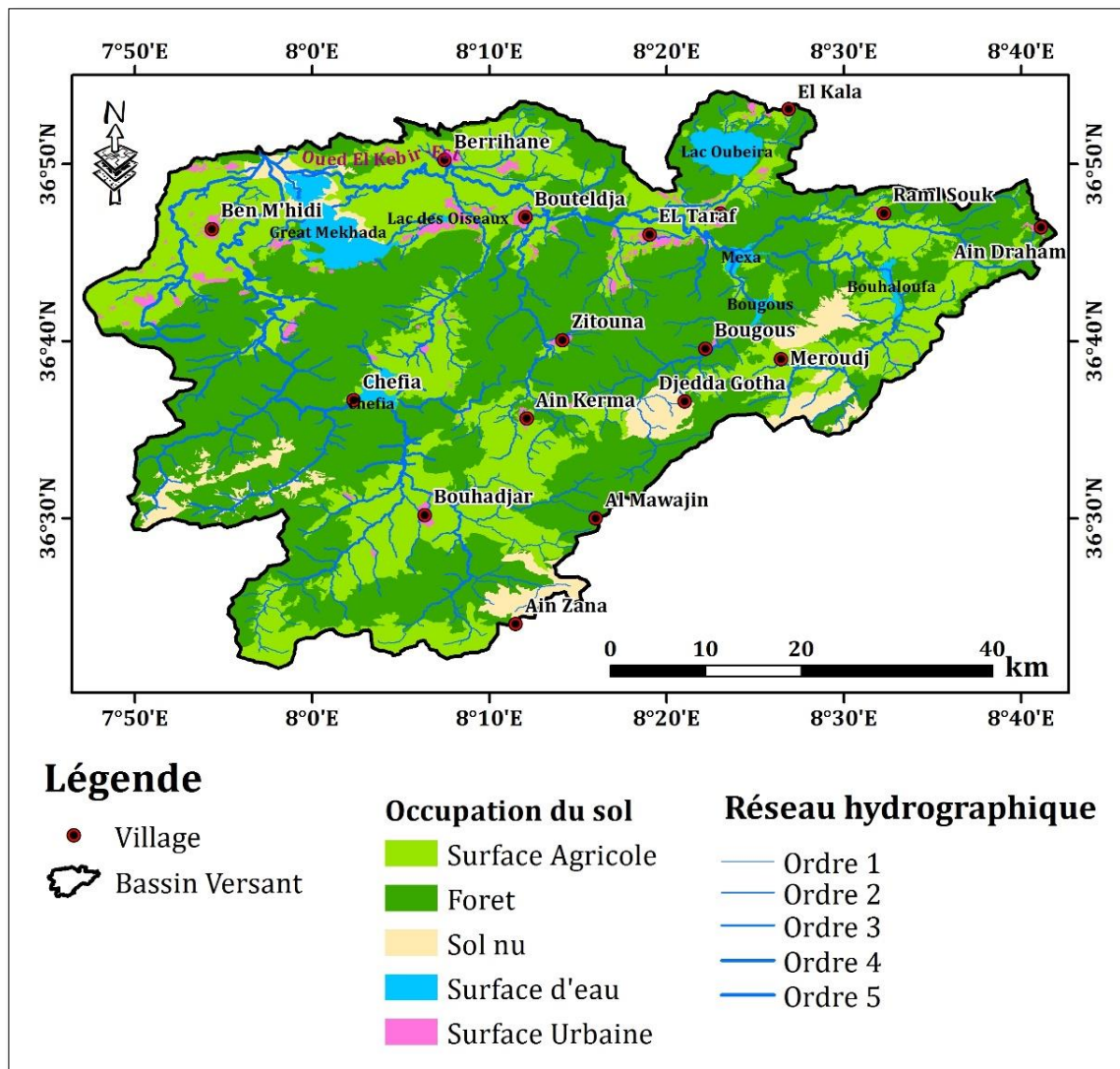


Figure 21 : Carte d'occupation du sol dans le bassin versant d'Oued Mafragh

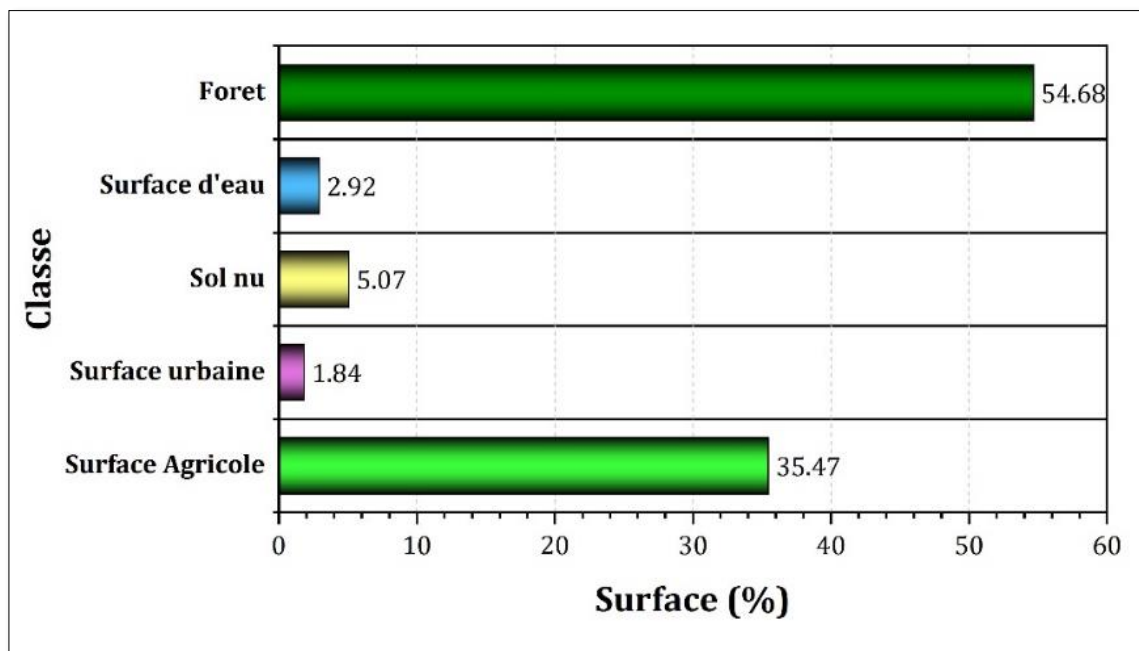


Figure 22 : Les surfaces d'occupation du sol (%)

IV. Risque d'Erosion :

IV.1. Facteur topographique (LS) :

Le facteur topographique « LS » (Fig. 23) est classé selon des valeurs variant entre 0 à 810. La lecture de la carte reflète généralement la topographie du terrain.

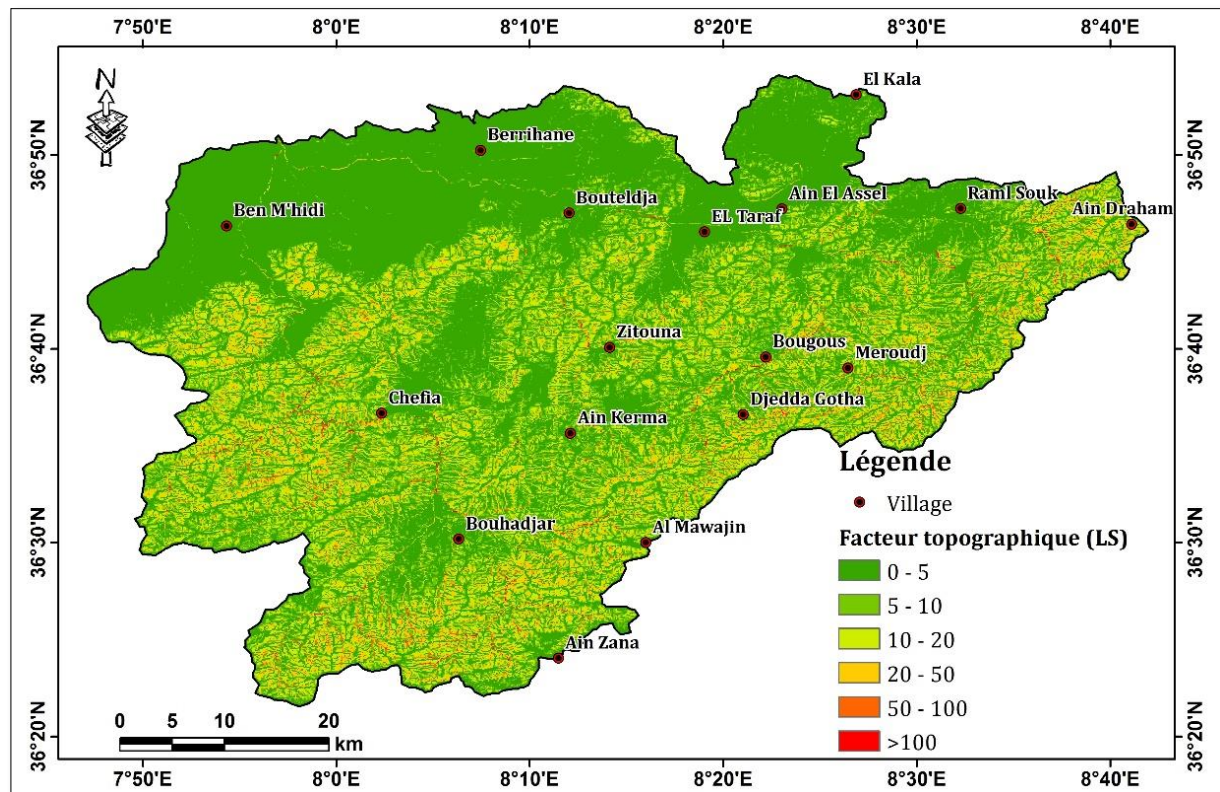


Figure 23 : Le facteur topographique (LS) dans le bassin versant Mafragh

Les valeurs minimales (0-5) couvrent la plus grande partie (59.26%) de la surface totale du bassin et se présente généralement au nord du bassin versant. Les valeurs comprises entre 5 et 50 sont réparties dans tout le reste du bassin en couvrant (39.68%). Le reste de la superficie du bassin (1.07%) correspondent aux valeurs supérieures à 50 dispersées dans le sud-est et le sud-ouest du bassin coïncidant généralement avec des zones à hautes altitudes et pentes élevées.

IV.2. Facteur d'érodibilité du sol (K) :

Les valeurs du facteur « K » (Fig. 24) situées entre 0 et 0.0185 et sont répartie sur la zone d'étude selon les différentes unités homogènes. Le bassin versant présente généralement :

- Une érodibilité faible (0 - 0.0149) avec 16.25 %
- Une érodibilité moyenne (0.017 - 0.0182) couvrant 64.23% de la surface totale du bassin
- Une forte érodibilité (> 0.0185) avec 19.53 % de la surface totale du bassin.
- Les valeurs proches de 0 reflètent des sols moins érodables.

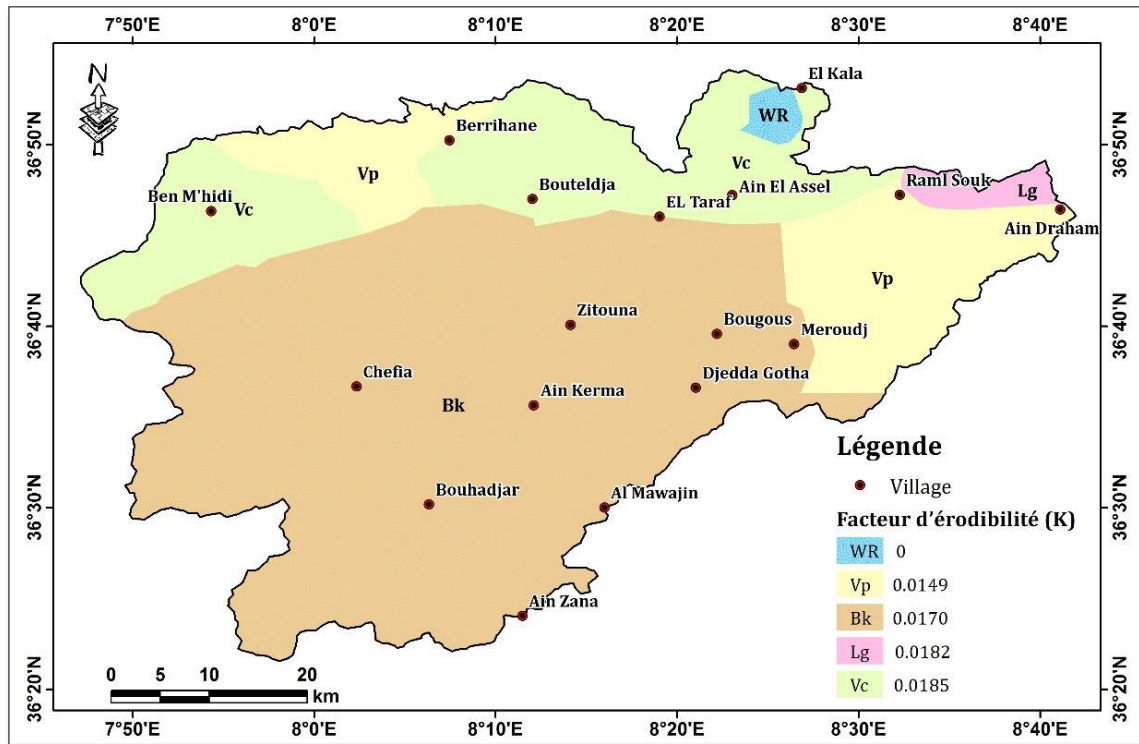


Figure 24 : Le facteur d'érodibilité (K) dans le bassin versant Mafragh

IV.3. Le facteur d'érosivité de pluie (R) :

La carte du facteur d'érosivité de pluie « R » (Fig. 25) avec des valeurs variant entre $4.35 > R > 4.47$ montre une augmentation verticale du Sud vers le Nord indiquant ainsi l'effet de la continentalité sur les précipitations.

