



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité/Option : Hydrogéologie

Thème

**Cartographie des zones potentielles des eaux souterraines à l'aide du
Processus d'analyses hiérarchique AHP , SIG et télédétection
dans le bassin versant de Bouhamdane (Nord Est Algérien)**

Présenté par :

KHARDOUCHE Oussama

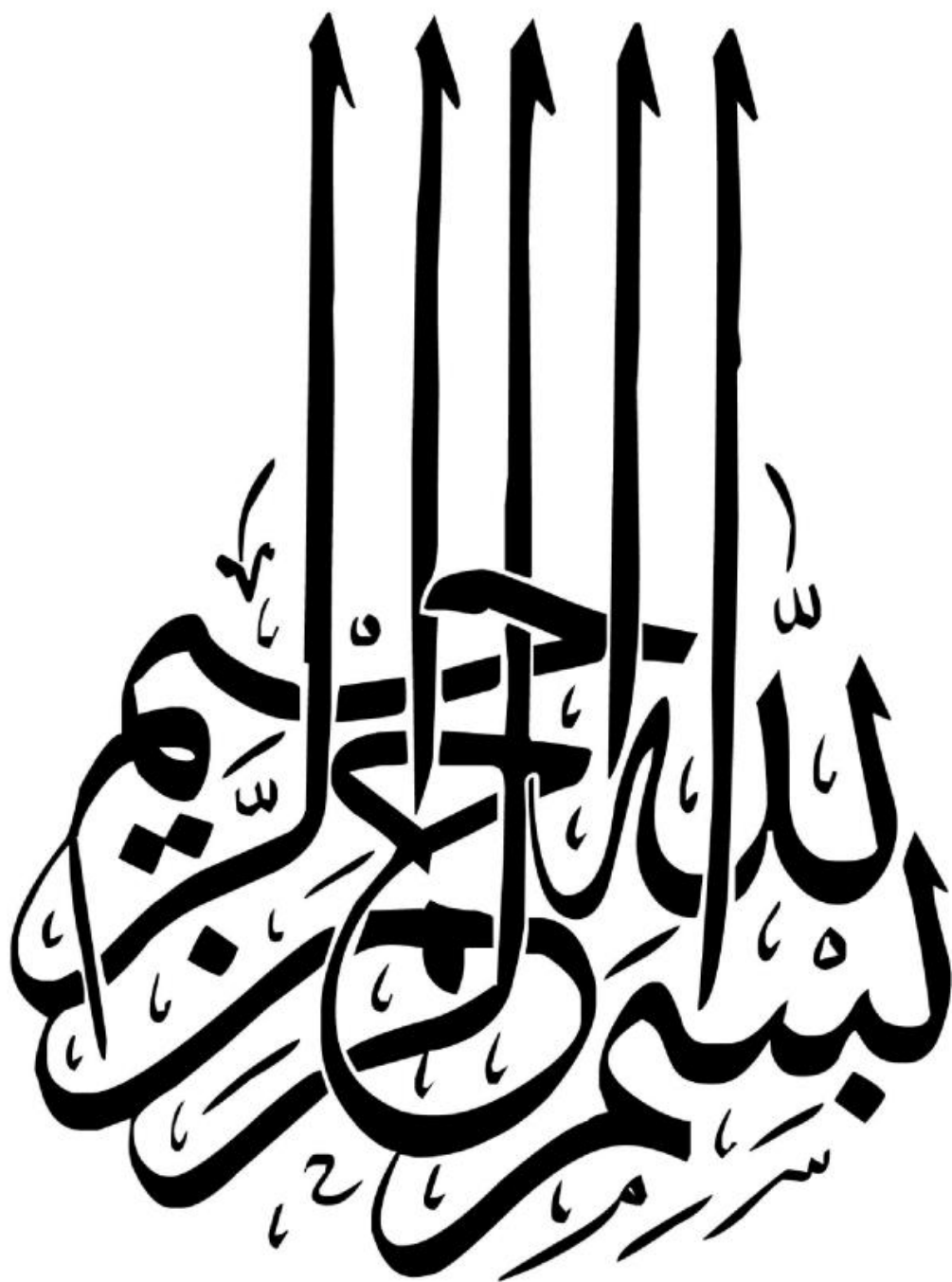
Devant le jury

GHREIB Lassaad Président Pr Université de Guelma

BOUZNAD Imad Eddine Examineur M.C.A Université de Guelma

MAOUI Ammar Encadreur Pr Université de Guelma

Juin 2024



Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes remerciements et ma profonde gratitude.

Avant tout à Dieu le tout puissant et miséricordieux qui m' a donné Le courage et la force pour mener à bout ce modeste travail.

*Je remercie chaleureusement mon encadreur, **Maoui Ammar** pour ses judicieux conseils, ses directives précieuses, et de son soutien au cours de la réalisation de ce travail.*

Je remercie aussi les membres du jury de ce mémoire de fin d'étude.

Je remercie vont enfin à toute personne qui a contribué de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail.



Dédicace

Merci à Dieu le tout puissant qui m'a doté de volonté et de patience pour ce travail.

Chaque fois qu'achève une étape importante de ma vie, je fais
penser

à toutes les personnes qui ont contribué à me faire avancer dans
mes moments spéciaux

Et pour ce là je dédie ce modeste travail :

À celle qui attend mon retour chaque jour,

À qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard,

À mes très chers parents Ahmed et Moufida

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer
ce que vous mérite,

Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain,

Que Dieu leur prête bonheur et longue vie.

Je ne saurai terminer sans citer mes chères amis Ammar, Islam,
Samir

Merci d'être l'épaule sur qui je peux toujours compter.

A qui j'ai omis de citer et à vous chers lecteurs.

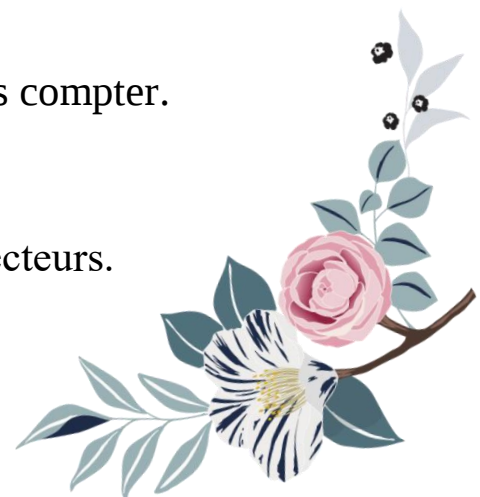


Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles et abréviations

Résumé

INTRODUCTION : 15

Chapitre I Cadre Général

1- SITUATION GÉOGRAPHIQUE : 17

2- LITHOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED BOUHAMDANE : 19

3- CLIMATOLOGIE : 20

3.1 PRÉCIPITATION : 21

3.1.1 Précipitation mensuelle : 21

3.1.2 Précipitations moyennes annuelles : 22

3.2 TEMPÉRATURE : 23

3.3 ÉTAGES BIOCLIMATIQUES : 23

3.4 LE BILAN D'EAU : 24

3.4.1 Calcul de l'ETP par la méthode de C.W.Thornthwaite : 24

3.4.2 Calcul de l'ETR par la méthode de Turc : 26

3.4.3 Calcul du Ruissellement (R) 27

4-CONCLUSION : 28

CHAPITRE II MATÉRIELS ET MÉTHODES

INTRODUCTION : 30

1. MATÉRIELS : 30

1.1. LES DONNÉES SATELLITAIRES : 30

1.1.1. Les images (MNT) : 30

1.1.2. Les images satellitaires (LANDSAT) : 30

1.2. LOGICIEL ARCGIS 10.5 : 30

2. MÉTHODES : 32

2.1. LA TEMPÉRATURE DE LA SURFACE TERRESTRE (LST) : 32

2.2. LA MODÉLISATION HYDROLOGIQUE : 34

2.2.1. Processus d'extraction du réseau hydrologique : 35

2.2.2. Extraction de la carte des pentes :	35
2.2.3. Densités de drainage :	36
2.2.4 Densités de linéaments :	36
2.2.5. Pluviométrie :	37
2.2.6. Cartographie géologique :	37
2.2.7. Occupation du sol :	37
2.2.8 -Carte des sols :	37
3. LA MÉTHODE AHP (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS) :	38
A. MÉTHODE DE SAATY :	38
3. GÉNÉRATION DE LA CARTE DU POTENTIEL DES EAUX SOUTERRAINES :	41
CHAPITRE III RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	
INTRODUCTION :	44
1. HYDROLOGIE	44
2. PENTES DU BASSIN VERSANT DE L'OUED BOUHAMDANE :	45
3- CARTE DES PRÉCIPITATIONS :	46
4- CARTE GÉOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE BOUHAMDANE :	47
6-. DENSITÉ DE DRAINAGE	48
7-. CARTE DE DENSITÉ DE LINÉAMENTS :	49
8-. CARTE D'OCCUPATION DU SOL :	50
9-. CARTE DES SOLS :	51
10- CARTE DE TEMPÉRATURE DE SURFACE DU SOL :	52
11. CARTE DU POTENTIEL D'EAU SOUTERRAINE	53
12- VALIDATION DE LA CARTE DU POTENTIEL D'EAU SOUTERRAINE :	54
CONCLUSION :	56
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	58
ANNEXES	59

Liste des figures

Fig.1 Situation géographique de la zone d'étude (in Bouguerra.H.2017)	P 17
Fig. 2 Bassin versant de l'oued Bouhamdane (in Bouguerra.H.2017)	P 19
fig.3 Carte lithologique du bassin de Bouhamdane (Guidoum.A.2017)	P 20
Fig. 4- Répartition des précipitations moyennes mensuelles interannuelles	P 21
Fig. 5.- Répartition de la pluviométrie moyenne annuelle dans le bassin versant de l'oued Bouhamdane (1921-1989). (in Bouguerra.H.2017)	P 22
Fig.6 Courbes des moyennes mensuelles de températures enregistrées à la station H.Debagh (1995/96-2015/16)	P 23
Fig. 7- Carte simplifiée des domaines bioclimatiques du Nord-Est de l'Algérie, D'après COTE 1998.	P 24
Fig.8: Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)	P 26
Fig. 9. Organigramme général du processus d'extraction du réseau hydrographique et Délimitation du bassin	P 35
Fig. 10.Matrice de corrélation cas de l'étude du Bassin de Bouhamdane Trois calculs sont nécessaires pour arriver aux valeurs des priorités	P 40
Fig.11. Cadre conceptuel adopté pour la génération de la carte du potentiel des eaux Souterraine	P 42
Fig.12 - Carte des pentes du bassin versant de Bouhamdane.	P 45
Fig.13 - Carte des précipitations du bassin versant de Bouhamdane	P 46
Fig.14 - Carte géologique du bassin versant de Bouhamdane	P 47
Fig.15 - Carte de densité de drainage du bassin versant de Bouhamdane	P 48
Fig.16 - Carte de densité de linéament du bassin versant de Bouhamdane	P 49
Fig.17 - Carte d'occupation du sol du bassin versant de Bouhamdane	P 50

Fig.18 - Carte des sols du bassin versant de Bouhamdane	P 51
Fig.19 - Carte des températures de surfaces du bassin versant de Bouhamdane	P 52
Fig.20 Carte du potentiel d'eau souterraine (Bassin Bouhamdane)	P 54
Fig.21 validation de la Carte du potentiel en eaux souterraine cas du bassin Bouhamdane	P 55

Liste de tableau :

Tableau. 1- Localisation, altitude et période d'observation des stations météorologique	P20
Tableau. 2- Caractéristique des précipitations moyennes mensuelles	P21
Tableau 3: Bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)	P25
Tableau 4 : Évapotranspiration réelle annuelle selon la méthode de Turc	P26
Tableau 5: Les différentes composantes du bilan hydrique de la station Hammam Debagh	P27
Tableau.6 le différent band du LANDSAT 8	P32
Tableau.7 Échelle de valeurs (d'après Saaty ,1984).	P39
Tableau 8 : l'indice randomisé	P41
Tableau 9. Répartition des surfaces et pourcentage (densité de drainage)	P49
Tableau 10. Répartition des surfaces et pourcentage (occupation du sol)	P50
Tableau 11. Répartition des surfaces et pourcentage (Température de surface du sol)	P52
Tableau 12. Répartition des surfaces et pourcentage (potentiel en eau souterraines)	P53

Liste des symboles et abréviations

K : Coefficients d'ajustement mensuel

ETP: Évapotranspiration potentielle du mois considérée mm

I : Indice Thermique

ETR : Évapotranspiration réelle annuelle en mm

P : Précipitation moyenne annuelle en mm

T : Température moyenne annuelle en °C

L : Pouvoir évaporant.