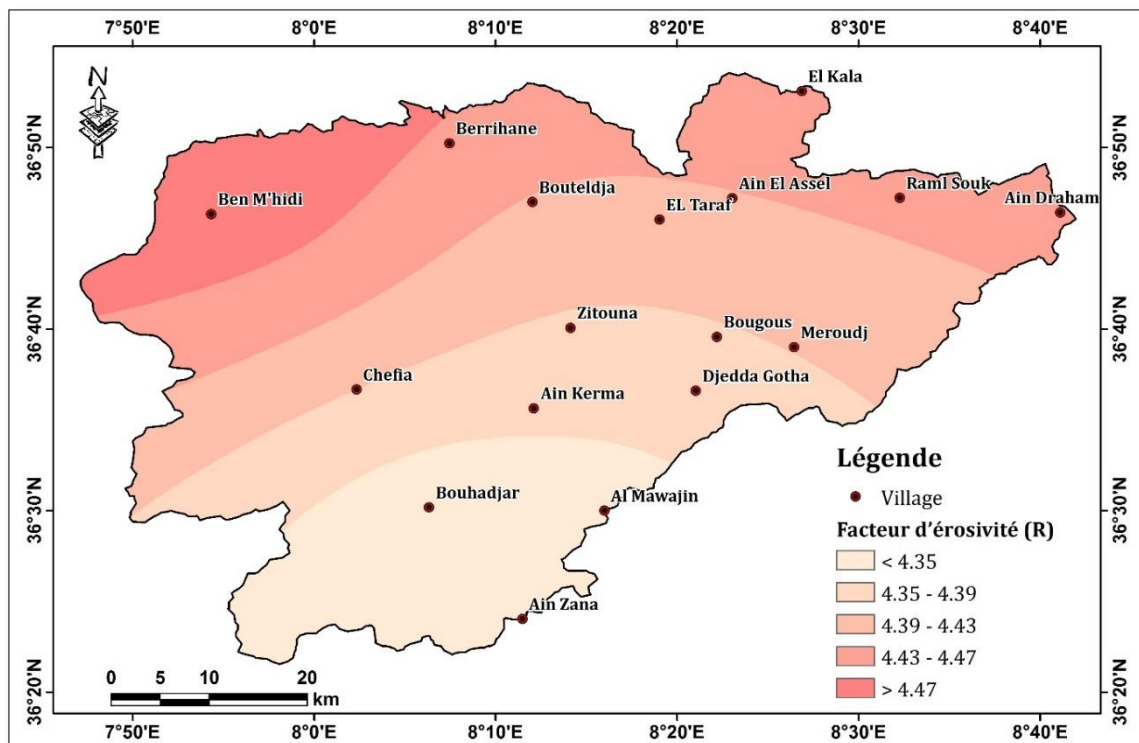


Figure 25 : Le facteur d'érosivité (R) dans le bassin versant Mafragh

IV.4. Facteur du couvert végétal (C) :

La carte synthétique obtenue (Fig.26) montre que les valeurs de facteur « C » oscillent entre 0.05 et 0.9, Les zones forestières montrent des valeurs de « C » entre 0.01 et 0.2 alors que les terres nues montrent des valeurs proches de 1.

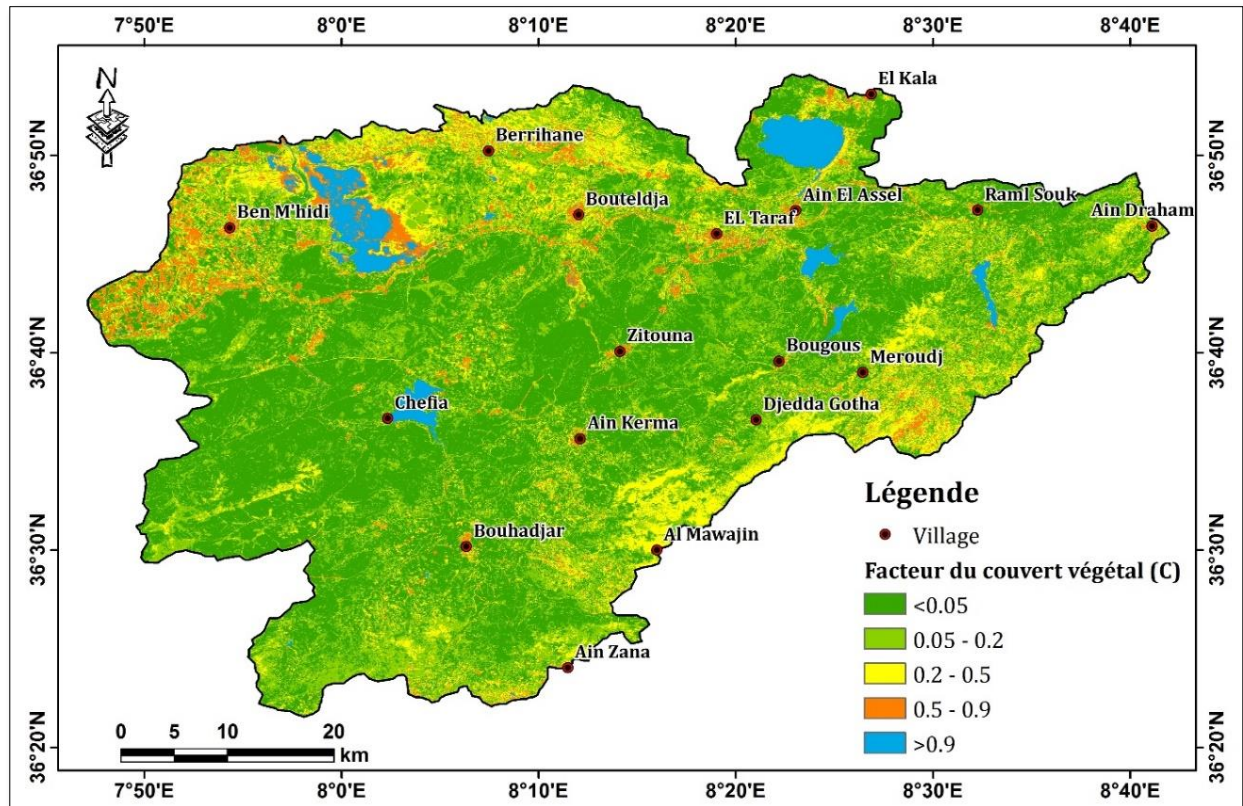


Figure 26 : Le facteur du couvert végétal (C) dans le bassin versant Mafragh

IV.5. Facteur des pratiques anti-érosives (P) :

Les valeurs de « P » sont inférieures ou égales à 1. La valeur 1 est attribuée aux terrains sur lesquels aucune des pratiques citées n'est utilisée. Les valeurs de P varient selon la pratique adoptée et aussi selon la pente. Dans toute la surface de la région d'étude, il n'y a pas d'aménagements antiérosifs spectaculaires. Dans ce contexte, la valeur $P = 1$ a été attribuée à toute la superficie.

IV.6. Estimation des pertes de sols (A) :

La carte de pertes en sols (Fig. 27) résultante de la superposition des cartes de facteurs du modèle USLE, notamment l'agressivité climatique « R » (ou érosivité des précipitations), l'érodibilité des sols « K » et l'effet combiné du degré et de la longueur de la pente « LS », la couverture végétale « C » et les pratiques antiérosives « P ». La combinaison et le traitement sous ArcGis de ces facteurs ont permis d'élaborer à l'échelle de bassin versant étudié la carte de risques d'érosion. La carte de l'érosion a donné une valeur moyenne du taux d'érosion de 5.52 t/ha/an. La valeur obtenue à l'échelle de bassin versant a ensuite été regroupée à savoir la gravité, en 5 classes de valeurs : très faible, faible, modérée, forte et très forte.

- Une première classe regroupe les zones ayant un taux d'érosion comprise entre 0 et 0.5 t/ha/an elle constitue 58.25% de la superficie du bassin et couvre principalement le secteur Nord du bassin.
- Une deuxième classe qui regroupe les zones avec un taux d'érosion compris entre 0.5 et 1 t/ha/an. Elle constitue 24.69 % de la superficie du bassin versant et se focalise principalement au centre du bassin versant.
- Une troisième classe qui regroupe les zones avec un taux d'érosion compris entre 1 et 5 t/ha/an. Elle représente 14.99 % de la superficie du bassin versant.
- La quatrième classe qui regroupe les zones avec un taux d'érosion compris entre 5 et 10 t/ha/an. Elle représente 1.45 % de la superficie du bassin. La dernière classe qui montre un taux d'érosion supérieur à 10 t/ha/an, avec seulement un pourcentage de 0.43 %. Elle occupe principalement les sommets de montagnes.

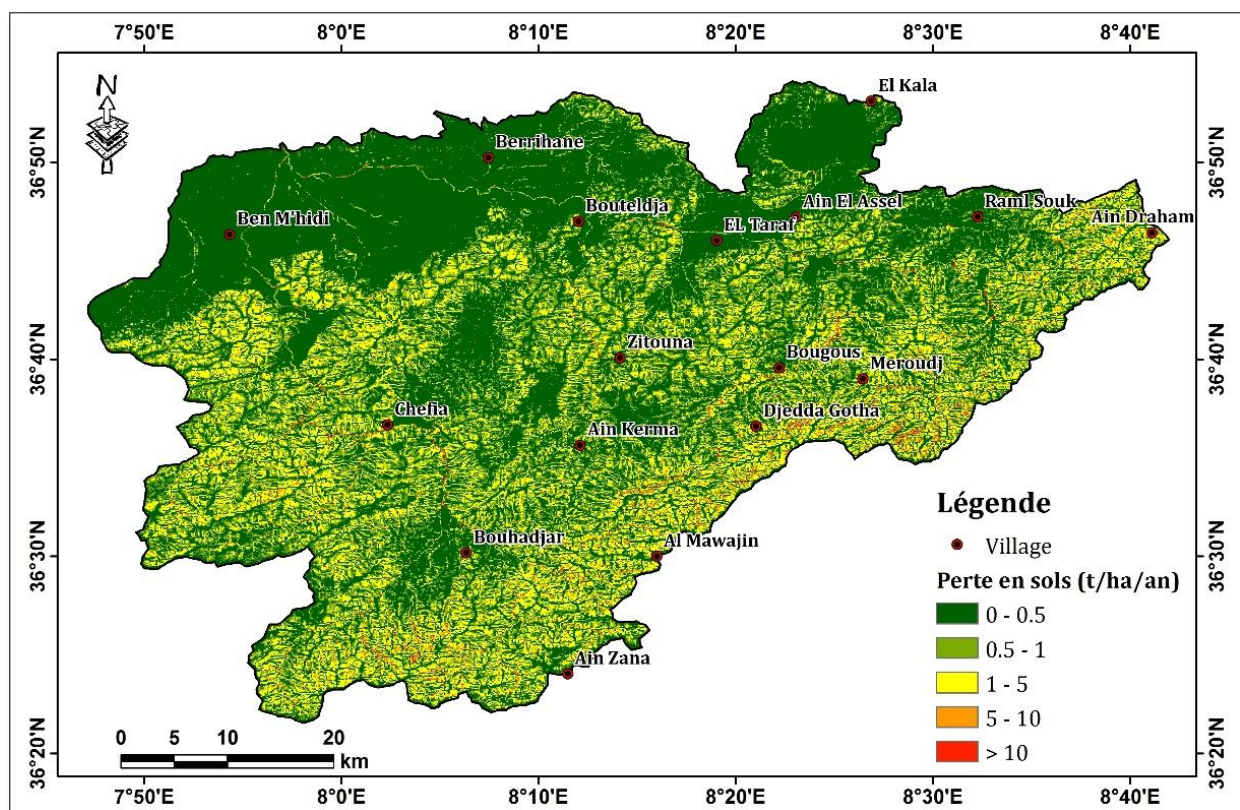


Figure 27 : Les risques d'érosion dans le bassin de l'oued Mafragh

La représentation des résultats obtenue à partir l'interaction de la carte de risque avec la carte d'occupation de sol (Fig. 29) montre une nette et importante influence du couvert végétal sur la réduite de comportement érosif des sols, suivi par les facteurs d'érodibilité et la topographie, surtout la pente et estiment que le bassin a dû faire face à une perte de sol très faible à très forte.

La classe d'érosion très faible par rapport aux autres classes (0 - 0.5 t/ha/an) coïncide avec une zone de forêt dense.

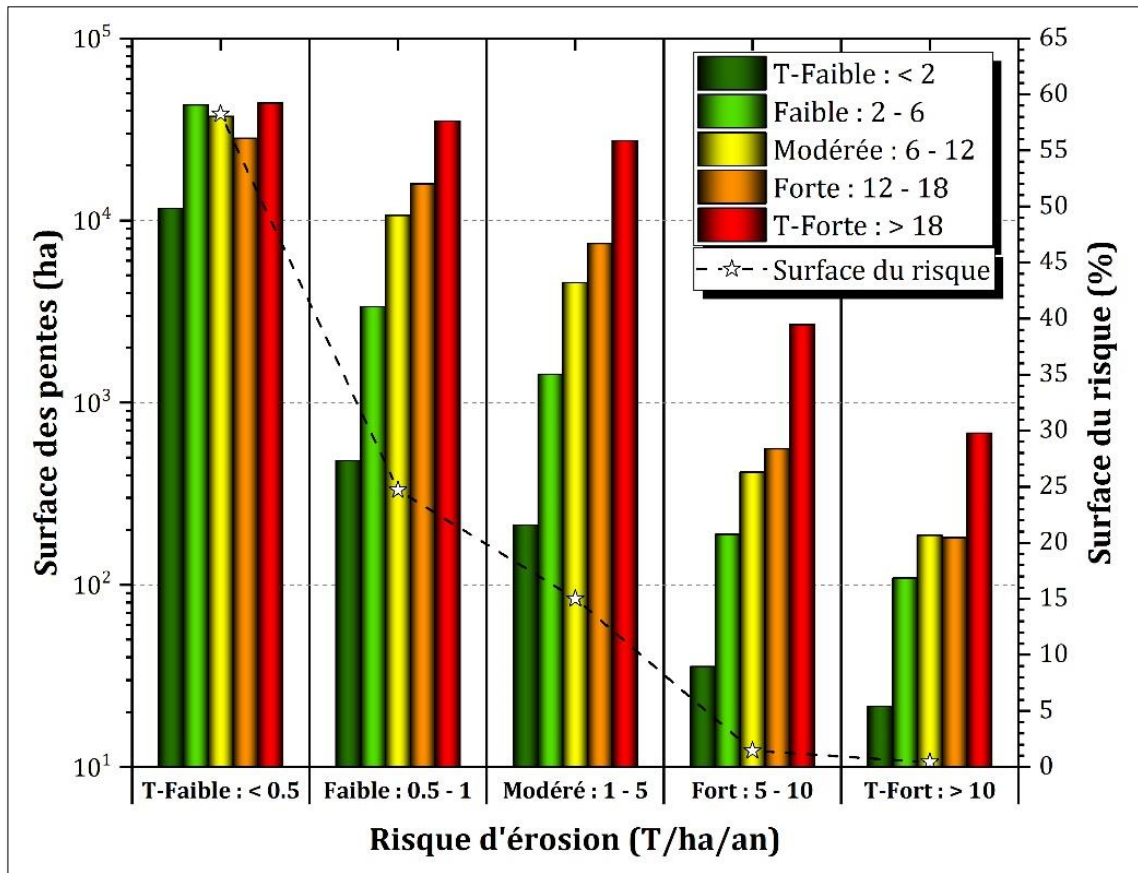


Figure 28 : Répartition des surfaces de pentes en fonction des risques d'érosion

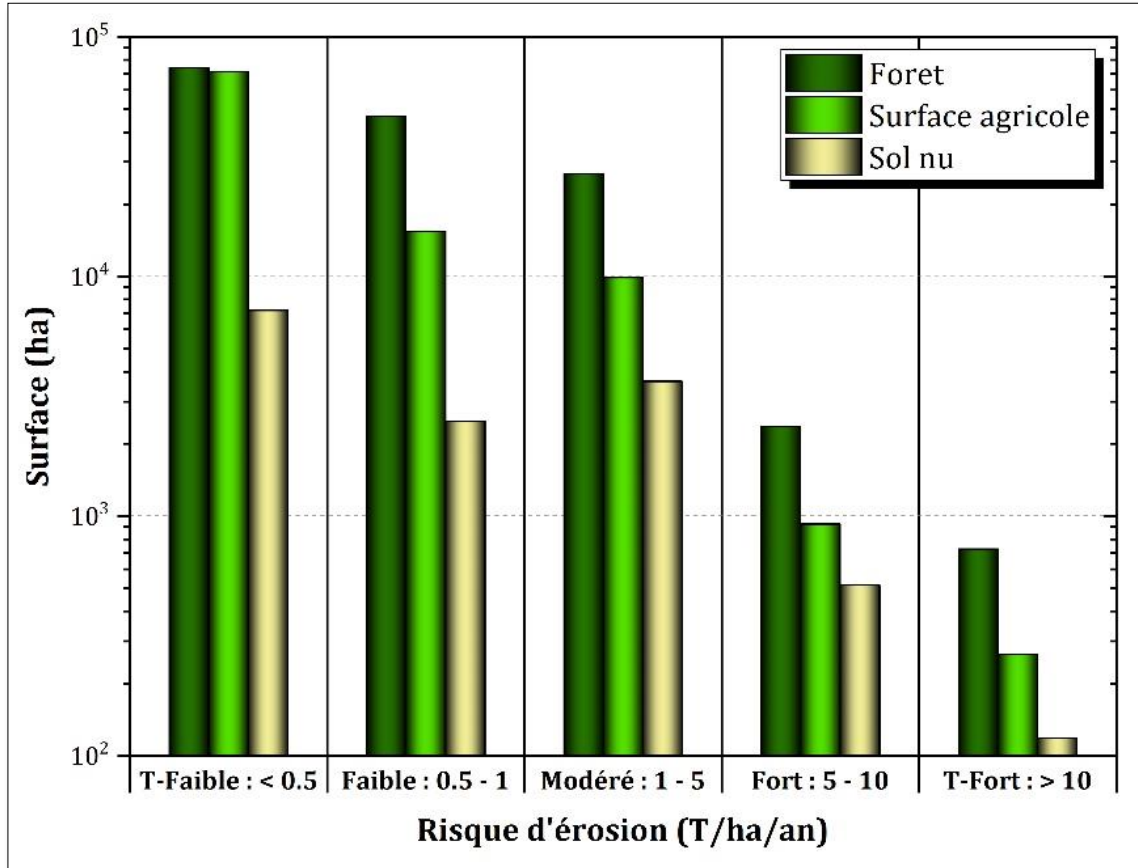


Figure 29: Répartition des surfaces d'occupation du sol en fonction des risques d'érosion

Avec l'analyse des cartes de pentes du bassin versant d'oued Mafragh, on observe dans ces régions les valeurs du facteur topographique élevées traduites par des altitudes et pentes élevées. L'analyse de l'histogramme de surface des pentes en fonction de risque d'érosion dans la zone d'étude (Fig. 28) montre une dominance des pentes moyennes à fortes dans ces zones, ce qui nous permet d'attribuer ces taux élevés d'érosion à l'augmentation de l'effet de la pente. L'impact du facteur topographique apparaît clairement dans les zones où coïncide une pente moyenne à forte sur des forêts ou surfaces agricoles et surfaces nues (Fig. 29). Au niveau de ces trois types d'occupation du sol, les taux d'érosion augmentent sensiblement avec la pente et la dominance de sols peu évolués manifestant une érodibilité élevée atteignant 242 ce qui contribue à accentuer les pertes en sols. L'analyse de cartes de risque d'érosion, en comparaison avec les cartes des différents facteurs, montre une nette et importante influence de l'occupation de sol sur le comportement érosif des sols, suivi par les facteurs d'érodibilité et la topographie, surtout la pente.

IV.7. Validation :

Le bassin de l'oued Bounamoussa, selon les levés bathymétriques effectués par l'ANBT (l'agence nationale des barrages et transferts), en 1965, 1986 et 2004 le barrage Chaffia a perdu à la date de mai 2004 un volume de l'ordre de 12.17 Hm^3 soit environ 7.12 % de sa capacité de l'année de 1965. Cela correspond à une perte moyenne par an entre 1965 et 2004 de l'ordre de $312000 \text{ m}^3/\text{an}$ de son volume en raison de la sédimentation. (Bouzeria, 2018) Ce taux correspond à un total de dépôt solide de $468000 \text{ t}/\text{an}$, si on considère que la densité de sédiment est égale à $1.5 \text{ t}/\text{m}^3$. En outre, au cours de cette période, l'estimation de la moyenne annuelle de la sédimentation depuis la mise en eau du barrage de Chaffia (1965) jusqu'en 2004 résulte en un rendement des sédiments de $8.14 \text{ t}/\text{ha}/\text{an}$. Cette valeur est relativement similaire à la valeur obtenue par le modèle USLE, la différence entre les deux valeurs est estimée à 6.11 %, ce qui indique une certaine compatibilité entre l'érosion des sols estimée par le modèle USLE. En effet la quantité de sédiments qui envase le barrage provient non pas des versants cultivés mais de l'oued, des sapements de berges, des ravines et des glissements de terrain.

V. Hydrochimie :

La statistique des analyses physico-chimiques des eaux superficielles du bassin versant de la Mafragh présente les valeurs maximales, moyennes, minimales et les écarts types dans le Tableau 17 ci-dessous.

Tableau 17 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux superficielles du bassin Versant de la Mafragh de deux dates (septembre et avril)

Paramètres	Paramètres statistiques							
	Avril				Septembre			
Mois	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type

T°C	15.75	23.40	19.98	2.62	21.40	25.32	23.78	1.45
pH	6.27	8.70	7.99	0.72	7.37	9.45	8.32	0.57
CE	242	6260	1513.73	2053.14	345	7190	1440.09	2011.05
O ₂	6.16	13.60	8.67	2.32	4.55	9.75	7.87	1.70
TDS	157.00	3940	963.18	1298.03	225	4530	915.73	1265.82
PO ₄	0.03	27.20	4.98	7.87	0.70	5.60	2.59	1.54
NO ₃	23	51	32.45	8.36	28	49	37.64	7.95
Cl	28	611.20	108.96	168.07	42	632.30	185.74	224.96
SO ₄	21	798.30	150.11	220.90	54	752.40	183.54	199.03
HCO ₃	105	1064	262.09	269.66	54	814	209.50	221.82
K	4.60	51	13.52	13.22	2.90	46.50	13.32	14.12
Na	22.83	392	76.39	105.94	28.02	392	123.75	141.13
Mg	10.44	130	29.85	33.73	9.55	195	46.88	54.33
Ca	35.60	357	89.65	90.20	35.70	321.50	87.15	84.79

V.1. Faciès chimiques des eaux :

V.1.1. Formule ionique :

Le traitement des analyses chimiques des eaux de l'année 2016 a permis de déterminer pour chaque analyse considéré un faciès chimique. L'ensemble de ces résultats est résumé dans le tableau suivant :

Tableau 18 : Formule ionique et faciès chimique des eaux d'Avril 2016

Point d'eau	Formule ionique	Facièce chimique
Lac Oubiera	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ $rCa^{+2} > rMg^{+2} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté Calcique
Lac des Oiseaux	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ $rCa^{+2} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{+2}$	Bicarbonaté Calcique
Lac Noir	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ $rCa^{+2} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{+2}$	Bicarbonaté Calcique
Lac Mekhada	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$ $rCa^{+2} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{+2}$	Bicarbonaté Calcique
Oued Kebir amont	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ $rCa^{+2} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{+2}$	Bicarbonaté Calcique
Oued Kebir centre	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$ $rCa^{+2} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{+2}$	Bicarbonaté Calcique
Oued Kebir aval	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ $rCa^{+2} > rMg^{+2} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté Calcique
Oued Bounamoussa amont	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^-$ $rCa^{+2} > rMg^{+2} > (rNa^+ + rK^+)$	Sulfaté Calcique
Oued Bounamoussa centre	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$ $rCa^{+2} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{+2}$	Bicarbonaté Calcique
Oued Bounamoussa aval	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$ $rCa^{+2} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{+2}$	Bicarbonaté Calcique
Oued Mafragh	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ $(rNa^+ + rK^+) > rCa^{+2} > rMg^{+2}$	Bicarbonaté et Chloruré Sodique

Tableau 19 : Formule ionique et faciès chimique des eaux de Septembre 2016

Point d'eau	Formule ionique	Faciès chimique
Lac Oubiera	$Cl^- > SO_4^{-2} > HCO_3^-$ $Na^+ + K^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2}$	Chloruré Sodique
Lac des Oiseaux	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$ $Na^+ + K^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2}$	Chloruré Sodique
Lac Noir	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$ $Na^+ + K^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2}$	Chloruré Sodique
Lac Mekhada	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$ $Na^+ + K^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
Oued Kebir amont	$SO_4^{-2} > Cl^- > HCO_3^-$ $Na^+ + K^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2}$	Sulfaté Sodique
Oued Kebir centre	$SO_4^{-2} > HCO_3^- > Cl^-$ $Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^+ + K^+$	Sulfaté Calcique
Oued Kebir aval	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$ $Mg^{+2} > Ca^{+2} > Na^+ + K^+$	Bicarbonaté Magnésien
Oued Bounamoussa amont	$HCO_3^- > SO_4^{-2} > Cl^-$ $Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^+ + K^+$	Bicarbonaté Calcique
Oued Bounamoussa centre	$HCO_3^- > SO_4^{-2} > Cl^-$ $Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^+ + K^+$	Bicarbonaté Calcique
Oued Bounamoussa aval	$SO_4^{-2} > Cl^- > HCO_3^-$ $Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^+ + K^+$	Sulfaté Calcique
Oued Mafragh	$Cl^- > SO_4^{-2} > HCO_3^-$ $Na^+ + K^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique

L'interprétation des résultats des analyses chimiques au mois d'avril (Fig. 30) des eaux de la région d'étude révèle un faciès dominant de type Bicarbonaté-Calcique représentant 81.82 %. Le second est de type Sulfaté-Calcique correspond à 9.9 %. Et le dernier Bicarbonaté et Chloruré Sodique représente 9.09 %.

Pour les eaux du mois de septembre ont été classé en 5 faciès chimiques, le plus dominant le Chloruré Sodique représentant 45.46 % marqués dans les lacs et l'oued Mafragh.