R : Ruissellement (mm)

P : Hauteur moyenne annuelle des pluies (mm)

I : Infiltration (mm/an)

MNT : Un Modèle Numérique de Terrain

LANDSAT : Les images satellitaires

SIG : Système d'information géographique.

LST : La température de la surface terrestre

NASA : National Aeronautics and Space Administration.

USGS : United States Geological Survey.

L λ = rayonnement spectral TOA (Watts/ (m² * sr * μ m))

ML = Bande multiplicative de rayonnement (No.)

AL = Bande d'ajout de rayonnement (No.)

Qcal = Valeurs de pixels du produit standard quantifiées et calibrées (DN)

TOA: Top of Atmosphere Radiance.

NDVI : Normalise Différentiel Végétation Index

RED = valeurs DN de la bande rouge

NIR = valeurs DN de la bande proche infrarouge

LSE: Land Surface Emissivity

PV = Proportion de végétation

NDVI = valeurs DN de l'image NDVI

NDVI min = valeurs DN minimales de l'image NDVI

NDVI max = valeurs DN maximales de l'image NDVI

E = émissivité de la surface du sol

v : Température de surface du sol (LST) :

K1 = K1 bande constante (n°)

GPx : l'indice de potentiel des eaux souterraines.

K2 = Bande constante K2 (No.)

W = longueur d'onde du rayonnement émis

Dd : la densité de drainage

IA : l'intelligence artificielle

AHP : Analytic Hierarchy Process

CR : cohérence

CI : L'indice de consistance

RI : un indice randomisé

P : Périmètre (km) ;

A : Surface du bassin versant (Km²) ;

K_G : L'indice de compacité de Gravelius .

Résume :

Les eaux souterraines constituent une ressource importante qui contribue de manière significative à l'approvisionnement annuel total en eau. Le but de la présente étude est de évaluer et délimiter la zone de recharge des eaux souterraines à l'aide de données géo spatiales technologie via une méthode de processus analytique hiérarchique (AHP) pour le bassin versant de Bouhamedane situé au Nord Est Algérien. Les Images satellitaires de la télédétection et les données correspondantes sont utilisées pour la préparation des couches thématiques, à savoir, la géologie, les précipitations, la pente, le sol, température de la surface du sol, la densité de drainage, l'occupation des sols, la densité des linéaments dans le bassin versant étudié. Toutes les couches thématiques sont intégrées avec un multicritère technique d'évaluation. Une analyse de l'indice de superposition pondéré est effectuée pour donner un rang pour chaque paramètre. Le poids est attribué pour chaque thématique couche en fonction de la technique AHP. La fiabilité de la sortie est vérifiée par l'indice de cohérence et le rapport de cohérence calculés qui est raisonnablement acceptable ($0,06 < 0,1$). La carte du potentiel d'eau souterraine obtenue montre que le potentiel moyen couvre une surface de 562 Km^2 soit plus de 50% de la surface du bassin, sur cette surface sont implantées 79% des puits et forages de la région.

Mots clés : Bassin-Bouhamdane -Eau souterraine-AHP-SIG-Télédétection

Abstract

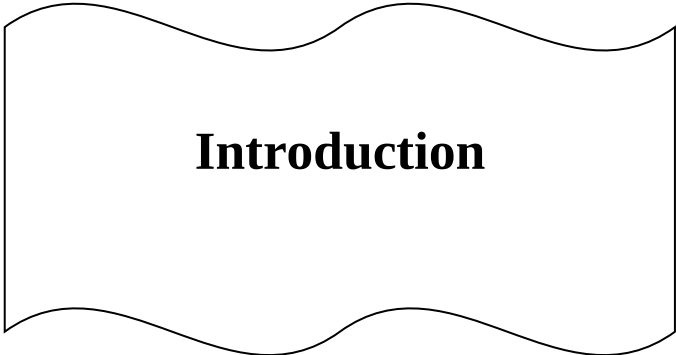
Groundwater is an important resource that contributes significantly to the total annual water supply. The aim of the present study is to evaluate and delimit the groundwater recharge zone using geospatial technology via a hierarchical analytical process (AHP) method for the Bouhamedane watershed located in North East of Algeria. Remote sensing satellite images and corresponding data are used for preparation of thematic layers, viz., geology, precipitation, slope, soil, land surface temperature, drainage density, land occupancy soils, the density of lineaments in the studied watershed. All thematic layers are integrated with a technical multi-criteria for evaluation. A weighted overlap index analysis is performed to give a rank for each parameter. The weight is assigned for each thematic layer based on the AHP technique. The reliability of the output is verified by the calculated consistency index and consistency ratio which is reasonably acceptable ($0.06 < 0.1$). The groundwater potential map obtained shows that the average potential covers an area of 562 km^2 , or more than 50% of the basin surface, on this surface are located 79% of the wells and boreholes in the region.

Keywords: Basin- Bouhamdane -Groundwater-AHP-GIS-Remote sensing

ملخص:

تعتبر المياه الجوفية مورداً هاماً يساهم بشكل كبير في إجمالي إمدادات المياه السنوية. الهدف من هذه الدراسة هو تقييم وتحديد منطقة تغذية المياه الجوفية باستخدام التكنولوجيا الجغرافية المكانية عبر طريقة العملية التحليلية الهرمية (AHP) لمستجمع مياه بوحمدان الواقع في شمال شرق الجزائر. تُستخدم صور الأقمار الصناعية للاستشعار عن بعد والبيانات المقابلة لإعداد الطبقات المواضيعية، أي الجيولوجيا وهطول الأمطار والمنحدر والتربة ودرجة حرارة سطح الأرض وكثافة الصرف وتربة و استخدام الأراضي وكثافة الخطوط في مستجمعات المياه المدروسة. يتم دمج جميع الطبقات المواضيعية مع معايير فنية متعددة للتقييم. يتم إجراء تحليل مؤشر التداخل المرجح لإعطاء تصنيف لكل معلمة. يتم تعيين الوزن لكل طبقة موضوعية بناءً على تقنية AHP. يتم التحقق من موثوقية المخرجات من خلال مؤشر الاتساق المحسوب ونسبة الاتساق المقبولة بشكل معقول ($0.06 < 0.1$). وتظهر خريطة إمكانيات المياه الجوفية التي تم الحصول عليها أن متوسط إمكانيات المياه يغطي مساحة 562 كيلومتر مربع، أي أكثر من 50% من سطح الحوض، على هذا السطح تقع 79% من الآبار والآبار في المنطقة.

الكلمات المفتاحية: الاستشعار عن بعد-GIS-AHP-حوض بوحمدان-المياه الجوفية



Introduction

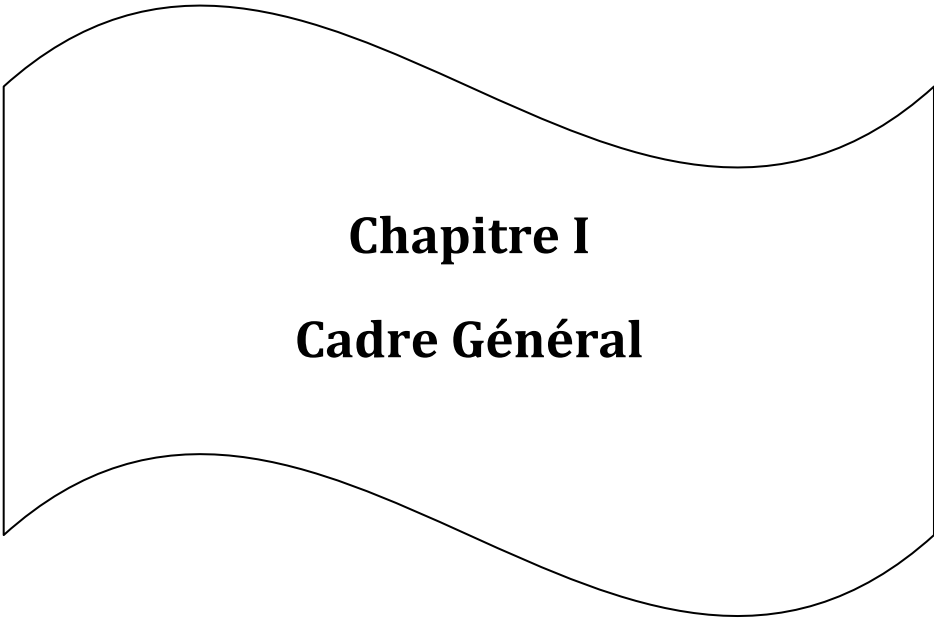
Introduction :

Les ressources en eau souterraines sont d'une importance capitale pour le développement socio-économique du pays. En effet, les eaux souterraines contribuent largement à la satisfaction des besoins en eau potable domestique, agricole et industrielle. A cause de la rareté ou le manque des ressources en eau superficielles.

Les eaux souterraines

Le bassin versant de Bouhamdane situé dans le Nord-Est de l'Algérie, est une zone à climat semi-aride. Elle confine une ressource en eau souterraine très exploitée pour l'alimentation en eau potable et pour l'agriculture et autres besoins de la population locale. Ce qui a engendré une menace constante sur sa qualité et une diminution de sa quantité. Le principal aquifère est celui du plio-quaternaires de la haute terrasse, où la plupart des forages et des puits sont implantés.