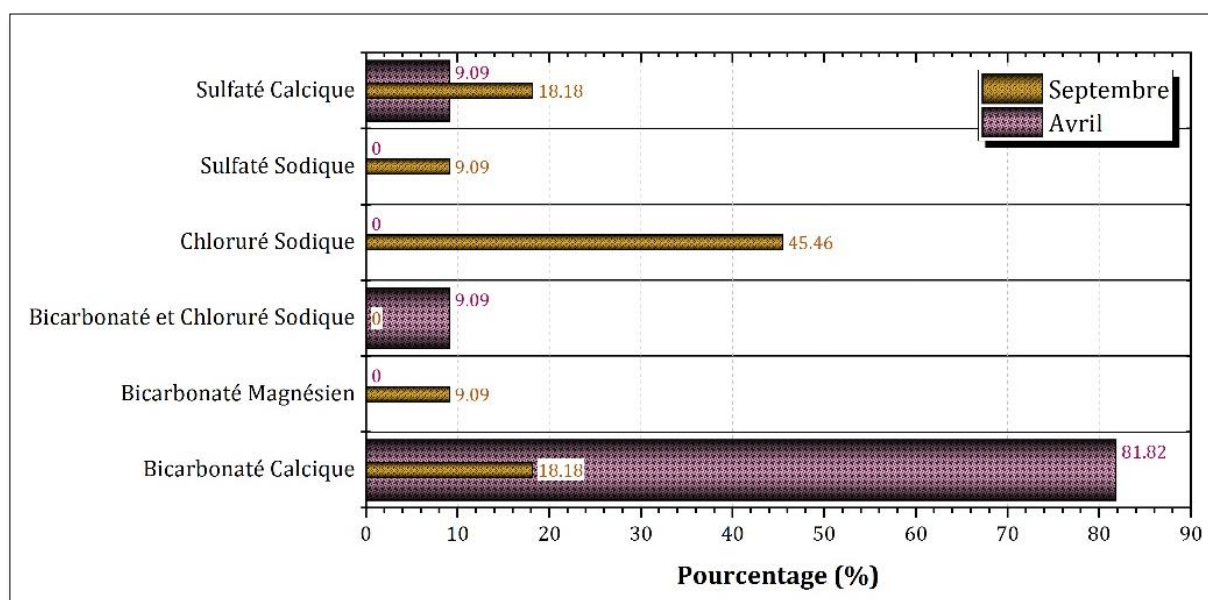


Figure 30 : Représentation graphique des pourcentages des faciès chimiques

V.1.2. Diagramme de piper :

La représentation des analyses chimiques des eaux du bassin versant de la Mafragh sur ce type de diagramme de piper (Fig. 31) permet d'avoir une approche globale de la composition chimique et différencier les familles d'eaux.

L'interprétation du diagramme de la figure 31 a permis de mettre en évidence une concentration très nette du nuage des points localisés dans la partie supérieure, il montre donc un enrichissement en Bicarbonates et en Calcium au mois d'Avril et un enrichissement en Chlorures et en Sodium au mois de Septembre. Un faciès dominant regroupant une famille Bicarbonaté-Calcique avec deux faciès secondaire Sulfaté calcique et Bicarbonaté Chloruré Sodique à la période des hautes eaux et le faciès dominant à la période des basses eaux regroupant une famille Chloré Sodique avec des faciès secondaires Sulfaté Sodique, Sulfaté Calcique, Bicarbonaté Magnésien et Bicarbonaté Calcique.

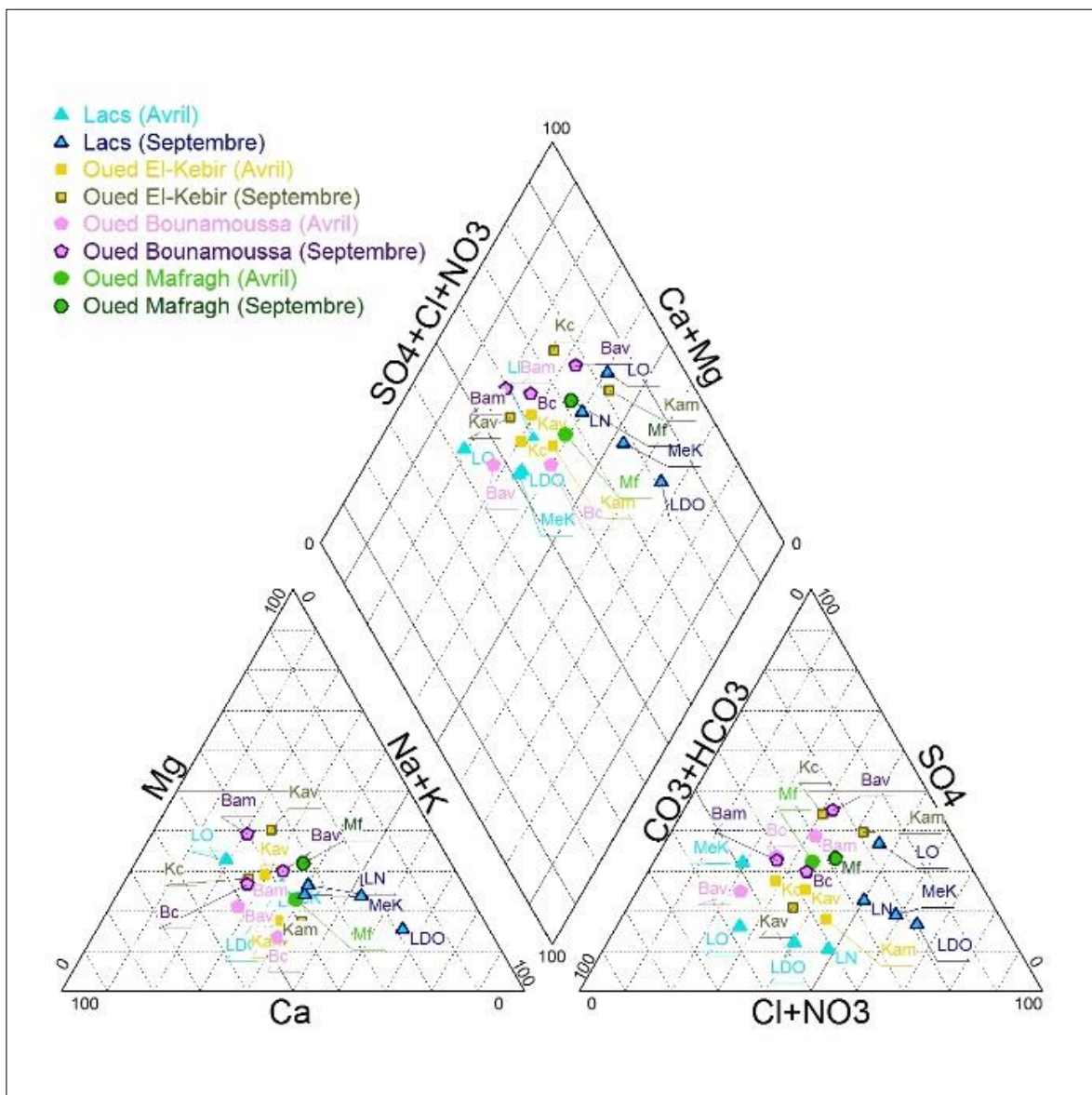


Figure 31 : Faciès chimique du mois de septembre et Avril

V.2. Paramètres physico-chimique et potabilité des eaux :

V.2.1. Température des eaux

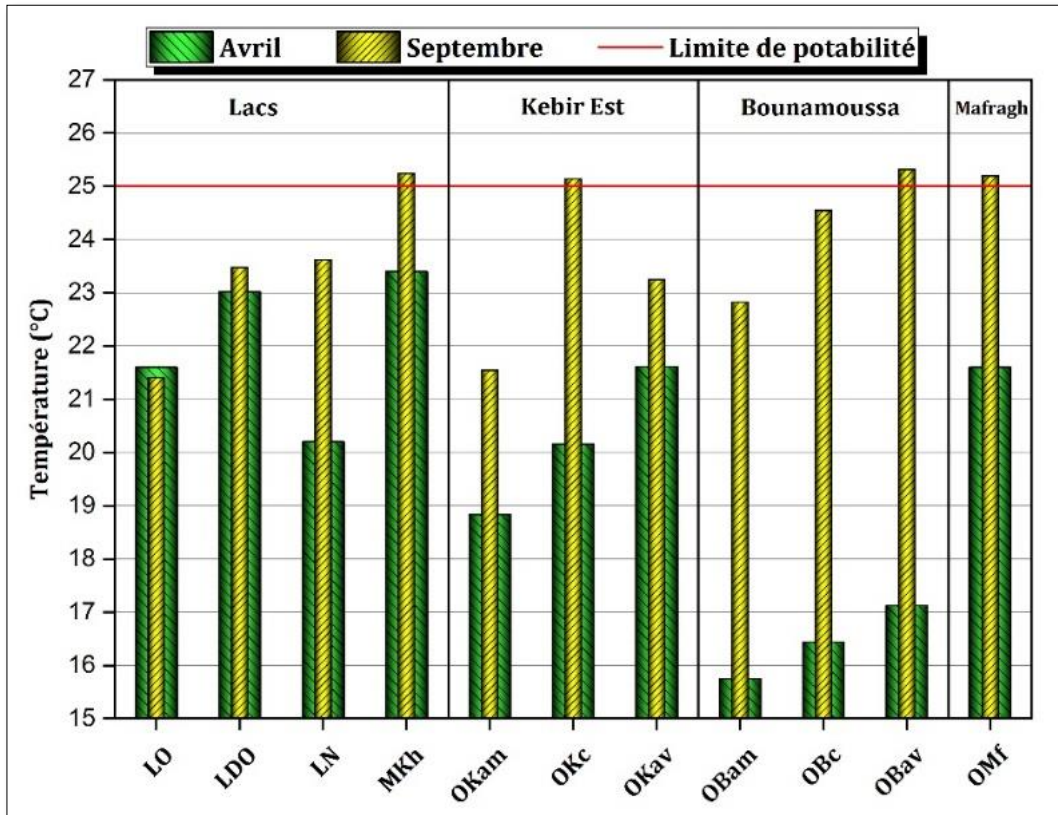


Figure 32 : Variations spatiotemporelle de température

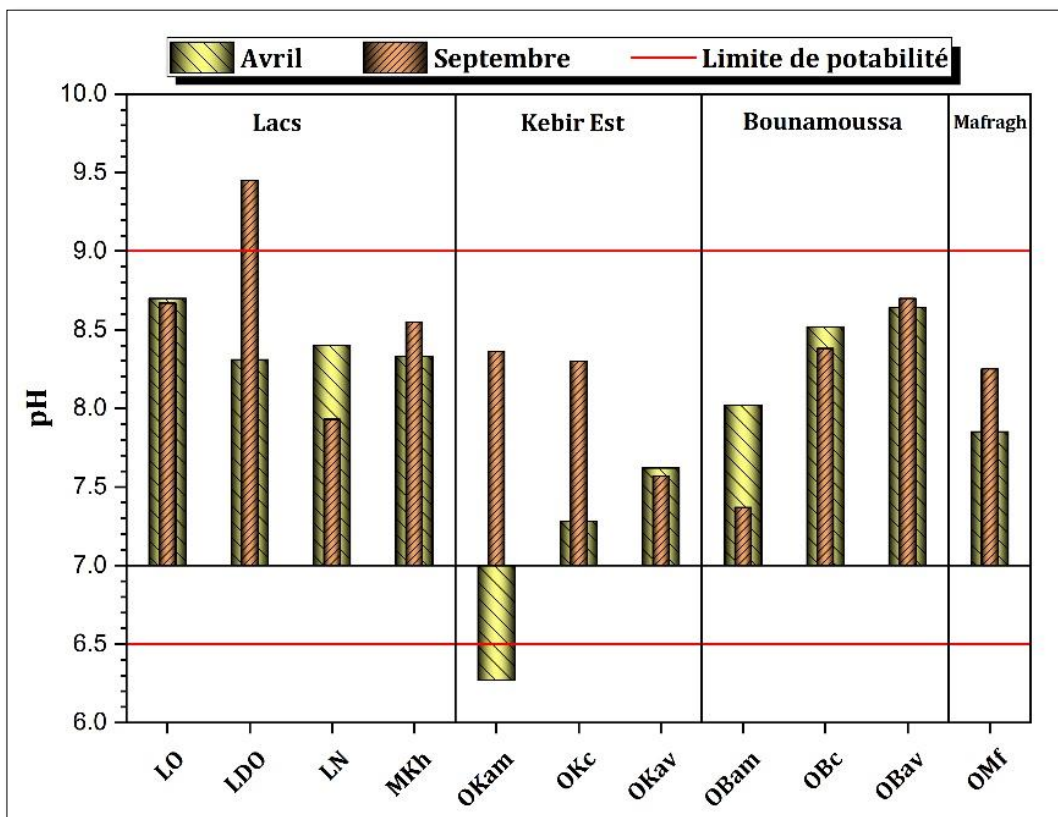


Figure 33 : Variations spatiotemporelle du PH

Dans la zone d'étude les températures enregistrées (Fig. 32) oscillent entre 15.75°C et 23.4°C en période des hautes eaux et entre 21.54°C et 25.32°C en période des basses eaux. La plupart sont dans les normes de potabilité, excepté 4 cas où la température dépasse 25°C.

V.2.2. Potentiel hydrogène (pH) :

Les valeurs de pH (Fig. 33) montrent que les eaux de la région dans les deux périodes se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité $6.5 < \text{pH} < 9$ mais avec des valeurs variables, excepté le lac des oiseaux caractérisé par une valeur maximale de 9.45 dans la période des basses eaux. Par contre oued Kebir amont est caractérisé par une valeur minimale de 6.27.

V.2.3. La conductivité électrique :

Les valeurs mesurées ont été corrigées par rapport à une température standard de 25°C. D'après Les résultats les valeurs les plus élevées sont observées au niveau d'oued Mafragh 7190 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en période des bases eaux et 6260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en période des hautes eaux (Fig. 34) et lac Mekhada 4940 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en période des hautes eaux cette forte minéralisation due à l'intrusion marine pour l'oued de la Mafragh et la présence d'argiles ocre salées et d'évaporites, d'autres part à leur liaison avec la mer par le biais de l'oued Mafragh pour lac Mekhada. Les autres valeurs de conductivité sont dans les normes de potabilité dans les deux périodes des bases eaux et des hautes eaux.

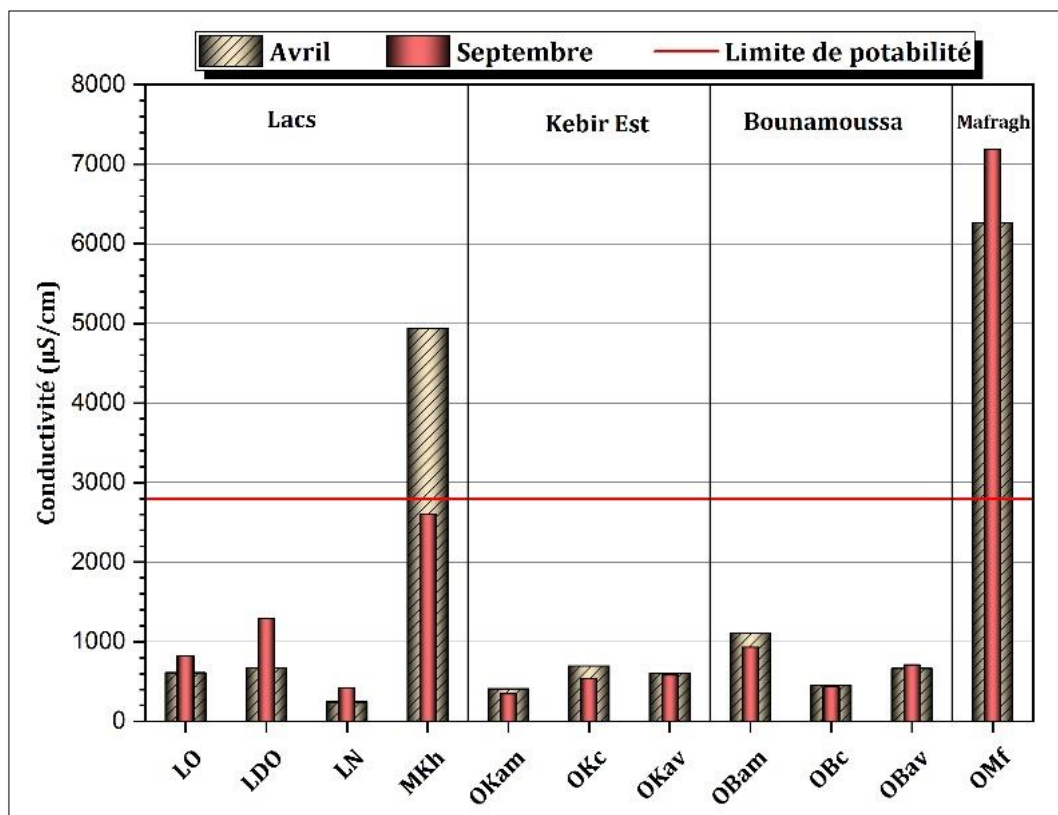


Figure 34 : Variations spatiotemporelle de la conductivité électrique

V.2.4. L'oxygène dissous (O₂) :

Les concentrations en oxygène dissous (Fig. 35) varie dans l'espace et dans le temps avec une valeur minimum 4.83 mg/l au mois de septembre enregistré dans l'oued Kebir Est aval, elle

augmente jusqu'à 13.6 mg/l comme valeur maximal au mois d'avril représentée au niveau du lac Mekhada. Cette variation est à l'origine des apports d'eau en période des hautes eaux.

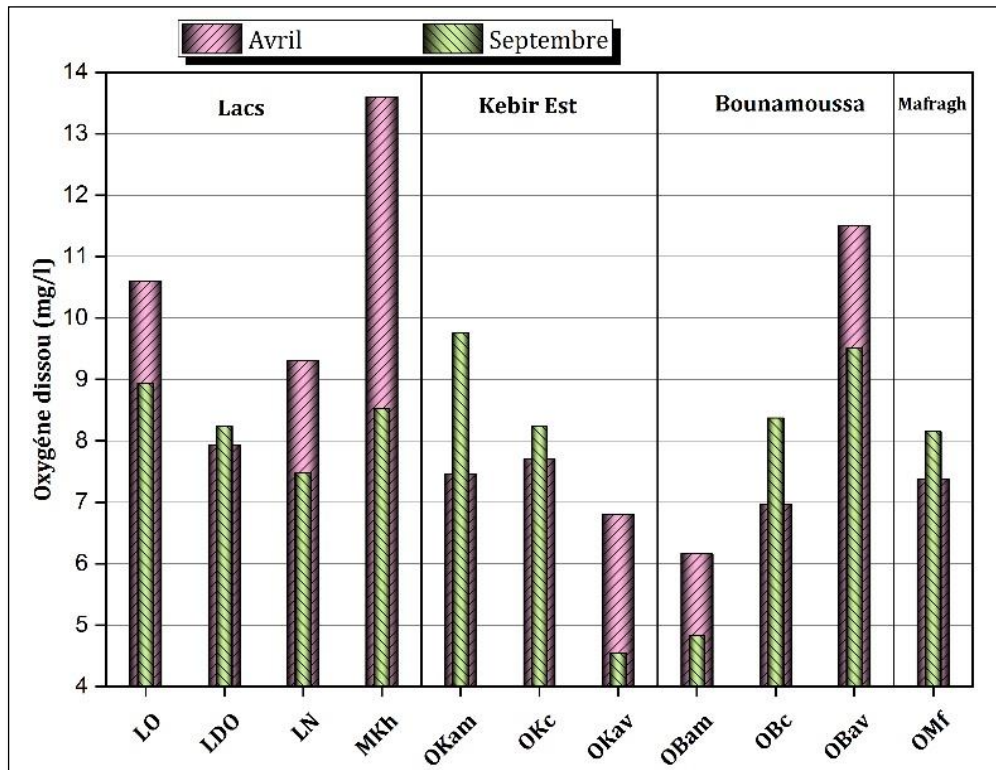


Figure 35 : Variations spatiotemporelle de l'oxygène dissous

V.2.5. Les éléments majeurs :

a. Le Calcium (Ca^{+2}) :

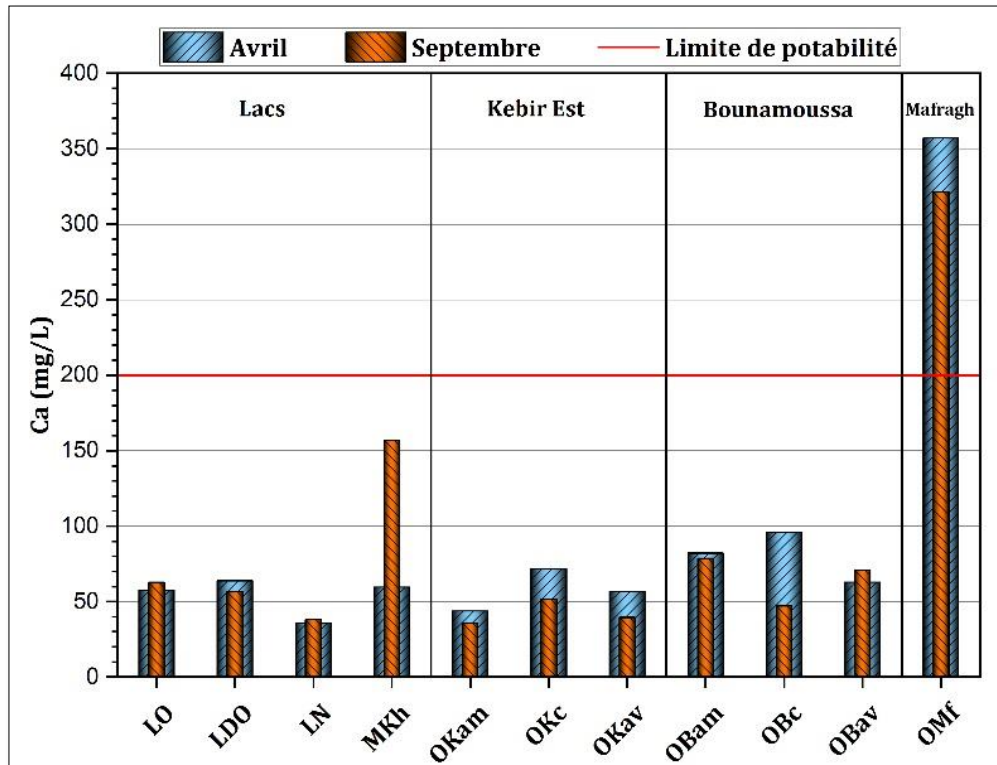


Figure 36 : Variations spatiotemporelle du calcium

L’histogramme (Fig. 36) montre que les concentrations de calcium sont inférieures à la norme pour toute les eaux de la région d’étude varient entre 35.7 mg/l et 157 mg/l dans les deux périodes des hautes eaux et des basses eaux, sauf l’oued Mafragh ou la concentration est supérieur à la norme caractérisée par une valeur maximale 357 mg/l (hautes eaux) 321.5 mg/l et (basses eaux).

b. Le Magnésium (Mg^{+2}):

D’après les valeurs enregistrées (Fig. 37) pour cet élément, on note que l’évolution des teneurs de Mg^{2+} identique à celle du calcium dans les deux périodes des hautes eaux et des bases eaux, avec une différence entre les concentrations (les concentrations de Mg^{2+} inférieur à celle de Ca^{2+}).

La teneur la plus élevée est observée dans l’oued Mafragh 195 mg/l en raison de la présence des évaporites (Khérici, 1993).

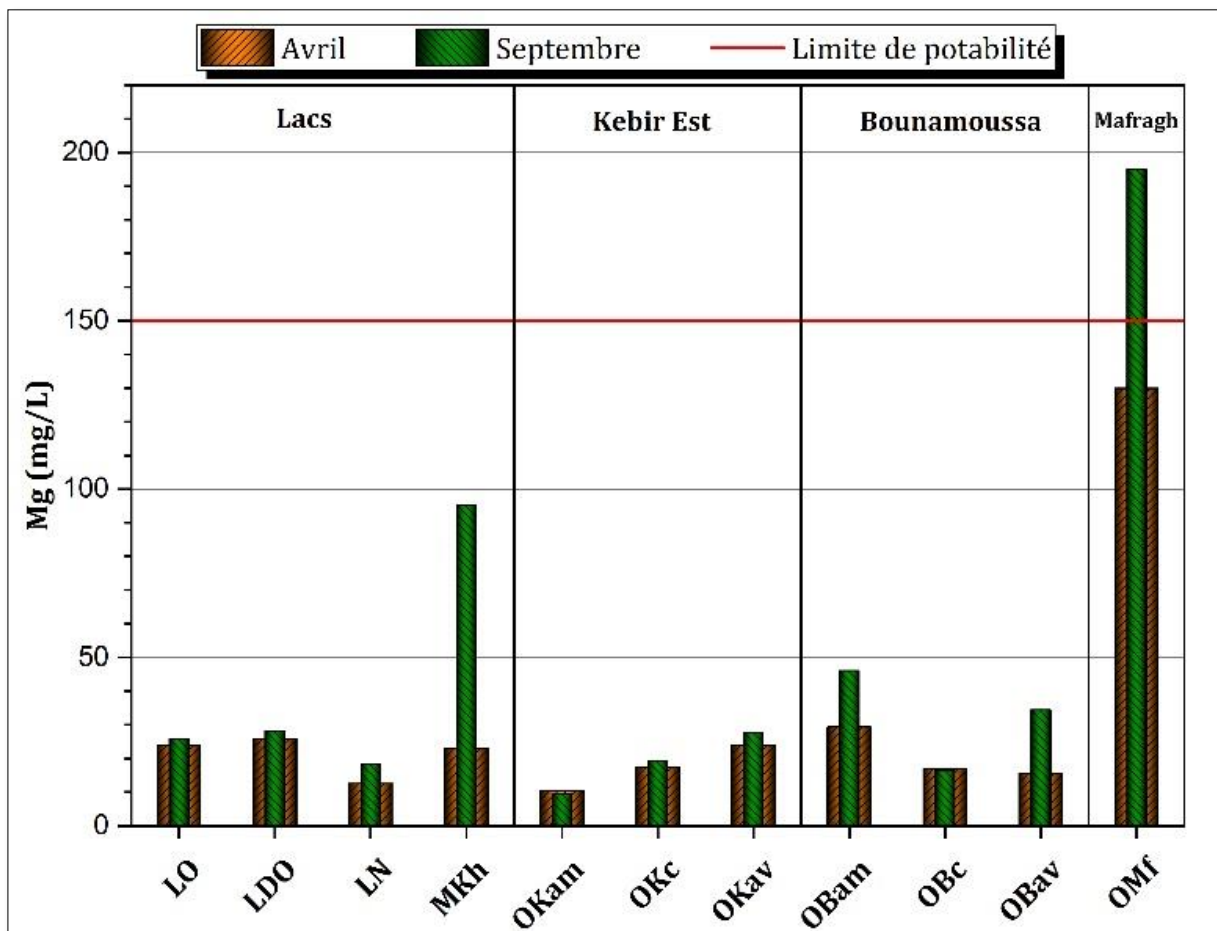


Figure 37 : Variations spatiotemporelle du Magnésium

c. Sodium (Na^+):

Dans la majorité des points d’eau les teneurs du sodium sont varié entre 22.83 mg/l et 84.67 mg/l (Fig. 38) pendant les deux périodes, sauf 3 points d’eau sont caractérisés par de fortes teneurs en Na^+ lac Mekhada et lac des oiseaux dans la période des bases eaux sont due à l’évaporation et l’oued Mafragh avec une teneur très élevé 392 mg/l pendant les deux périodes sont due à l’intrusion marine.