Récemment, plusieurs études ont été appliquées à l'aide de modèles basés sur des indices et d'approches quantitatives pour évaluer les zones potentielles des eaux souterraines. L'AHP (Analytical Hierarchical Process) est la technique d'analyse décisionnelle multicritère (MCDA) la plus populaire et la plus largement utilisée pour délimiter les zones de prospection des eaux souterraines. Par conséquent, la technique AHP a été utilisé pour cette étude pour attribuer l'importance relative de chaque paramètre pour le zonage des eaux souterraines. Zone potentielle de recharge. Les précipitations sont l'une des principales sources et un facteur important de la recharge des eaux souterraines L'élévation et la TWI (Indice d'humidité topographique) ont été largement utilisées pour l'exploration du potentiel des eaux souterraines et pour expliquer les conditions hydrogéologiques (Razandi.Y et al .2015). Dans la présente étude, plusieurs facteurs ont été utilisés pour délimiter les zones potentielles des eaux souterraines y compris la température de la surface terrestre avec l'intégration de la méthode AHP dans l'environnement SIG. L'objectif principal de cette étude était d'évaluer et de délimiter la zone de recharge des eaux souterraines à l'aide de la technologie géospatiale via la méthode AHP. Les résultats de cette recherche fourniront des informations précieuses pour développer une gestion durable des eaux souterraines et un emplacement approprié des puits et forages pouvant être utilisé par les décideurs, les agences gouvernementales et le secteur privé. En outre, les résultats de cette étude sont importants pour une administration, une gestion et une utilisation durable appropriées des ressources en eaux souterraines dans le bassin versant de Bouhamdane.



Chapitre I

Cadre Général

1- Situation géographique :

Les bassins versant des oueds Bouhamdane objet de notre étude appartiennent au grand bassin de la Seybouse. Ce dernier situé au Nord-Est du territoire national, entre 06°47'02" et 07°58'47" de longitude Est et entre 35°47'49" et 36°55'43" de latitude Nord (figure 1). Selon l'agence de bassin hydrographique (ABH), il appartient à l'ensemble Constantinois-Seybouse-Mellegue (CSM) sous le numéro 14.

Il est limité par :

La mer méditerranée au Nord ;

- Le bassin versant des côtières constantinois Est au Nord-Est ;
- Le bassin versant des côtières constantinois centre au Nord-Ouest ;
- Le bassin versant Medjerda au Sud-Est ;
- Le bassin versant Kebir Rhumel au Sud-Ouest ;
- Le bassin versant des hauts plateaux constantinois au Sud.

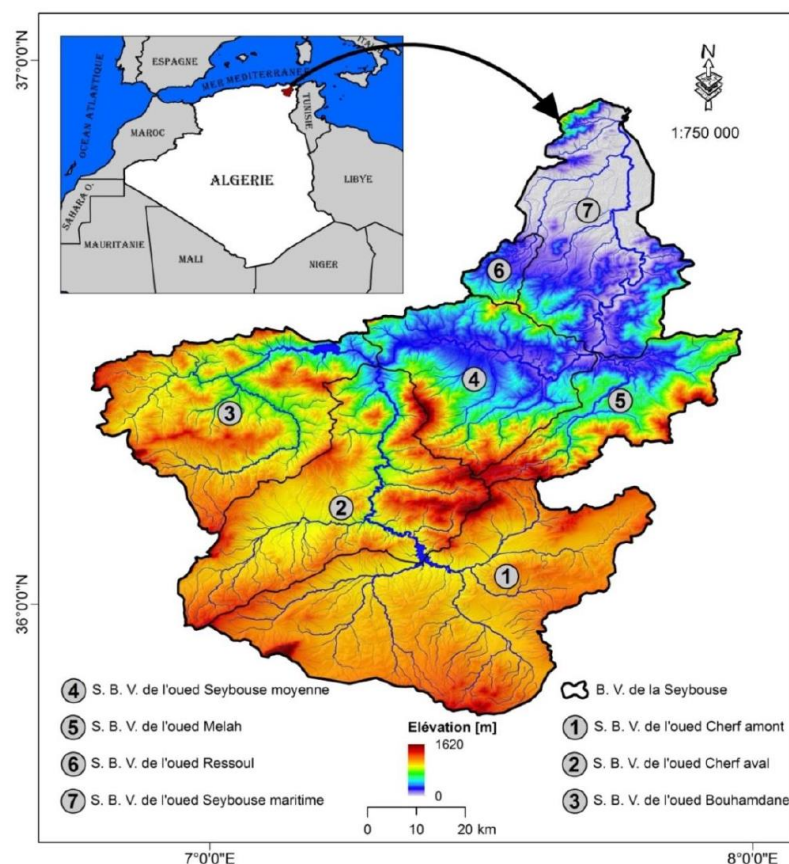


Fig.1 Situation géographique de la zone d'étude (in Bouguerra.H.2017)

Sous bassin de la Seybouse, le bassin versant de l'oued Bouhamdane est situé au Nord-Est de l'Algérie, à 150 km environ de la frontière Algéro-Tunisienne entre $06^{\circ}47'02''$ et $07^{\circ}19'04''$ de longitude Est, et entre $36^{\circ}07'49''$ et $36^{\circ}30'28''$ de latitude Nord (figure .2).

Ce bassin draine une superficie de 1105 km², soit 17,08 % de la superficie totale du bassin de la Seybouse pour un périmètre de 203 km, ce qui lui confère une forme allongée ($K_c = 1,72$). Il est contrôlé par la station hydrométrique de Medjez Amar II qui est située à 5 kilomètres à l'aval du barrage de Hammam Debagh. L'altitude à l'exutoire est de 260 m alors que le point le plus haut se trouve au sommet de Djebel Oum Settas à 1325 m, donc une dénivelée totale de 1065 m. La réunion de l'oued Sabath et l'oued Zenati donne naissance de l'oued Bouhamdane à moins de 2 km de la localité de Bordj Sabath, l'un des principaux affluents de l'oued Seybouse. L'oued Zenati qui recueille les eaux provenant de la partie Sud du bassin versant (582 km², soit 53% de la superficie totale), coule d'abord du Sud-Ouest au Nord-Est jusqu'au village d'oued Zenati puis prend la direction Sud-Est – Nord-Ouest. Le cours de l'oued Sabath est de direction Sud-Ouest – Nord-Est. Alors que, l'oued Bouhamdane élémentaire coule nettement dans la direction Ouest – Est, entre le massif du Djebel Taya au Nord et le massif du Djebel Sebaa M'zaer au Sud. La longueur totale du thalweg principale de l'oued Bouhamdane est de 92 km. Le chevelu hydrographique de l'oued Bouhamdane prend sa source d'un ensemble de reliefs montagneux à savoir, Dj. Oum Settas (1325 m), Dj. El-Ancel (1149 m), Dj. El-Meliani (1111 m), Dj. El-Sada (1107 m) et Dj. Taya (1206 m).

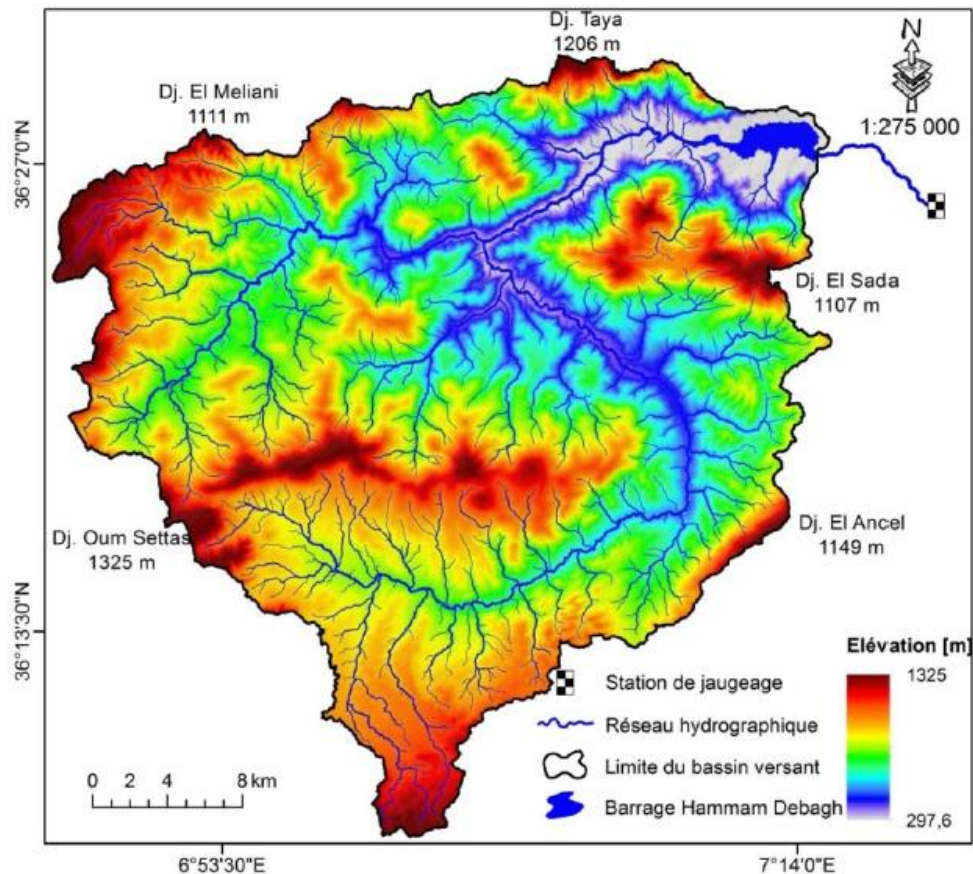


Fig. 2 Bassin versant de l'oued Bouhamdane (in Bouguerra.H.2017)

2- Lithologie du bassin versant de l'oued Bouhamdane :

Le bassin versant de l'oued Bouhamdane englobe une multitude de formations lithologiques qui comprend principalement : les grès numidiens, les marnes, les calcaires, les schistes, les marno-calcaires, les argiles, les conglomérats et les formations de surfaces (alluvions actuelles, éboulis de pentes, glaciis,...) ; Ces faciès allant du quaternaire au trias.

Les formations fortement érodables ; les marnes du crétacé, les marno-calcaires de l'éocène et les argiles de l'oligocène et du crétacé, se rencontrent essentiellement dans la partie Est du bassin versant (figure 3). Elles occupent une superficie importante soit un tiers de la superficie totale de ce bassin versant. Quant aux roches moyennement

résistantes ; les grès de l'oligocène, les calcaires du crétacé et les marnes schisteuses du sénonien supérieur composent environ 40 % du bassin versant. La partie Ouest du bassin versant de l'oued Bouhamdane est constituée majoritairement de formations superficielles et de conglomérats du Mio-pliocène, soit 26 % de sa superficie (Bouguerra.H.2017).

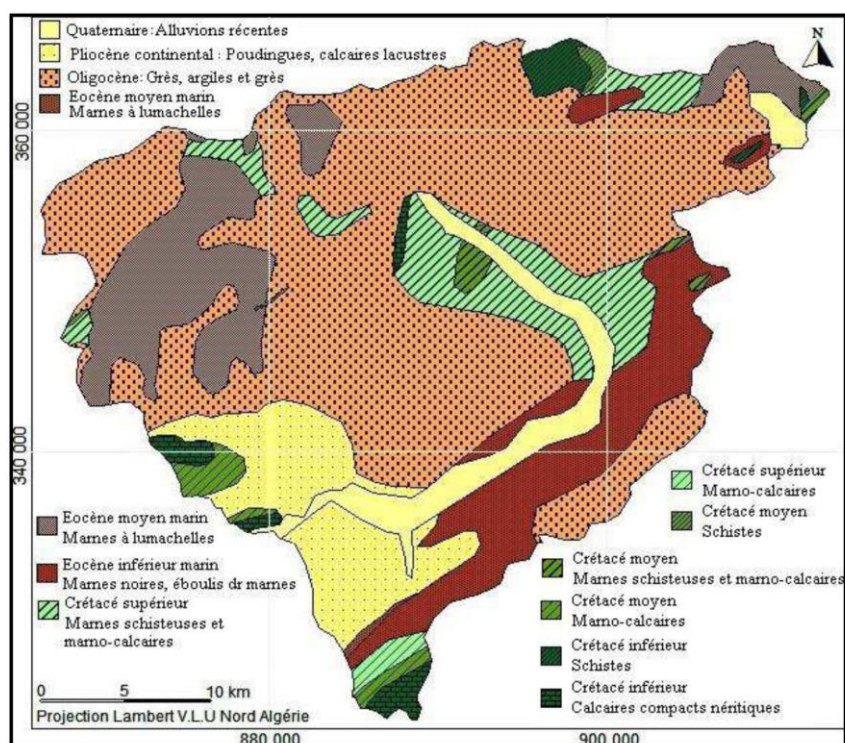


Fig.3 Carte lithologique du bassin de Bouhamdane (Guidoum.A.2017)

3- Climatologie :

L'analyse de facteurs climatologiques basée essentiellement sur les données issues des stations météorologiques de Hamam Debagh .La série utilisée correspond a une période d'observation allant de 1996 jusqu'à 2016, leurs données ont été acquises auprès de la direction du barrage de Hammam Debagh. Les caractéristiques de cette station météorologique sont données au tableau .1

Tableau. 1- Localisation, altitude et période d'observation des stations météorologique

Station météorologique	Longitude	Latitude	Altitude [m]	Période d'observation
Hammam Debagh	7° 15, E	36° 27, N	350	2015/2016

3.1 Précipitation :

3.1.1 Précipitation mensuelle :

La précipitation est l'agent le plus important dans les études hydroclimatiques, elle joue un rôle fondamental dans l'estimation de différents facteurs du bilan hydrologique à savoir ; ruissèlement, infiltration, évaporation,... régissant d'une façon directe sur l'écoulement des cours d'eau. Le calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré sur un grands nombre d'années, ou dit précipitation moyenne mensuelle donne un aperçu sur les variations mensuelles pluriannuelles des précipitations. Les précipitations moyennes mensuelles de la station du barrage Hammam Debagh sont résumées dans le Tableau suivant :

Tableau. 2- Caractéristique des précipitations moyennes mensuelles

mois /station	sept	oct.	Nov.	Déc.	jan	fév.	Mars	avril	Mai	juin	juillet	Aout	Total annuel
Debagh	36.6	38.1	70.7	94.9	86.8	68.5	59.9	60.1	53	19.7	4.6	10.1	606.2

La Figure.4 montre les variations de la distribution des précipitations d'un mois à un autre, avec un maximum de l'ordre de 94,9 mm au cours du mois de Décembre et un minimum de l'ordre de 4,6 mm au cours du mois de Juillet.

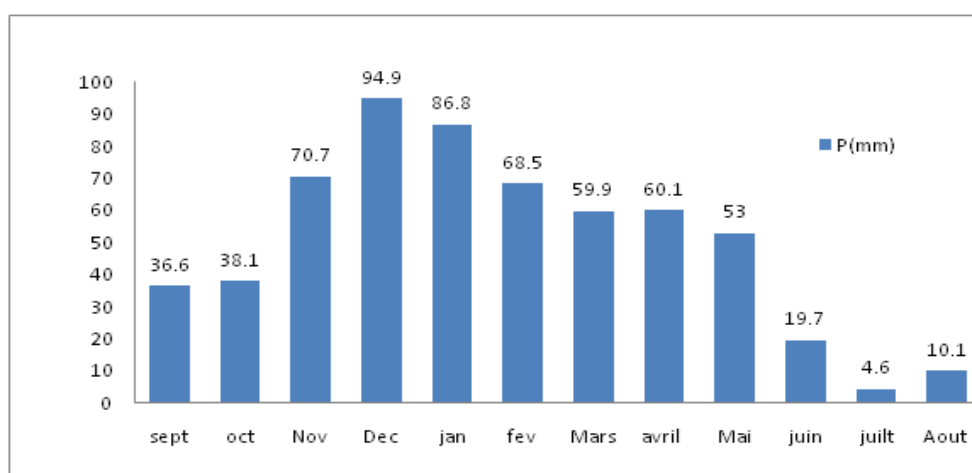


Fig. 4- Répartition des précipitations moyennes mensuelles interannuelles

3.1.2 Précipitations moyennes annuelles :

L'étude de la répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles dans les bassins versants de l'oued Bouhamdane est basée essentiellement sur les résultats de l'étude des précipitations moyennes annuelles du Nord du pays effectuée par le service hydrologique de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) en 1993, sur une période d'observation qui s'étend de Septembre 1921 à Août 1989. Ces résultats ont été fournis par l'ANRH sous forme de carte thématique numérisée. Cette carte a permis de spatialiser les précipitations annuelles sur la totalité des bassins versants par une interpolation de type "Topo to Raster" des isohyètes de pluies à l'aide du logiciel ArcGIS. Sur le bassin versant de l'oued Bouhamdane les précipitations moyennes annuelles varient entre 433 et 728 mm, avec une moyenne de 572 mm/an (figure .5). Les plus fortes valeurs sont localisées au Nord, alors que les plus faibles moyennes annuelles sont rencontrées au Sud du bassin versant. Donc, d'une manière générale ; une tendance à la baisse du Nord vers le Sud (selon la loi de l'éloignement par rapport à la mer de la pluviosité en Algérie).

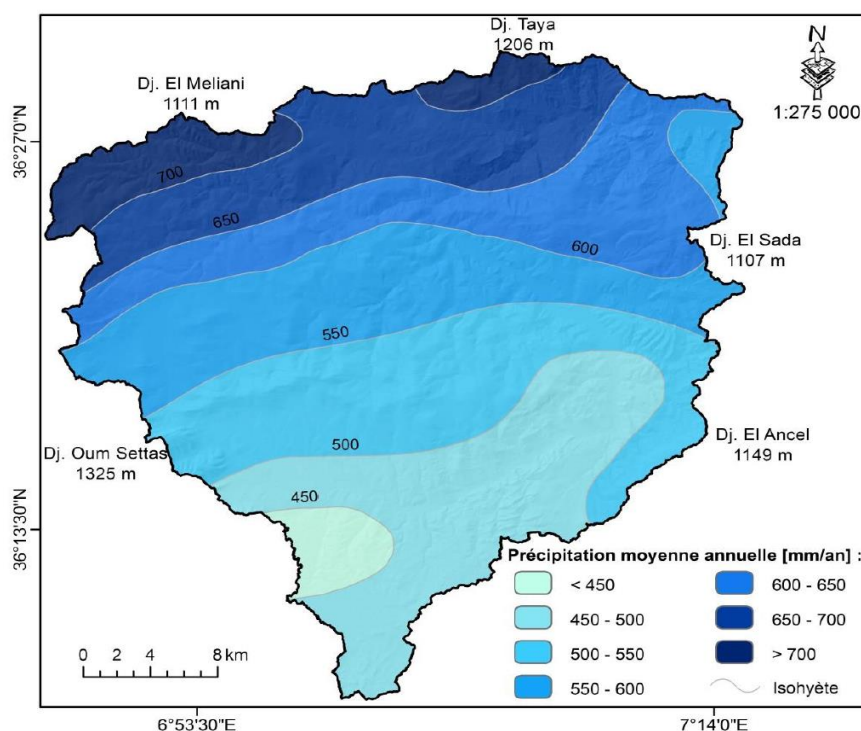


Fig. 5.- Répartition de la pluviométrie moyenne annuelle dans le bassin versant de l'oued Bouhamdane (1921-1989). (in Bouguerra.H.2017)

3.2 Température :

Les températures moyennes mensuelles et annuelles régissent directement, en interaction avec les autres facteurs météorologiques (précipitations, insolation, hygrométrie...), le phénomène d'évaporation et par la même, le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les températures sont donc l'un des éléments majeurs influençant le climat du barrage.

Les données de température observées pendant une période de 21 ans (1995/96-2015/16), font ressortir que les températures moyennes minimales sont enregistrées durant le mois de Janvier (9°C), tandis que la température moyenne maximale s'observe durant le mois de Juillet avec une valeur de l'ordre de 29,7°C (fig.6).

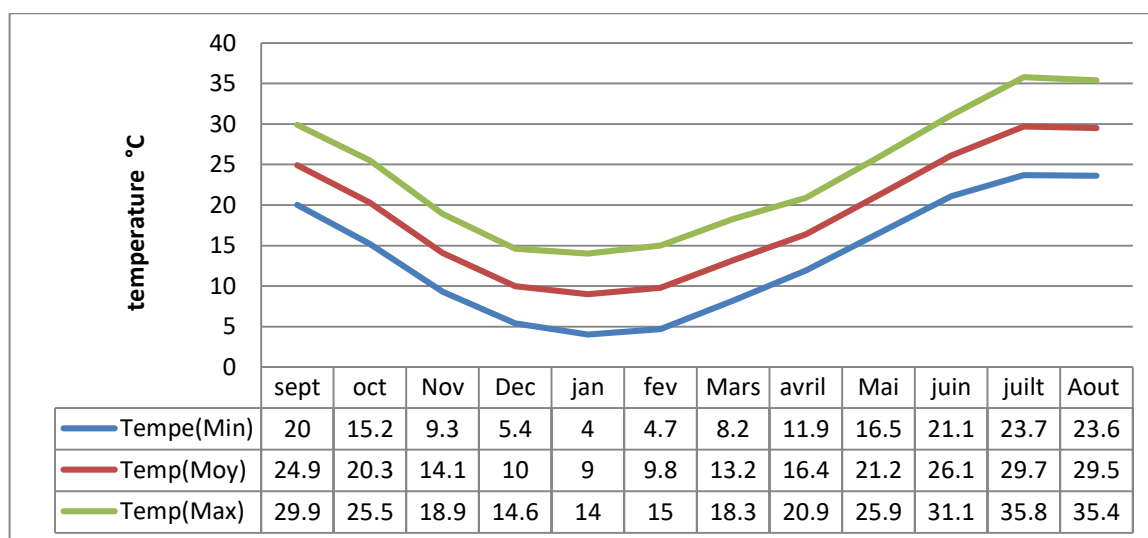


Fig.6 Courbes des moyennes mensuelles de températures enregistrées à la station H.Debagh (1995/96-2015/16)

3.3 Étages bioclimatiques :

Le régime climatique de la zone à l'étude est à dominance méditerranéenne avec un été sec et chaud et un hiver humide et frais. Les étages bioclimatiques sont identifiés sur la base de la carte simplifiée des domaines bioclimatiques établie par COTE en 1998 pour le Nord-Est algérien (figure .7). Sur son ensemble le bassin versant de l'oued Bouhamdane (1) englobe deux domaines bioclimatiques ; une partie Sud à tendance semi-aride qui reçoit des précipitations relativement faibles et une partie Nord appartient au domaine sub-humide où les précipitations moyennes sont abondantes et dépassent les 700 mm/an.

3.4 .Le bilan d'eau :

Le but du bilan d'eau est d'évaluer la répartition des précipitations reçues par le barrage entre les différentes composantes du bilan hydrique, à savoir, l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration (ETP). Ce dernier paramètre étant le plus important, car il conditionne l'abondance ou l'absence de l'écoulement.