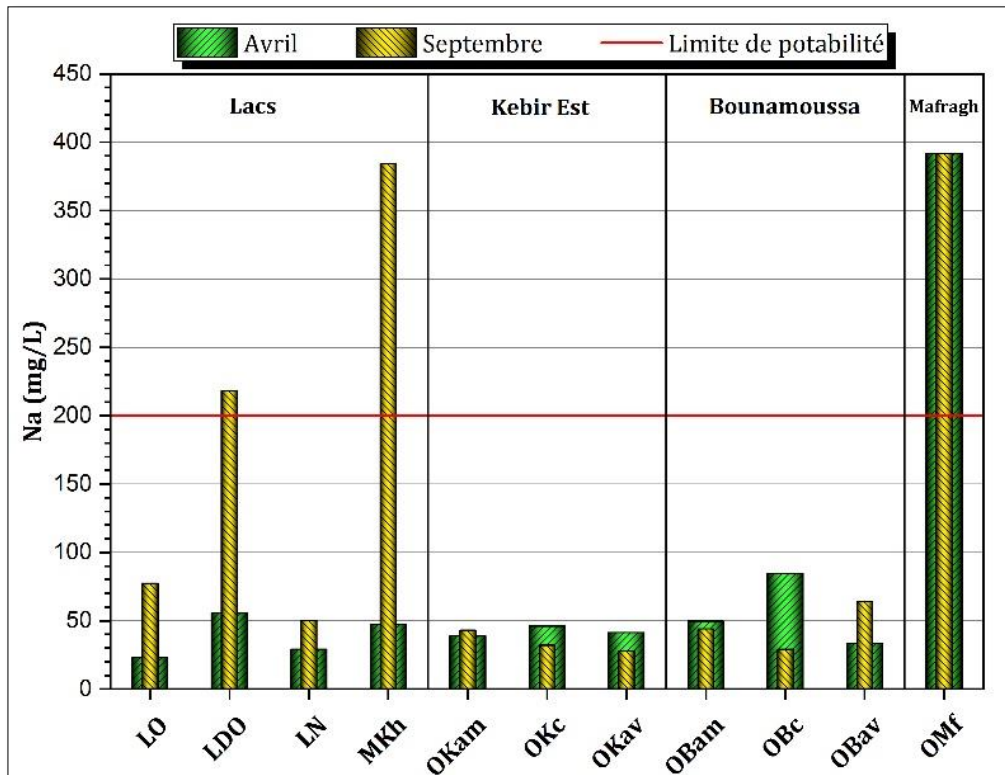


Figure 38 : Variations spatiotemporelle du Sodium

d. Le Potassium (K^+):

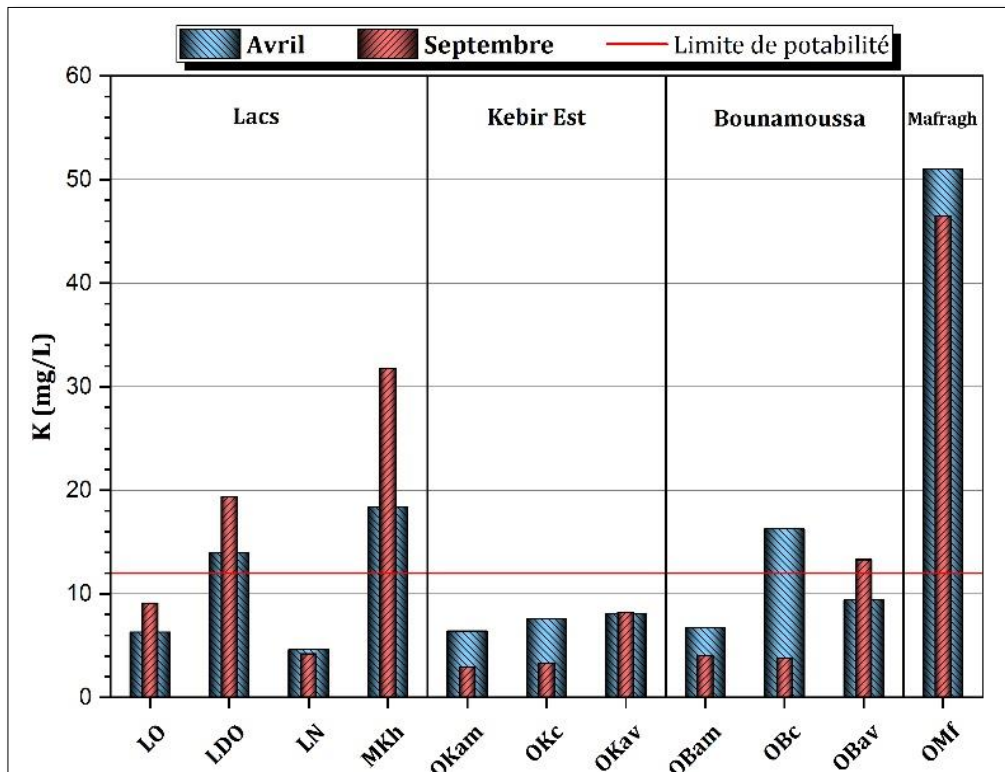


Figure 39 : Variations spatiotemporelle du Potassium

Les fortes teneurs de ces éléments sont observées dans les eaux d’oued Mafragh (Fig. 39) avec un maximum de 51 mg/l (haute eaux) et 46.5 mg/l (basses eaux) les faibles concentrations se localisent en amont de l’oued Kebir avec un minimum de 2.9 mg/l.

e. Les Bicarbonates (HCO_3^-) :

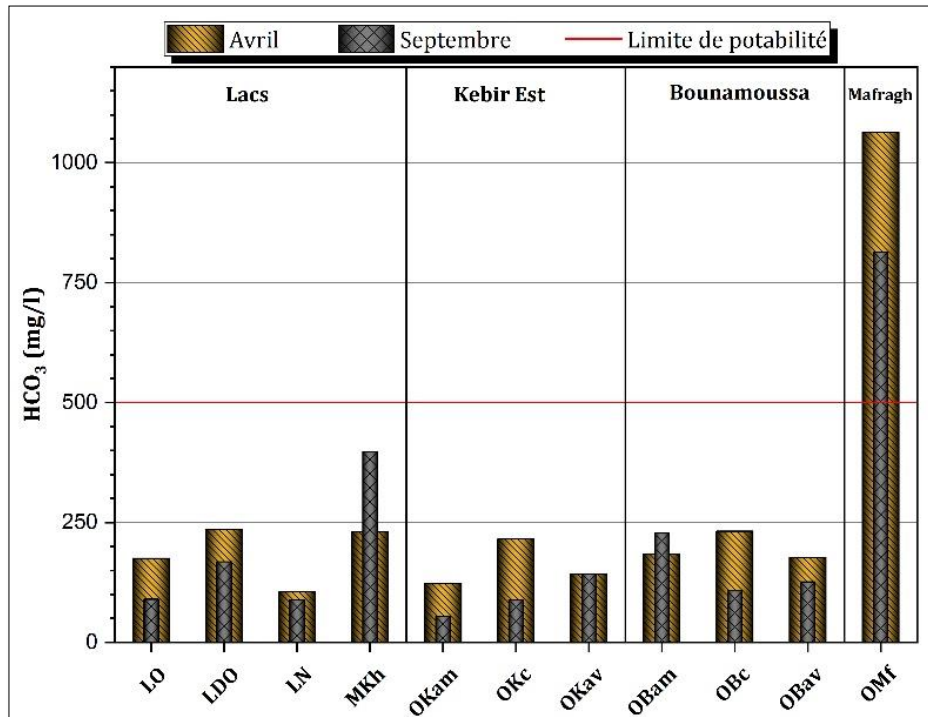


Figure 40 : Variations spatiotemporelle du Bicarbonate

Les résultats montrent une faible variation des concentrations des bicarbonates pendant les deux périodes (Fig. 40) et au niveau de tous les points d'eau, elles varient entre 54 mg/l et 397 mg/l. Sauf pour l'oued Mafragh le maximum égal à 1064 mg/l au mois d'avril cette concentration dépasse la norme.

f. Les Chlorures (Cl^-) :

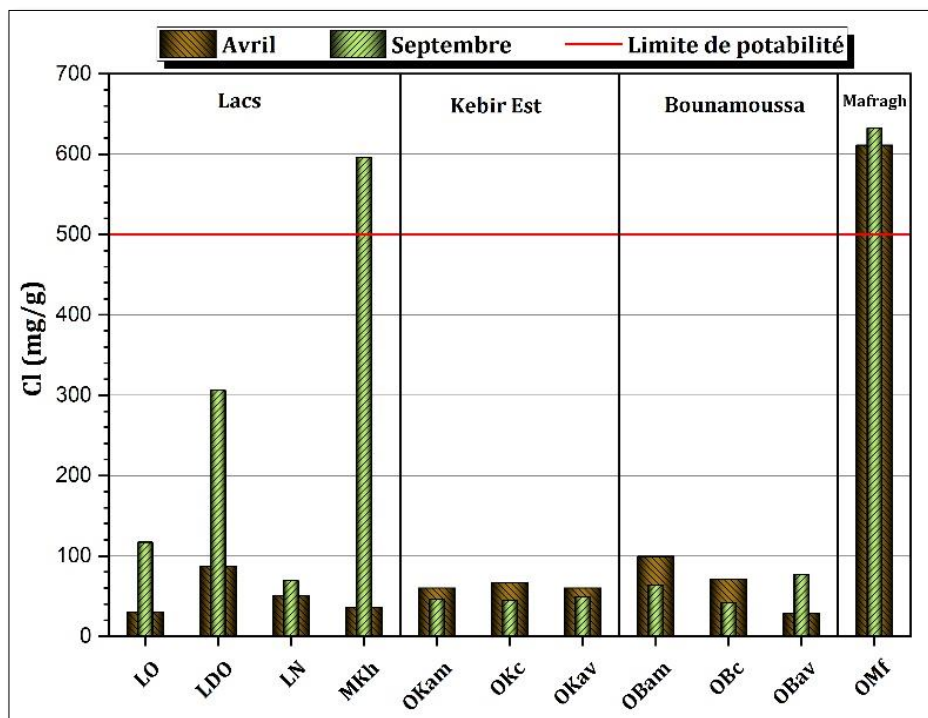


Figure 41 : Variations spatiotemporelle du Chlorures

Les teneurs des chlorures présentent pour la plupart des points des concentrations (Fig. 41) sont inférieure à la norme, dans l'oued Kebir et Bounamoussa la variation est faible et la valeur minimale enregistré au niveau d'oued Bounamoussa aval. Nous notons une augmentation des chlorures dans les lacs et oued Mafragh durant la saison sèche avec des fortes teneurs sont celle des marais de la Mekhada et dans l'oued Mafragh avec une valeur maximale 814 mg/l, ces valeurs élevées proviennent de la dissolution des sels par lessivage de terrains, vu leurs fortes solubilités. Et par l'effet de température.

g. Les Sulfates (SO_4^{2-}):

Les sulfates sont présents dans l'eau de l'oued Mafragh (Fig. 42) avec des fortes concentrations durant la période des hautes eaux 798.3 mg/l, et pour les autre points d'eau présentent avec des teneurs inférieures à la norme. Donc les lacs la concentration durant la saison sèche augmente ces fortes concentrations dans la majorité des points peuvent être liées à la dissolution des formations gypseuses par lessivage des évaporites d'une part ou/et les apports anthropiques par les engrais chimiques sulfatés d'autre part.

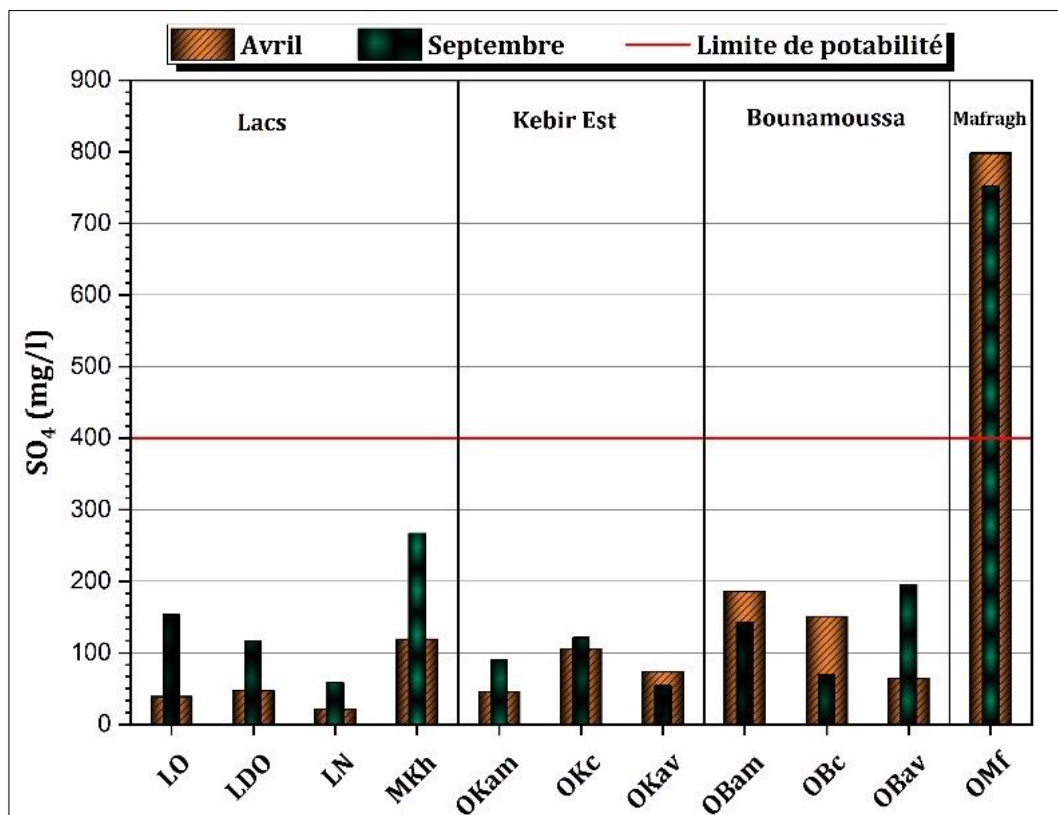


Figure 42 : Variations spatiotemporelle du Sulfate

V.2.6. Les nutriments

a. Les nitrates (NO_3^-):

Les teneurs en nitrate (Fig. 43) varient de 23 mg/l et 48 mg/l durant les deux périodes ces concentration ne dépassent pas la valeur limité pour les eaux potables de 50 mg/l sauf lac des oiseaux 51 mg/l au mois d'avril. Ce qui indique une pollution de cette eau qui est liée à plusieurs

facteurs dont le plus important est l'activité agricole où l'utilisation excessive des engrais contribue à l'augmentation des teneurs des nitrates.