3.4.1. Calcul de l'ETP par la méthode de C.W.Thornthwaite :

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W. Thornthwaite tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle. Vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule est applicable dans le barrage Hammam Debagh. La méthode de Thornthwaite permet à partir des données de base (précipitations (mm), température (°C), le coefficient thermique mensuel (k), et

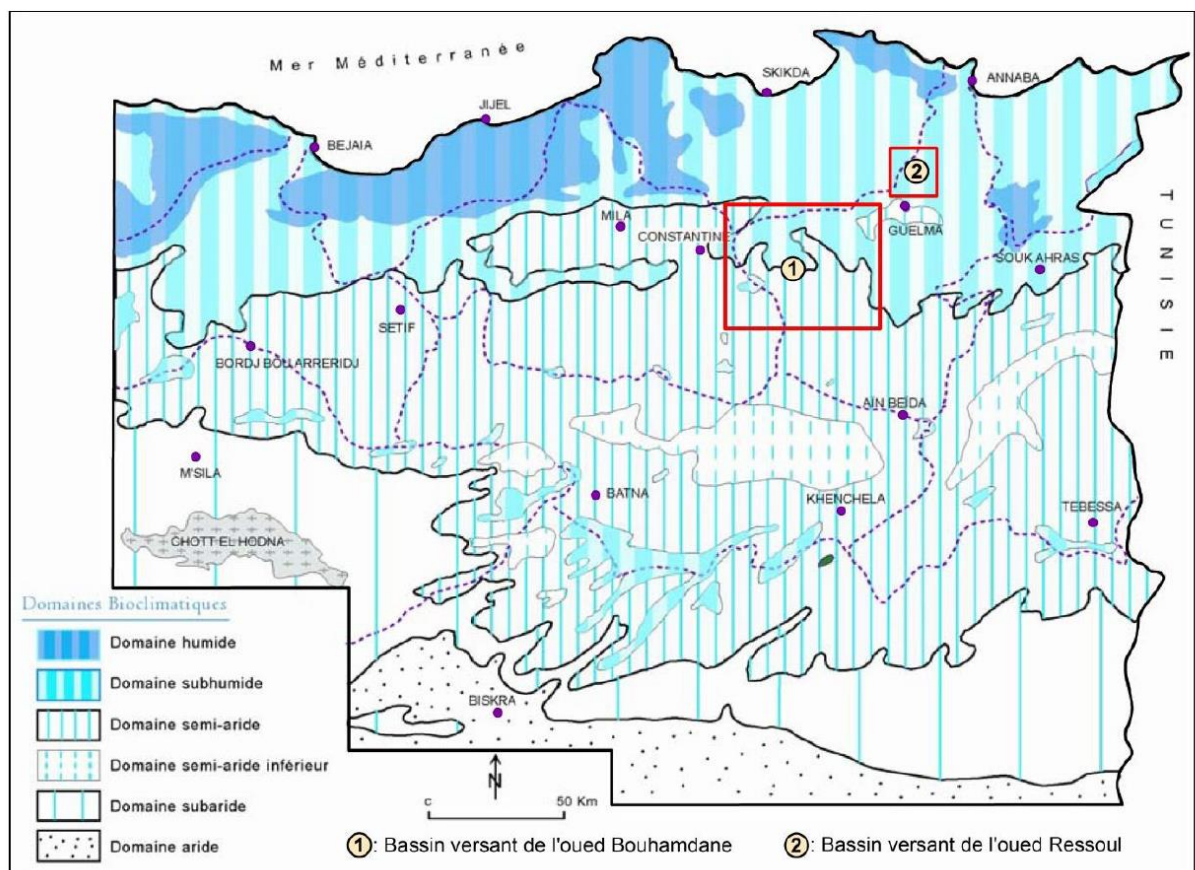


Fig. 7- Carte simplifiée des domaines bioclimatiques du Nord-Est de l'Algérie,

D'après Cote1998.

L'indice thermique mensuel (I) de calculer l'évapotranspiration potentielle (ETP) selon la relation suivante:

$$ETP \text{ (mm)} = 16 (10 T/I)^a \cdot K \dots \dots \dots (1)$$

Avec:

$$I = \sum I_i = (T/5)^{1.51}$$

$$a = (1, 61/100) \cdot I + 0.5$$

T: Température moyenne du mois considéré °C **K** : Coefficients d'ajustement mensuel

ETP: Évapotranspiration potentielle du mois considérée mm **I** : Indice Thermique

Cette méthode est basée sur la notion de réserve facilement utilisable (RFU), et nous admettons que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU) qui pourrait être reprise par l'ETP. (RFU max = 100 mm).

Nous établirons un bilan à l'échelle mensuelle, seulement pour la station de Hammam Debagh, représentant la totalité du barrage. Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau 3.

Tableau 3: Bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)

Mois /paramètre	T°C	I	K	ETP (mm)	P (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	Ded	EXC
Sept	24.9	11.4	1.03	116.3	39.6	0	39.6	76.7	0
Oct.	20.3	8.3	0.97	72.9	38.1	0	38.1	34.8	0
Nov.	14.1	4.8	0.86	31.2	70.7	39.5	31.2	0	0
Déc.	10	2.9	0.81	14.8	94.9	100	14.8	0	19.6
Janv.	9	2.4	0.87	12.9	86.8	100	12.9	0	73.9
Fév.	9.8	2.8	0.85	14.9	68.5	100	14.9	0	53.6
Mars	13.2	4.3	1.03	32.7	59.9	100	32.7	0	27.2
Avril	16.4	6	1.10	54	60.1	100	54	0	6.1
Mai	21.2	8.9	1.21	99.1	53	53.9	99.1	0	0
Juin	26.1	12.2	1.22	151.4	19.7	00	73.6	77.8	0
Juillet	39.7	14.8	1.24	199.2	4.6	00	4.6	194.6	0
Aout	29.5	14.7	1.16	183.2	10.1	00	10.1	173.7	0
Annuel	18.6	93.6		983.2	606.2		425.5	557.7	180.5

La représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite de la station de Hammam Debagh Fig.8 montre que l'évapotranspiration maximale a été observée pendant le mois de Juillet pour une valeur de 199,2 mm, ce qui produit un déficit agricole de 194,6 mm, nécessitant une irrigation pour les zones de culture.

Cependant, durant les mois de Novembre jusqu'au mois de Mars, on remarque une recharge de la nappe. Lorsque celle-ci dépasse la RFU, le surplus d'eau va partir vers le ruissellement superficiel.

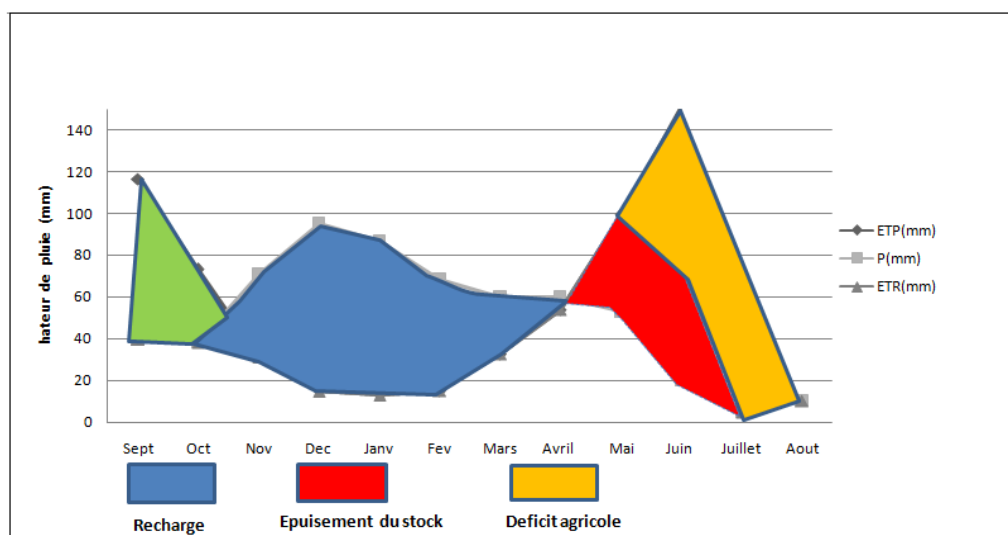


Fig.8: Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)

3.4.2. Calcul de l'ETR par la méthode de Turc :

La formule de Turc permet d'évaluer directement l'évapotranspiration réelle annuelle (ETR)

Annuelle à partir de la hauteur moyenne annuelle de pluie et de la température moyenne

Annuelle, selon la formule :

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \dots \dots \dots (3)$$

Avec :

ETR : Évapotranspiration réelle annuelle en mm **P** : Précipitation moyenne annuelle en mm

T : Température moyenne annuelle en °C **L** : Pouvoir évaporant.

Les résultats sont portés dans le Tableau suivant :

Tableau 4 : Évapotranspiration réelle annuelle selon la méthode de Turc

Paramètre /station	P (mm)	T°C	L	ETR (mm)
Debagh	606.2	18.6	1086.74	505.82

3.4.3. Calcul du Ruissellement (R) :

On entend par ruissellement, l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain et dans le réseau hydrographique des eaux météoriques. Une infime partie de cette eau.

Sera soumise à l'infiltration qui alimentera les nappes souterraines. Pour matérialiser la valeur

Du ruissellement nous allons appliquer la méthode approchée de Tixeront-Berkaloff, qui

S'écrit :

$$R = P^3 / 3 * (ETP)^2 \dots \dots \dots (4)$$

Avec :

R : Ruissellement (mm) **P** : Hauteur moyenne annuelle des pluies (mm)

ETP : Évapotranspiration potentielle (mm/an).selon Thornthwaite

Station Hammam Debagh

P = 606,2 mm **ETP** = 983,2 mm **R** = 76,81 mm soit 12,67 % des Précipitations.

34.4. Estimation du bilan hydrique

La formule générale du bilan hydrique donne l'égalité des apports et des pertes évaluées sur des grandes périodes.

$$P = ETR + R + I \dots \dots \dots (5)$$

Avec :

P : Hauteur moyenne annuelle des pluies (mm) **I** : Infiltration (mm/an)

ETR : Évapotranspiration réelle (mm/an) **R** : Ruissellement (mm).

Donc :

$$I = P - (ETR + R) \dots \dots \dots (6)$$

Station Hammam Debagh

P = 606, 2 mm **ETR** = 505, 82 mm

R = 76,81 mm **I** = 23,57 mm soit 3,88 % des Précipitations.

Les différentes composantes du bilan d'eau sont représentées dans le Tableau 5

Tableau 5: Les différentes composantes du bilan hydrique de la station Hammam Debagh

Paramètre /station	P (mm)	R (mm/an)	I (mm/an)	ETR (mm/an)	ETP (mm/an)	Déficit (mm/an)
H.Debagh	606.2	76.81	23.57	505.82	983.2	557.7
	100%	12.67%	3.88%	83.44%	-	-

4-Conclusion :

La région est soumise à un climat méditerranéen, appartenant au domaine humide à subhumide. Il est caractérisé par des irrégularités mensuelles et annuelles des précipitations. La température moyenne annuelle modérée est de l'ordre de 18,6°C. Les résultats de température et de précipitations définissent deux saisons typiques du climat méditerranéen, avec une saison sèche et une autre humide. Une multitude de formations lithologiques affleurent dans le bassin versant de l'oued Bouhamdane principalement : les grès numidiens, les marnes, les calcaires, les schistes, les marno-calcaires, les argiles, les conglomérats et les formations de surfaces (alluvions actuelles, éboulis de pentes, glacis,...) ; Ces faciès allant du Quaternaire au Trias.



Chapitre II

Matériels et méthodes

Introduction :

Ce chapitre est une description de la méthodologie et du support cartographique et des logiciels utilisés pour la réalisation des cartes thématiques, ainsi que la méthode utilisée pour l'établissement de la carte du potentiel d'eau au niveau du bassin versant de Bouhamedane .

1. Matériels :

1.1. Les données satellitaires :

1.1.1. 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 du terrain. Le MNT ne prend pas en compte les objets présents à la surface du terrain tels les plantes et les bâtiments. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) fait référence à des fichiers matriciels et vectoriels topographiques fournis par deux agences américaines : la NASA et la NGA (ex-NIMA). Ces données altimétriques ont été recueillies au cours d'une mission de 11 jours en février 2000 par la navette spatiale Endeavour (STS-99) à une altitude de 233 km en utilisant l'interférométrie radar.

1.1.2. Les images satellitaires (LANDSAT) :

La plateforme Earth Explorer de l'United States Geological Survey (USGS) offre un accès gratuit au téléchargement d'images satellite LANDSAT du territoire mexicain. L'OLI (Operational Land Imager) et les capteurs TIRS (Thermal Infrared Sensor) sont des instruments embarqués à bord du satellite LANDSAT 8, qui a été lancé en février 2013. De la page <https://earthexplorer.usgs.gov/> les images prises par le satellite sont téléchargées en précisant le nom de la région ou zone d'analyse ainsi que la date, une scène de la zone d'étude pour le 23/09 de l'année 2023 « p193 r35 » a été utilisé (voir Annexe).

1.2. Logiciel ArcGis 10.5 :

ArcMap ou ArcGIS desktop est un logiciel SIG pour visualiser, gérer, créer et analyser des données géographiques. En utilisant ArcGIS, vous pouvez comprendre le contexte géographique de vos données, ce qui vous permet de voir les relations et

d'identifier les modèles de nouvelles façons. A l'aide de ces trois applications ; ArcMap, ArcCatalog et ArcToolbox, 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. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour. Dans cette application, on travaille avec des cartes. Ces dernières ont une mise en page contenant une fenêtre géographique avec un ensemble de couches, légendes, barres d'échelle, Flèches « Nord » et autres éléments.

L'analyse géographique, la mise à jour des données et le géotraitement. ArcMap représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour. Dans cette application, on travaille avec des cartes. Ces dernières ont une mise en page contenant une fenêtre géographique avec un ensemble de couches, légendes, barres d'échelle, Flèches « Nord » et autres éléments.

2. Méthodes :

2.1. La température de la surface terrestre (LST) :

LANDSAT 8 fait partie de la série LANDSAT de la NASA (National Aeronautics and Space Administration). Les données de LANDSAT 8 sont disponibles gratuitement sur le site Web Earth Explorer de l'USGS (United States Geological Survey). Le satellite LANDSAT 8 image la Terre entière une fois tous les 16 jours. Dans la présente étude, les bandes TIR 10 et 11 ont été utilisées pour estimer la température de luminosité et les bandes 4 et 5 ont été utilisées pour générer le NDVI de la zone d'étude. Des données satellite sur la région 2023 ont été utilisées dans cette étude. LANDSAT 8 fournit des métadonnées des bandes telles que la constante thermique, la valeur du facteur de mise à l'échelle, etc., qui peuvent être utilisées pour des calculs comme le LST. Les bandes, la longueur d'onde et la résolution de Landsat8 sont telles qu'indiquées dans le tableau 6.

Tableau.6 le différent band du LANDSAT 8

Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 - Ultra Blue (coastal/aerosol)	0.435 - 0.451	30
Band 2 - Blue	0.452 - 0.512	30
Band 3 - Green	0.533 - 0.590	30
Band 4 - Red	0.636 - 0.673	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.851 - 0.879	30
Band 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.566 - 1.651	30
Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.107 - 2.294	30
Band 8 - Panchromatic	0.503 - 0.676	15
Band 9 - Cirrus	1.363 - 1.384	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	30
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	30

Estimation de la température de la surface terrestre (LST) La télédétection thermique ne fournit que la mesure de la température radiante de surface principalement émise par le sol. Cette grandeur peut être convertie en température de luminosité, qui est affectée par différents effets atmosphériques et aussi par le fait que la surface de la terre n'est pas un corps noir parfait pour l'émission thermique (Mani N D, et al.2014)

I. Top of Atmosphere (TOA) Radiance:

En utilisant le facteur de redimensionnement de radiance, les nombres numériques infrarouges thermiques peuvent être convertis en radiance spectrale TOA.

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL$$

Où:

$L\lambda$ = rayonnement spectral TOA (Watts/ (m² * sr * μm))

ML = Bande multiplicative de rayonnement (No.)

AL = Bande d'ajout de rayonnement (No.)

Q_{cal} = Valeurs de pixels du produit standard quantifiées et calibrées (DN)

II. Top of Atmosphere (TOA) Brightness Temperature:

Les données de radiance spectrale peuvent être converties en température de luminosité du haut de l'atmosphère à l'aide des valeurs de constante thermique dans le fichier de métadonnées.

$$BT = K2 / \ln (k1 / L\lambda + 1) - 272.15$$

Où:

BT = Température de luminosité du haut de l'atmosphère (°C)

$L\lambda$ = rayonnement spectral TOA (Watts/ (m² * sr * μm))

K1 = K1 bande constante (n°)

K2 = Bande constante K2 (No.)

III. Normalise Différentiel Végétation Index (NDVI):

L'indice de végétation différentiel normalisé (NDVI) est un indice de végétation standardisé calculé à l'aide des bandes proche infrarouge (Bnad 5) et rouge (bande 4).

$$NDVI = (NIR - ROUGE) / (NIR + ROUGE)$$

Où:

RED = valeurs DN de la bande rouge

NIR = valeurs DN de la bande proche infrarouge

IV: Land Surface Emissivity (LSE):

L'émissivité de la surface terrestre (LSE) est l'émissivité moyenne d'un élément de la surface de la Terre calculée à partir des valeurs NDVI.

$$PV = [(NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} + NDVI_{min})]^2$$

Où:

PV = Proportion de végétation

NDVI = valeurs DN de l'image NDVI

NDVI min = valeurs DN minimales de l'image NDVI

NDVI max = valeurs DN maximales de l'image NDVI

$$E = 0.004 * PV + 0.986$$

Où:

E = émissivité de la surface du sol

PV = Proportion de végétation

v : Température de surface du sol (LST) :

La température de surface du sol (LST) est la température radiative calculée en utilisant la température de luminosité du sommet de l'atmosphère, la longueur d'onde du rayonnement émis et l'émissivité de la surface du sol.

$$LST = (BT / 1) + W * (BT / 14380) * \ln(E)$$

Où:

BT = Température de luminosité du haut de l'atmosphère (°C)

W = longueur d'onde du rayonnement émis

E = émissivité de la surface du sol

2.2. La modélisation hydrologique :

Aujourd'hui l'outil informatique permet d'entreprendre aisément ces différentes manipulations permettant la délimitation des bassins versants, la mesure de la géométrie, de l'hypsométrie, des pentes ou de l'organisation du réseau hydrographique. A cet effet, des logiciels des Systèmes d'Information Géographique, notamment ArcGis, fournissent des outils intéressants de calculs et de mesures hydromorphologiques à partir des cartes MNT .La délimitation du 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.

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

2.2.1. Processus d'extraction du réseau hydrologique :

Les méthodes d'extraction retiennent d'un réseau hydrographique à partir d'un MNT repose sur le principe d'un cheminement naturel des eaux entraînées par la gravité et guidées par la topographie. Elles s'appuient sur la détermination des directions d'écoulement de l'eau en chaque cellule de résolution ou pixel à partir des valeurs altimétriques du MNT, sachant que l'eau emprunte le chemin défini par la ligne de plus grande pente. Ainsi les cellules se déversent les unes dans les autres en fonction de la pente locale et de ceci un ensemble cohérent de talwegs principaux pourra être déduit .Les étapes de traitement sont schématisées par l'organigramme fonctionnel donné par la figure 9.

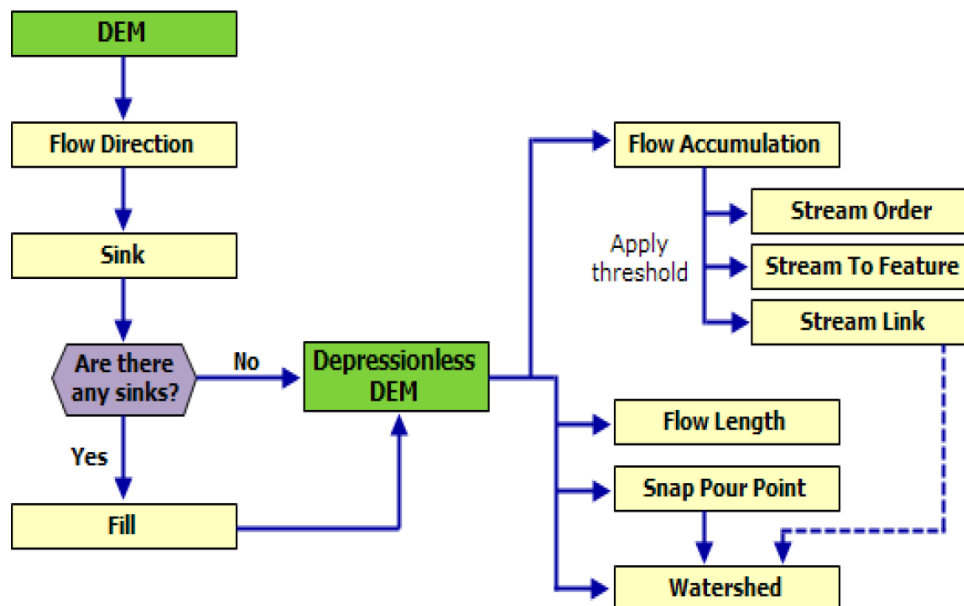


Fig. 9.Organigramme général du processus d'extraction du réseau hydrographique et Délimitation du bassin.

2.2.2. Extraction de la carte des pentes :

La topographie et / ou le gradient de pente influencent directement l'infiltration de pluie et pourrait être considéré comme l'un des les indicateurs d'accessibilité potentielle des eaux souterraines(Gnanach and Rasamy, 2018).Il peut également donner une indication pour le général direction d'écoulement des eaux souterraines

(Gupta, 2010). La carte du pourcentage de pente de la zone d'étude a été préparée à partir du MNT sous ArcGIS à partir de Modules → Spatial Analyst Tools → surface → Slope : Nous obtenons donc une carte des pentes avec Des pourcentages variant entre 1 et 100 %.

2.2.3. Densités de drainage :

La densité de drainage est l'un des indicateurs importants de la recharge des eaux souterraines (Magesh, 2012) et occurrence des eaux souterraines. En fait, il est lié aux propriétés de percolation de l'eau de la lithologie sous-jacente, ayant par conséquent une

Relation étroite avec cartographie des eaux souterraines. La densité de drainage est une fonction inverse de la perméabilité. Une zone à faible surface perméable sujette à une densité de drainage élevée et l'eau provenant des précipitations va vers un ruissellement élevé ainsi et vice versa. En conséquence, un drainage élevé la densité implique un faible potentiel des eaux souterraines. L'algorithme a mis en avant pour extraire le drainage réseaux à partir de DEM avec une résolution de 30 m en utilisant un outil d'analyse spatiale dans ArcGIS 10.5. Après, une carte de densité de drainage est produite à l'aide d'un outil d'analyse de densité de Selon la définition de études précédentes; (Magesh, 2012) la densité de drainage (Dd) est la longueur totale des segments de flux divisés par la surface unitaire (Eq.1).