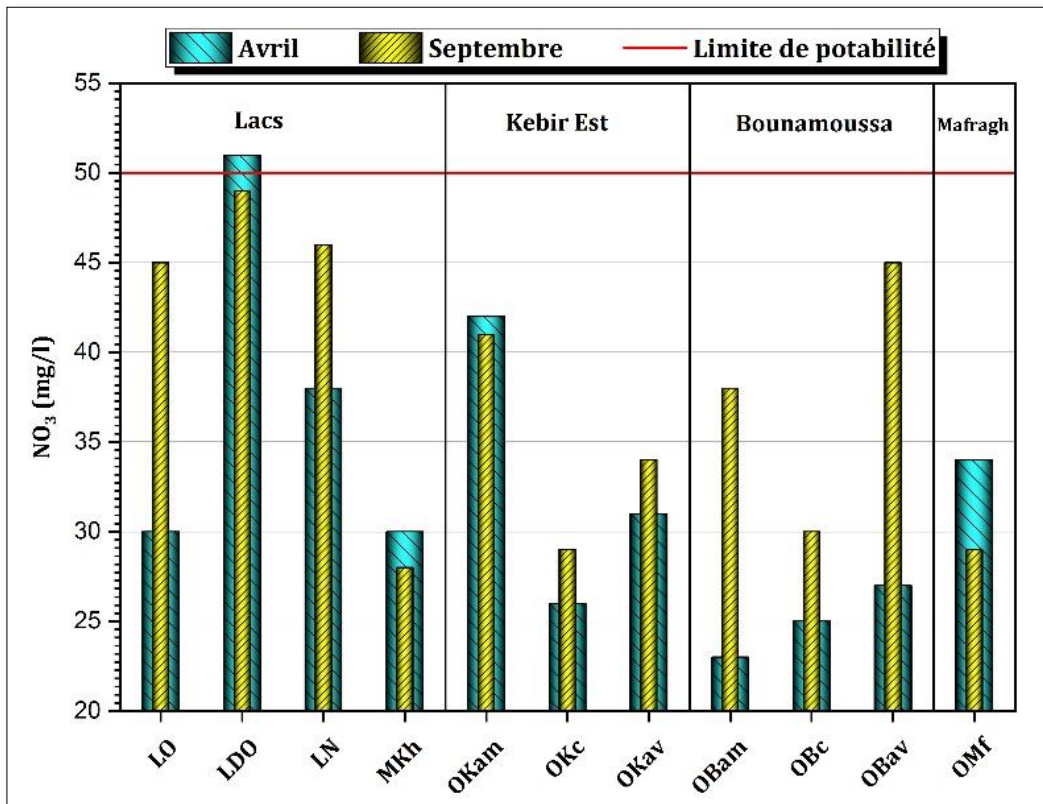


Figure 43 : Variations spatiotemporelle du Nitrate

b. L'ortho-phosphate (PO₄³⁻) :

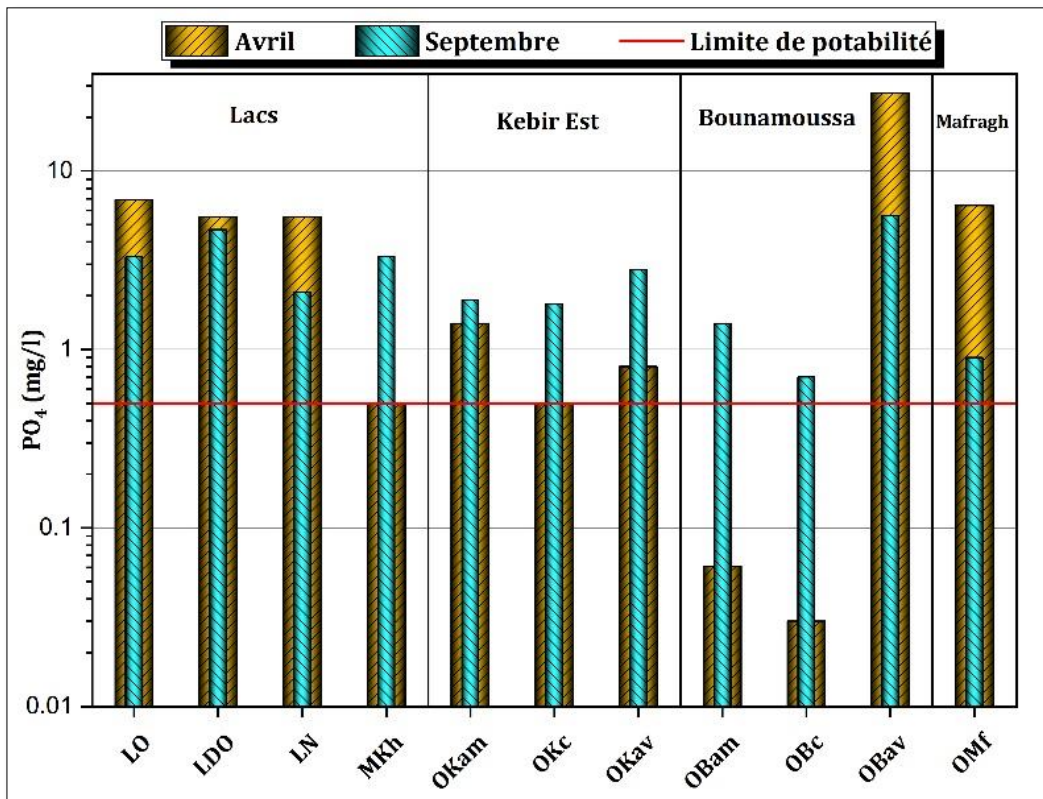


Figure 44 : Variations spatiotemporelle du Phosphate

Les teneurs en phosphate varie de 0.03 mg/l et 5.6 mg/l (Fig. 44) et dépasse les normes de potabilité des eaux (0.5 mg/l) dans la majorité des points de prélèvement pendant les deux périodes. L'origine de cette pollution est liée aux activités agricoles avec l'utilisation excessive des engrais phosphatés.

V.3. Aptitude des eaux à l'irrigation :

La surface agricole occupe 35.47 % de la superficie totale du bassin versant d'oued Mafragh (782.58 km²). Cette activité agricole demande beaucoup d'eau afin de subvenir aux besoins des diverses cultures.

Une étude chimique détaillée des eaux pour l'irrigation est nécessaire pour mettre en évidence le danger que présente certains éléments chimiques pour les plantes tiennent compte non seulement des caractères chimiques de l'eau, mais également de la nature des cultures, du type de sols, du climat, des méthodes d'irrigation et des propriétés de drainage du sol.

Sur les deux diagrammes de Riverside (Fig. 45) on note une concentration de la majorité des eaux de la zone d'étude dans la classe Bonne C2S1. Cela signifie une moyenne salinité, excepté le cas d'oued Mafragh se trouve à la classe mauvaise C5S2 dans les deux périodes. Ainsi le lac Mekhada à la classe mauvaise C5S1 au mois d'avril et à la classe Médiocre C4S2 au mois de Septembre et le lac des oiseaux est dégradé de la classe bonne C2S1 vers la classe admissible C3S2 au mois de Septembre ceci est expliquée par l'augmentation de la conductivité et le SAR.

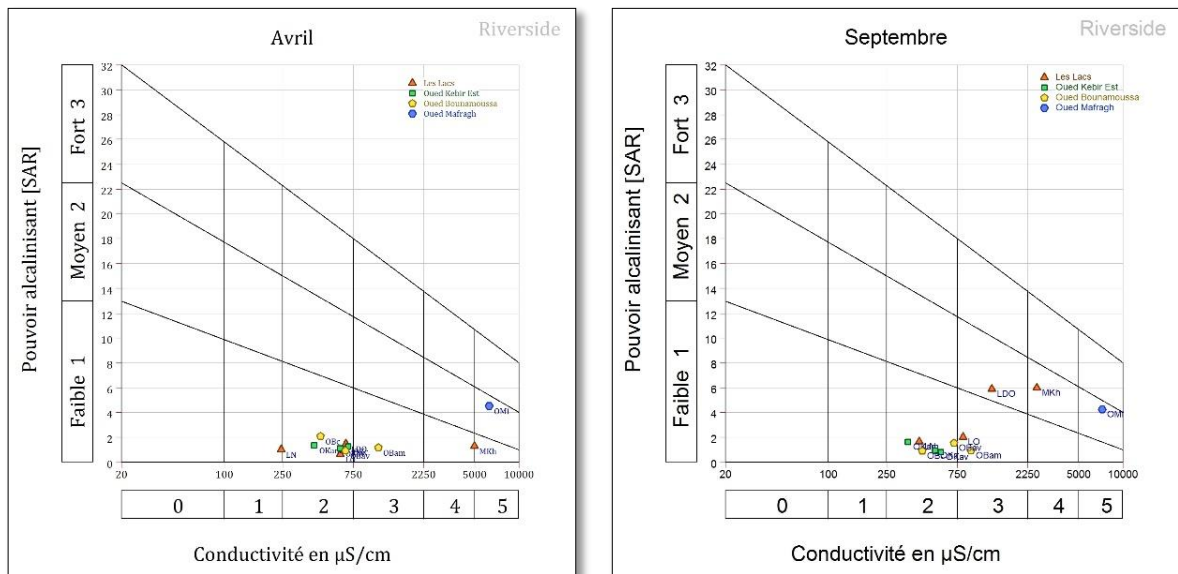


Figure 45 : Classification des eaux à l'irrigation en fonction du SAR (diagramme de Riverside)

VI. Conclusion :

Les paramètres morphométrique montrent que les sous bassins versants de l'oued Mafragh présentent une forme très allongée dans l'ensemble (1,77 < Kc < 1,95) malgré la différence de taille. Le bassin est faiblement drainée Dd = 0,5. L'indice de pente moyenne est de 9,6%, Selon la

taille, les reliefs des bassins et la densité de drainage ; Le coefficient de torrentialité est de 0.04. Le temps de concentration de 25.69 h. L'analyse de différentes caractéristiques physiques et géomorphologiques du bassin versant consiste à évaluer quantitativement la forme, la pente, l'orientation, le relief, la quantité et la disposition du chevelu de réseau hydrographique. D'après les résultats obtenus par le calcul des indices morphométrique on constate que le bassin versant de l'oued Mafragh est vulnérable aux risques naturels, au niveau de l'amont les valeurs des pentes fortes >18, favorise la naissance du risque d'érosion hydrique. Par contre au niveau de l'aval les pentes sont faibles.

L'estimation quantitative des pertes en sols, obtenue par le modèle RUSLE sous SIG. Elle montre que :

- 14.99 % de la superficie du bassin est soumise aux risque modéré d'érosion hydrique avec des pertes moyenne annuelles 5.52 t/ha/an.
- Les faibles pertes se localisent en grande partie 58.25% en aval de la zone d'étude sur des pentes faibles (0-2%), des terrains à faible érodibilité (0-0.5).
- Les pertes maximales se localisent en petit partie 1.88 % au centre (amont) de la zone d'étude milieu du bassin versant coïncident avec des grandes pentes (12-18) des terrains à grande érodibilité (5-10).
- L'effet conjugué de l'occupation de sol et de la topographie montre que les sols deviennent plus sensibles à l'érosion en fonction de la pente plus que le couvert végétal.

Globalement, les eaux de l'Oued Mafragh, présentent un faciès Bicarbonaté Calcique. Ils sont doux principalement d'origine pluviale, à l'exception des quelque points (oued Kebir amont et centre, oued Bounamoussa, lac des Oiseaux,) et aussi au niveau de l'exutoire qui sont :

- Garaat Mekhada qui représente une étendue marécageuse en aval d'oued Bounamoussa par leur stagnation dans cet endroit dépressionnaire avec une conductivité très élevées.
- Oued Mafragh qui représente l'exutoire du bassin versant et l'embouchure avec la mer d'où leurs contacts a interface eau douce/eau salée augmentant la salinité d'oued surtout en période estivale.

La variation des paramètres physico-chimiques des eaux de surface de l'Oued Mafragh, est due soit à la lithologie des terrains, soit à des facteurs externes (l'utilisation intensive des engrais chimiques).

De fortes teneurs en phosphates polluent les eaux au niveau des plaines et au voisinage des oueds.

A decorative rectangular border with intricate floral and scrollwork patterns, framing the central text.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le bassin versant de l'oued Mafragh appartient au grand bassin versant de Nord-Est Algérien, présente une superficie de 2768.31 km² pour un périmètre de 330.7 km, caractérisé par deux principaux sous bassins Kébir-est et Bounamoussa. Les paramètres morphométriques montre que le bassin versant présente une forme allongée. Cette valeur a une influence sur le temps de concentration. Selon l'indice de pente globale, le bassin versant se caractérise par un relief très fort, marquée aussi par une dénivelée très importante. Les différents paramètres calculés, relatifs au réseau hydrographique, témoignent d'un chevelu hydrographique bien hiérarchisé faiblement dense qui dépend de la géologie, des caractéristiques topographiques du bassin versant et même de certaines mesures des conditions climatologiques. Pour la géologie le bassin versant est défini par deux ensembles morpho-structuraux :

- La nappe numidienne est caractérisée par les grès Numidiens qui longent toute les collines de la vallée Mafragh.
- Les formations récentes d'âge quaternaires qui remplissent les bas-fonds des collines, les basses plaines et les zones plates du bassin favorisent la stagnation des eaux superficielles, ce qui permet en périodes pluvieuses l'apparition de surfaces d'eaux stagnantes temporaires.

Le bassin versant d'oued Mafragh présente un climat subhumide méditerranéen qui se caractérise par deux saisons, l'une froide et humide qui s'étale du mois d'Octobre au mois d'Avril et l'autre chaude et sèche s'étalant du mois de Mai au mois de Septembre. Les facteurs climatiques influence directement sur les eaux de surface ainsi que sur les changements de qualité des eaux. L'estimation du bilan d'eau a montré qu'à partir du mois de Novembre, l'apport considérable des pluies, la chute de température et la diminution de l'évapotranspiration permettent la recharge du sol mais un déficit agricole enregistré à partir du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre, et à partir du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre c'est la période des basses eaux et c'est également la saison durant laquelle on irrigue.

Le bassin versant d'oued Mafragh est un milieu favorable au développement des phénomènes d'érosion hydrique. Le bassin versant a une longueur de 7 fois plus grande que la largeur. L'hypsométrie montre que 42.6% du bassin correspond à des altitudes peu élevées (0-200m). Les résultats d'un travail cartographique basé sur le croisement par superposition des cartes des principaux facteurs de l'équation universelle de pertes en sols (USLE) de Wischmeier et Smith (1978) par l'utilisation du SIG pour élaborer une carte de risque d'érosion hydrique. Les résultats de cette méthode ont permis de ressortir que le bassin de la Mafragh présente des pertes en sols qui varient de 0 à plus de 10 t/ha/an avec une perte moyenne annuelle relativement faible de 5.52 t/ha/an n. moins de 3 % de la superficie totale du bassin présente des valeurs supérieures à 10

t/ha/an. Cette perte résulte de l'interaction des plusieurs facteurs qui se conjuguent aussi pour accélérer l'érosion. En plus de la prédominance des formations lithologiques à érodabilité élevée (flyschs, marnes, etc.), le bassin est caractérisé par des pentes fortes (39% de la surface totale du bassin présente des pentes supérieures à 18%). L'effet conjugué du couvert végétal et de la topographie montre que les sols deviennent plus sensibles à l'érosion en fonction de la pente plus que le couvert végétal.

Ces résultats ne présentent que des valeurs relatives pouvant aider dans la planification des activités de conservation des sols et une réduction de l'envasement des barrages. Ils apportent une aide importante aux décideurs.

Globalement, les eaux de l'Oued Mafragh, présentent un faciès Bicarbonaté Calcique. Ils sont douces principalement d'origine pluviale, à l'exception des quelque points (oued Kebir amont et centre, oued Bounamoussa, lac des Oiseaux,) et aussi au niveau de l'exutoire qui sont :

- Garaat Mekhada qui représente une étendue marécageuse en aval d'oued Bounamoussa par leur stagnation dans cet endroit dépressionnaire avec une conductivité très élevées.
- Oued Mafragh qui représente l'exutoire du bassin versant et l'embouchure avec la mer d'où leurs contacts à interface eau douce/eau salée augmentant la salinité de l'oued surtout en période estivale.

La variation des paramètres physico-chimiques des eaux de surface de l'Oued Mafragh, est due soit à la lithologie des terrains, soit à des facteurs externes (l'utilisation intensive des engrais chimiques).

De fortes teneurs en phosphates polluent les eaux au niveau des plaines et au voisinage des oueds.

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns, framing the central text.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Affoun Samia, (2006)**, Ressources en eaux mobilisation et utilisation dans le bassin versant de la mafragh. Mémoire de magister univ. Constantine. 223p.
- ANDI, (2013)**, Wilaya d'El-Taref, Invest in Algeria, 21p.
- Aoun Sbaiti Badra, (2010)**, gestion optimisme des ressources en eau d'une nappe côtière (application à la plaine d'Annaba (nord -Est algérien). Thèse de doctorat. Univ de Lille. 211p.
- Bahrour Sofia, (2011)**, Impact des eaux usées urbaines et Industrielles sur les eaux naturelles Dans la région d'el taref. Mémoire de magister univ. Annaba. 121p.
- Bendjeddou Fatiha et Bougoffa Rima, (2018)**, Estimation du ruissellement du Bassin Versant de Bounamoussa. Mémoire mastère univ. Annaba.76p.
- Benzougagh B., Dridri A., Boudad L., Kodad O., Sdkaoui D., Bouikbane H. (2017)**, Evaluation of natural hazard of Inaouene Watershed River in Northeast of Morocco: Application of Morphometric and Geographic Information System approaches, International Journal of Innovation and Applied Studies, 19, 85–97.
- Bouklab M. Chekirou A.E, (2017)**, Les zones humides de la Nord-Est Algérienne cartographie et mise en valeur (cas du Bassin Versant de la Mafragh). Mémoire de master univ. Ouargla. 61p.
- Bouzeria Housseyn, (2018)**, Quantification et modélisation des transports solides, cartographie des zones à risques d'érosion hydrique à partir d'une base de données gérée par un SIG : application aux bassins de Bounamoussa et Mellah (Nord-Est algérien). Mémoire de doctorat Tlemcen. 150p.
- Brahmia Nabil, (2016)**, Evaluation et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse.Thèse de doctorat univ Annaba.109p.
- Daifallah Tarek, (2017)**, Ressources en eau et leurs utilisations dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest (Nord Est algérien). Thèse de Dr univ. Annaba. 163p.
- Demmak A, (1982)**, Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de Dr. Ing. Université de Pierre et Marie Curie, Paris XI, 323p
- Derradji F, (2004)**, Identification quantitative et qualitative des ressources en eau de la région d'Annaba-El Tarf (Nord Est de l'Algérie), Thèses de doctorat, Univ d'Annaba.

- Djidjel Mohamed, (2004)**, Etude hydrochimique des nappes côtières cas des nappes du littoral d'Annaba-El Kala (Nord-Est algérien) mémoire de majister univ d'annaba.127p
- Energo - Project -E.N.H.Y.D, (1992)**, Etude de l'Aménagement Hydro-Agricoles de la Plaine D'El Tarf. Analyse des ressources en eaux. Hydrologie, dossier I-C, II-C, volume définitif I-C-1
- Fellah R, (1998)**, Bilan et perspectives de gestion des eaux ressources en eau dans le bassin versant de la Mafragh (Extrême Nord Algérien), Mémoire d'ingénieur en Hydrogéologie, Faculté des Sciences de la terre, Université de Annaba.
- Haan C.T, Barfield B.J. et Hayes J.C, (1994)**, Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments. Academic Press, San Diego, 588p.
- Iratni Nawal, (2014)**, Modélisation hydrologique de quelques sous bassins versant de la Tafna, Mémoire de magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, 146p.
- Joleaud L, (1936)**, Etude géologique de la région de Bône et de la Calle, Ed Imp. La Typo- et Jules Carbonnel Réunion.
- Kheir R.B, Abdallah C et Khawlie M, (2008)**, Assessing Soil Erosion in Mediterranean Karst Landscapes of Lebanon Using Remote Sensing and GIS. Engineering Geology, 99, 239-254.
- Khérici N, (1993)**, Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba-La Mafragh) Nord-Est Algérien, Univ d'Annaba.
- Kisi Ö, (2004)**, Multi-layer perceptrons with Levenberg–Marquardt training algorithm for suspended sediment concentration prediction and estimation. Hydrol. Sci. J. 49 (6), 1025–1040
- Koussa M. & Bouziane M.T, (2018)**, "Apport de SIG a la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans le bassin versant de Beni Haroun, Mila, ...
- Labar sofiane, (2003)**, Contribution à l'identification des aires inondables et qualité physico-chimiques des eaux stagnantes temporaires dans la vallée de la Mafragh (Extrême Nord Est Algérien). Mémoire de majister univ de Annaba. 155p.
- Marre A, (1987)**, « Le Tell Oriental Algérien de Collo à la Frontière Tunisienne », Etude Géomorphologique, Volume 1, Office Des Publications Universitaires.
- Masson J.M. (1971)**, L'érosion par l'eau en climat méditerranéen. Thèse Doct. Ing. USTL Montpellier, 213 p.

- Ould Ahmed Salem Abdi, (2018)**, Etude des paramètres morphométriques et hydrographiques du bassin versant de l'oued Taria. Mémoire de magister univ. Tahar Moulay Saida. 63p.
- Prasannakumar V, Vijith H, Abinod S, Geetha N, (2012)**, Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. *Geoscience Frontiers* 3(2) 209-215.
- Rango A. and Arnoldus H.M.J. (1987)**. Aménagement des bassins versants. In : Cahiers techniques de la FAO : 1-11.
- Renard K.G., Yoder D.C., Lightle D.T., Dabney S.M., (2011)**, Universal Soil Loss Equation and Revised Universal Soil Loss Equation, Handbook of Erosion Modelling, 1st edition, pp 137–167.
- Sadoune Abdelaziz, (2012)**, Vulnérabilité, et évaluation des ressources en eau dans l'extrême Nord-Est algérien (Annaba-el taref). Mémoire de majister .98p.
- Van der Knijff J.M., Jones R.J.A., Montanarella L. (2000)**. Soil Erosion Risk Assessment in Europe, EUR 19044 EN, 34p.
- Van Leeuwen, W.J.D. and Sammons, G, 2004**.Vegetation Dynamics and Soil Erosion Modeling Using Remotely Sensed Data (MODIS) and GIS. Proceedings of the Tenth Biennial USDA Forest Service Remote Sensing Applications Conference, Salt Lake City, 5-9 April 2004.
- Villa J.M, (1980)**, La chaîne Alpine d'Algérie Orientale et des Confins Algéro-tunisiens, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI).
- Williams J.R. (1975)**, Sediment yield prediction with USLE using runoff energy factor. In: ARS-S-40. Agr. Res. Serv., USDA. Washington DC. pp. 244-252.
- Wischmeier W.H. et Smith D.D. (1978)**, Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA Handbook n° 537, 58 p.

ملخص

الحوض الهيدرولوجي لواد المفرغ هو خزان طبيعي هائل للمياه السطحية والجوفية. المياه في هذه المنطقة تعتبر العامل الرئيسي للتنمية، حيث يتطلب استعمالها كميات هائلة. ومع ذلك، فقد كان لهذا التطور تأثير سلبي على جودة الموارد المائية، مع وجود العديد من حالات التلوث (الصناعي، الزراعي والحضري) من ناحية، وتدهور التربة بسبب التعرية المائية من ناحية أخرى. هدفنا هو تحديد العوامل الهيدرومترية للحوض الهيدرولوجي لواد المفرغ، وصف حالة الغطاء الأرضي وتسلط الضوء على الخريطة للمناطق ذات المخاطر الطبيعية المرتبطة بالمياه (التعرية المائية). وبالتالي نوعية المياه السطحية لمعرفة التطور الموسمي والعوامل المؤثرة في هذا المجال. لتحقيق هذا الهدف، من الضروري معرفة الظروف الطبوغرافية، والمناخية، والخصائص الصخرية، والهيدروكيميائية في المنطقة، مع نمذجة بيانات معالجة صور الأقمار الصناعية (Sentinel-2) والنموذج الرقمي للارتفاعات (DEM) تحت نظام المعلومات الجغرافية (GIS). أظهرت النتائج بأن مياه الحوض الهيدرولوجي لواد المفرغ مؤهلة بشكل عام للاستخدام البشري. ومع ذلك، يبقى الحوض الهيدرولوجي عرضة للمخاطر الطبيعية الناتجة عن طريق المياه (يزداد خطر التعرية عند القمة مع زيادة المنحدرات هناك). **الكلمات المفتاحية:** الحوض الهيدرولوجي، النموذج الرقمي للارتفاعات، التعرية المائية، القياس الشكلي، الغطاء الأرضي.

Résumé

Le bassin versant de la Mafragh est un réservoir naturel remarquable d'eaux superficielles et souterraines. Dans cette région l'eau représente le facteur principal du développement, nécessitant sa mobilisation en quantités énormes. Cependant ce développement a eu un impact négatif sur la qualité des ressources en eau (pollution industrielle, agricole et urbaine) d'une part, et la dégradation du sol par l'érosion hydrique d'autre part. Notre but est la détermination des paramètres hydrométrique du bassin versant « Mafragh », décrire l'état de l'occupation du sol et ressortir une carte des zones à risques naturels liés à l'eau (érosion hydrique). Ainsi la qualité des eaux de surface pour connaître l'évolution saisonnière et les facteurs influant sur cette zone. Pour atteindre cet objectif il est indispensable de connaître les conditions topographiques, hydroclimatiques, lithologiques, et hydrochimiques de la région, et modéliser les données de traitements d'images satellitaires (Sentinel-2) et MNT sous SIG. D'après les résultats obtenus on constate que les eaux du bassin versant de l'oued Mafragh sont généralement admissibles à l'utilisation humaine. Cependant le bassin versant reste vulnérable aux risques naturels hydriques, (le risque d'érosion augmente aux sommets à mesure que les pentes amplifient).

Mots clés : Bassin versant, MNT, érosion hydrique, morphométrie, occupation du sol.

Abstract:

The Mafragh watershed is a remarkable natural reservoir of surface and groundwater. In this region, water is the main factor of development, requiring its mobilization in huge volumes. However, this development has had a negative impact on the quality of water resources (industrial, agricultural and urban pollution) on the one hand, and soil degradation through water erosion on the other hand.

Our objective is to determine the hydrometric parameters of the "Mafragh" catchment area describe the state of land use/land cover and produce a map of natural water-related risk areas (water erosion). Therefore, the quality of surface water to know the seasonal evolution and the factors influencing this area.

To achieve this objective, it is essential to know the topographical, hydroclimatic, lithological and hydrochemical conditions of the region, and to model satellite image processing data (Sentinel-2) and DEMs under GIS. The results obtained show that the waters of the Mafragh wadi watershed are generally eligible for human use. However, the catchment area remains vulnerable to natural water-related risks (the risk of erosion increases at the peaks).

Keywords: Watershed, DEM, water erosion, morphometry, land use.