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n Li}{A}$$

Où

Li la longueur totale du drainage [L], A est la surface totale de la zone d'étude du site, et n représente le nombre de réseaux de drainage dans le sous bassin.

2.2.4 Densités de linéaments :

Un linéament est un élément linéaire dans un paysage géographique qui est une manifestation de la structure géologique fondamentale. La densité des linéaments a été définie comme la longueur totale de tous les linéaments enregistrés divisés par la zone considérée. Le logiciel Arc.GIS 10.5 et particulièrement la rubrique surface (Hillshade) est utilisée pour le traitement du DEM et pour extraire les linéaments

2.2.5. Pluviométrie :

Les précipitations sont l'un des facteurs importants à délimiter zones de potentiel des eaux souterraines. En fait, c'est la principale source de recharge naturelle qui développe les eaux souterraines. La carte des précipitations a été élaborée à partir des données de

Précipitations moyennes enregistrées dans les postes pluviométriques implantés dans le bassin versant et dans les alentours, le krigage est utilisé pour l'interpolation des points et la réalisation de la carte des précipitations.

2.2.6. Cartographie géologique :

La carte géologique numériquement vectorisés de la zone d'étude a été utilisée. Cette carte a été dérivée à partir d'une digitalisation manuelle de la carte géologique (vila.1980 in Bouguerra.H, 2017) d'une échelle de 1/500000. Elle affiche les informations géologiques sous la forme de vecteurs et des polygones. Cette méthode de stockage de données et l'affichage a permis une catégorisation simple des unités géologiques dans ArcMap (ArcGIS version 10.5).

2.2.7. Occupation du sol :

Une image satellitaire du Sentinel-2.10meter land-Use /land cover est télécharger du site <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>.

Grâce à l'intelligence artificielle (IA) Les modèles de classification des sols existants ont été améliorés en rassemblant un vaste ensemble de données de formation de milliards de pixels d'images étiquetés par l'homme. Ces modèles ont été appliqués à l'ensemble de la collection de scènes Sentinel-2 pour chaque année, soit plus de 2 000 000 observations de la Terre à partir de 6 bandes spectrales pour produire les cartes. Le résultat fournit une carte de 9 classes de la surface, comprenant les types de végétation, la surface nue, l'eau, les terres cultivées et les zones bâties. Ces cartes sont disponibles sur ArcGIS Living Atlas of the World. Notre zone d'étude a été sélectionné et traitée par le logiciel Arc-gis 10.5.

2.2.8 -Carte des sols :

La carte des sols du bassin est réalisée a partir de la base harmonisée de données des sols du monde est une base de données avec une trame de 30 arc-seconde et plus de 15 000 différentes unités cartographiques de sols qui combine les mises à jour

régionales et nationales d'informations existantes sur les sols du monde entier (SOTER, ESD, Carte des sols de la Chine, WISE) avec les informations contenues dans la Carte des sols du monde FAO-UNESCO à l'échelle 1:5 000 000 (FAO, 1971-1981). La base de données résultante se compose de 21 600 lignes et 43 200 colonnes, qui sont liées à des données harmonisées de propriétés du sol. L'utilisation d'une structure standardisée permet la liaison des données avec la trame de la carte pour afficher ou interroger la composition en termes d'unités de sol et la caractérisation des paramètres de sol sélectionnés (carbone organique, pH, capacité de stockage de l'eau, profondeur du sol, capacité d'échange cationique du sol, fraction argileuse, somme des éléments nutritifs échangeables, teneur en chaux et gypse, pourcentage d'échange de sodium, salinité, classe texturale et granulométrie).

3. La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) :

a. Méthode de Saaty :

L'analyse hiérarchique multicritère, inventée par le mathématicien Thomas (Saaty, 1980),

Permet la comparaison et le choix entre des options préétablies. Elle repose sur la Comparaison de paires d'options et de critères.

- Principes fondamentaux de la méthode AHP :
- Structuration hiérarchique (classes - critères - poids)
- Structuration des priorités (sous critères - rangs)
- Cohérence logique
- Méthode semi-quantitative

Le logiciel *Expert Choice* développé aux US par F. Saaty (1985) est la version informatique de la méthode. La Méthode multicritère d'aide à la décision intégrant plusieurs critères et arrivant à un choix justifié de technologie, la décision est alors dite rationnelle, systématique et correctement prise.

b. Avantage de la méthode AHP

- sa capacité de structurer un problème complexe, multicritère, multi personne et Multi période de façon hiérarchique,
- la comparaison binaire des éléments (alternatives, critères et sous critères),
- et la facilité de son support informatique, le logiciel *Expert Choice*.

c. trois principes de la méthode AHP

- la structuration hiérarchique
- la structuration des priorités, comparaison binaire
- la cohérence logique

La méthode AHP passe par une conversion ordinale $\Longrightarrow$ attribution d'un facteur de

Pondération aux critères $\Longrightarrow$ **poids**

- Utilisation d'une échelle de valeur

Tableau.7 Échelle de valeurs (d'après Saaty ,1984).

Degrés d'importance	Définition	Explications
1	Importance égale des deux éléments	Deux éléments contribuent autant à la propriété
3	Un élément est plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelle favorisent légèrement in élément par rapport à un autre
5	Un élément est plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelle favorisent fortement in élément par rapport à un autre
7	Un élément est beaucoup plus important que l'autre	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique
9	Un élément est absolument plus important que l'autre	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possible

Exemple: Cas de critères à poids variables

1^{er} Économique > 2^{ème} Technique > 3^{ème} Social

Critères	économique	technique	social	Éco.	Tech.	Soc.	Σ =	Σ / 3
économique	1	2	3	0.55	0.57	0.50	1.62	0.54
technique	1/2	1	2	0.27	0.29	0.33	0.89	0.30
social	1/3	1/2	1	0.18	0.14	0.17	0.49	0.16
Σ =	1.83	3.5	6	1.00	1.00	1.00		

Matrice de comparaison

- La valeur propre (poids) des différents éléments s'obtient par la normalisation de la matrice réciproque.
- Le poids total des alternatives est obtenu par l'addition des différents poids de chacun des critères et sous-critères.

$$\begin{bmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & w_1 / w_3 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & w_2 / w_3 & \dots & w_2 / w_n \\ w_3 / w_1 & w_3 / w_2 & w_3 / w_3 & \dots & w_3 / w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & w_n / w_3 & \dots & w_n / w_n \end{bmatrix}$$

Matrice réciproque : La matrice sert à une comparaison binaire

Matrix	precipitation	geologie	pente	densite de drainage	densite lineament	LUCL	sol	LST	0	0	normalized principal Eigenvector
precipitation	1	3	3	5	5	5	6	5	-	-	34.17%
geologie	1/3	1	4	3	5	5	5	3	-	-	23.91%
pente	1/3	1/4	1	1	3	3	5	3	-	-	12.57%
densite de drainage	1/5	1/3	1	1	1	2	3	2	-	-	8.72%
densite lineament	1/5	1/5	1/3	1	1	1	3	1	-	-	6.13%
LUCL	1/5	1/5	1/3	1/2	1	1	3	2	-	-	6.15%
sol	1/6	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1	2	-	-	3.82%
LST	1/5	1/3	1/3	1/2	1	1/2	1/2	1	-	-	4.53%
0	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	0.00%
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.00%

Fig. 10. Matrice de corrélation cas de l'étude du Bassin de Bouhamdane

Trois calculs sont nécessaires pour arriver aux valeurs des priorités

- Additionner les colonnes de la matrice : tous les éléments d'une même colonne sont Additionnés.
- Normaliser la matrice : chaque entrée de la matrice est divisée par le total de sa colonne. La normalisation de la matrice permet alors des comparaisons significatives entres les éléments ;

- et calculer la moyenne des lignes : tous les éléments d'une même ligne de la matrice normalisée sont additionnés et ensuite divisé par le nombre d'entrées qu'elle comporte.

Le résultat des étapes précédentes fournit les pourcentages des priorités globales relatives. Ces calculs sont effectués par une application sous Excel développé par K. D (Goepel, 2018).

Dans cette approche hiérarchique de classification, il est également possible de vérifier la cohérence de notre approche en calculant la relation de cohérence ou de consistance (CR). Ce dernier constitue un test d'acceptation des poids des différents critères. Cette étape vise à détecter les incohérences éventuelles dans la comparaison de l'importance de chaque paire de critères. La relation de cohérence CR est calculée comme suit :

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Avec CI, l'indice de consistance et RI un indice randomisé. L'indice de consistance est Calculé comme suit :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \lambda_{max} : \text{valeur propre maximale ; } n : \text{nombre de critères}$$

L'indice randomisé est une valeur qui dépend de la taille de la matrice, c'est-à-dire le Nombre de critères envisagés

Tableau 8 : l'indice randomisé

Taille matrice	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.58	0.90	1.012	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

D'après les travaux de (Yurdakul, 2004), La valeur de CR doit être inférieure à 0,1 pour conclure que les jugements de comparaison par paires sont cohérents. En revanche, si la valeur de CR est supérieure à 0,1 les coefficients de la matrice sont incohérents et on ne peut pas s'y référer pour la poursuite de l'analyse

3. Génération de la carte du potentiel des eaux souterraines :

La carte du potentiel des eaux souterraines a été générée en considérant l'importance comparative des différentes couches thématiques et leurs classes correspondantes. GPx, un quantitatif sans dimension Une approche a été adoptée pour délimiter la zone

potentielle des eaux souterraines .Considérant tous les thèmes et fonctionnalités de couche, l'indice de potentiel des eaux souterraines est calculé comme suit:

$$GP_x = L_w L_r + LC_w LC_r + Ld_w Ld_r + Dd_w Dd_r + Dl_w Dl_r + R_w R_r + LST_w LST_r + S_w S_r + GewGer$$

Où :

GP_x est l'indice de potentiel des eaux souterraines ; L est la partition de lithologie; Dd est le score de densité drainage ; Dl est le score de densité de linéament ; Ld est le score du gradient de pente ; LC est le score de l'occupation des sols ; R est le score des précipitations ; Ge est le score des formations lithologiques ; LST est le score de la température de surface du sol; S est le score des types de sols et où les indices w et r font référence au poids d'un thème et au taux de caractéristiques individuelles d'un thème, respectivement.

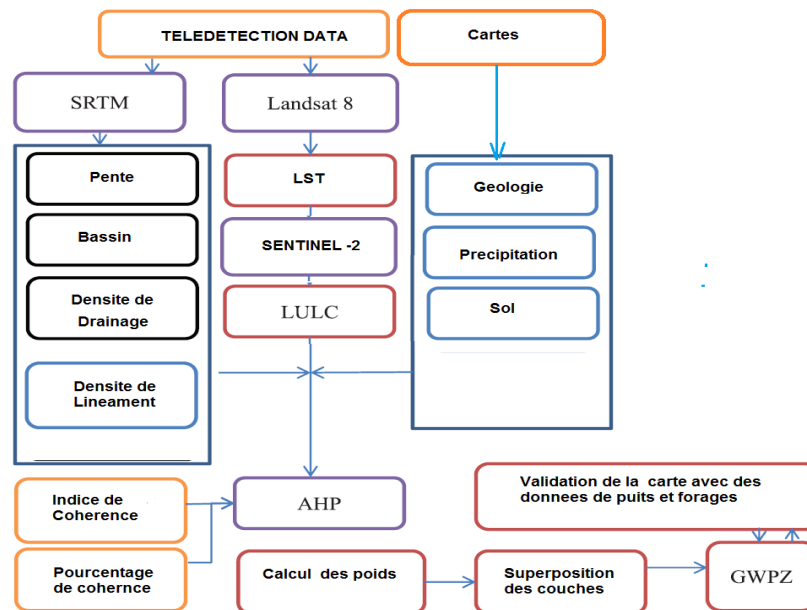
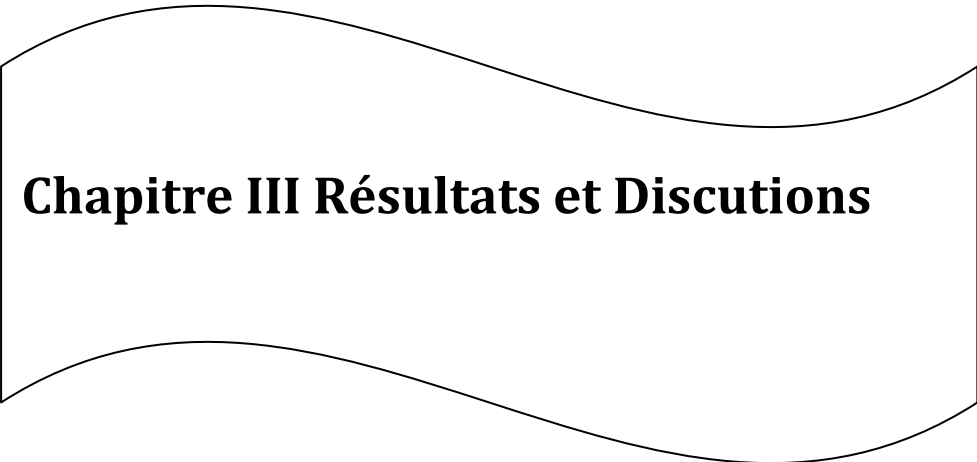


Fig.11.Cadre conceptuel adopté pour la génération de la carte du potentiel des eaux Souterraine



Chapitre III Résultats et Discussions

Introduction :

Cette partie est consacrée à l'interprétation des cartes thématiques obtenues par l'utilisation de l'outil SIG et par la télédétection chacune des 9 cartes (précipitation, occupation du sol, carte des pentes, densité de drainage et la carte géologique...) sont le résultat d'un traitement par le logiciel Arc gis, les cartes obtenues sont en format raster avec un même géo-référencement pouvant être superposées afin d'avoir la carte des zones ayant potentiel aquifère.

1. Hydrologie

Le traitement de l'image satellitaire MNT Par ArcMap a permis de délimiter le bassin versant de Bouhamdane ainsi que la détermination du réseau hydrographique et la réalisation de la carte des pentes. Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de Bouhamdane ont été déterminés à partir du logiciel ArcGis 10.5 le bassin versant à une superficie de 1105km² pour un périmètre de 202.87 km la forme du bassin versant conditionne le temps de réponse aux précipitations.

L'indice de compacité de Gravelius (K_G), est un indice morphologique permettant de caractériser le milieu physique et de comparer plusieurs bassins versants entre eux. Cet indice est défini comme le rapport du périmètre du bassin versant considéré (P) au périmètre du cercle (P') ayant la même superficie (LABORDE 2013). Il est obtenu par la formule suivante (Eq.)

Ce coefficient « Kc » caractérise la compacité et compare la forme du bassin versant

Où :

P : Périmètre (km) ;

A : Surface du bassin versant (Km²) ;

$$K_G = \frac{P}{P'} = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot S}} \approx 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

L'indices de compacité est supérieur à 1 (1.72) ; ce qui correspond à une forme allongée

2. Pentes du bassin versant de l'oued Bouhamdane :

Le bassin versant de l'oued Bouhamdane présente un relief hétérogène, accidenté où prédominent des pentes de classes moyennes à fortes. En moyenne sur son ensemble le bassin versant à une valeur de pente de 14,86 %, ce qui est relativement modérée. Les plus fortes valeurs sont localisées aux alentours de la cuvette (plan d'eau) du barrage Hammam Debagh où les pentes peuvent atteindre les 60 % (ce sont des pentes raides). Au Sud du bassin versant les pentes sont généralement faibles à modérées (figure 12).

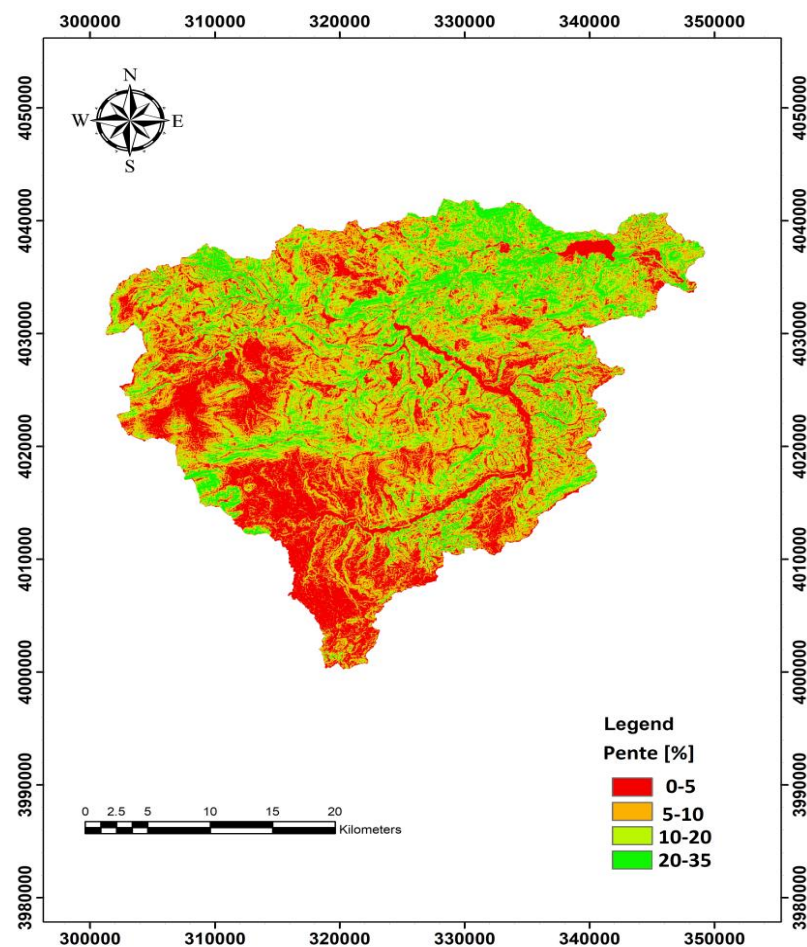


Fig.12 - Carte des pentes du bassin versant de Bouhamdane.

3- Carte des précipitations :

Une carte thématique numérisée a été fournie par l'ANRH sous forme de données vectorielles. Cette carte a permis de spatialiser les précipitations annuelles sur la totalité du bassin versant par une interpolation de type "Topo to Raster" des isohyètes de pluies à l'aide du logiciel ArcGIS. Sur le bassin versant de l'oued Bouhamdane les précipitations moyennes annuelles varient entre 433 et 728 mm, avec une moyenne de 572 mm/an (figure 13). Les plus fortes valeurs sont localisées au Nord, alors que les plus faibles moyennes annuelles sont rencontrées au Sud du bassin versant. Donc, d'une manière générale ; une tendance à la baisse du Nord vers le Sud (selon la loi de l'éloignement par rapport à la mer de la pluviosité en Algérie).

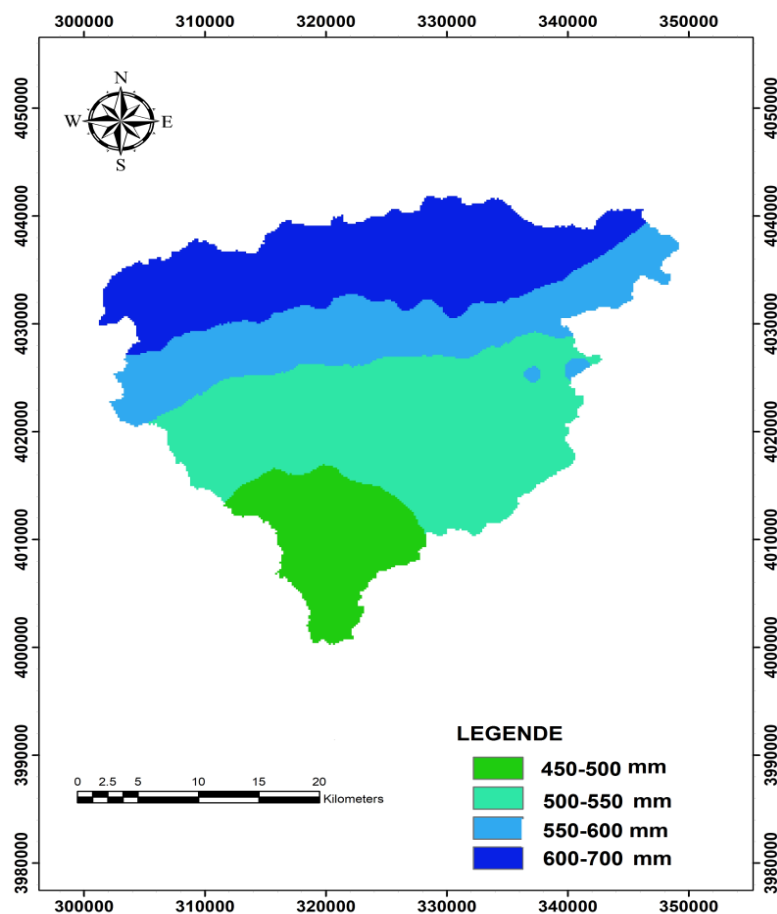


Fig.13 - Carte des précipitations du bassin versant de Bouhamdane

4- Carte géologique du bassin versant de Bouhamdane :

Le bassin versant de l'oued Bouhamdane se caractérise par plusieurs formations : les grès numidiens, les marnes, les calcaires, les schistes, les marno-calcaires, les argiles, les conglomérats et les formations de surfaces (alluvions actuelles, éboulis de pentes, glaciis,...) ; Ces faciès allant du quaternaire au trias. Les marnes du crétacé, les marno-calcaires de l'éocène et les argiles de l'oligocène et du crétacé, se rencontrent essentiellement dans la partie Est du bassin versant (figure 14). Elles occupent une superficie importante soit un tiers de la superficie totale de ce bassin versant. Quant aux grès de l'oligocène, les calcaires du crétacé et les marnes schisteuses du sénonien supérieur composent environ 40 % du bassin versant. La partie Ouest du bassin versant de l'oued Bouhamdane est constituée majoritairement de formations superficielles et de conglomérats du Mio-pliocène.

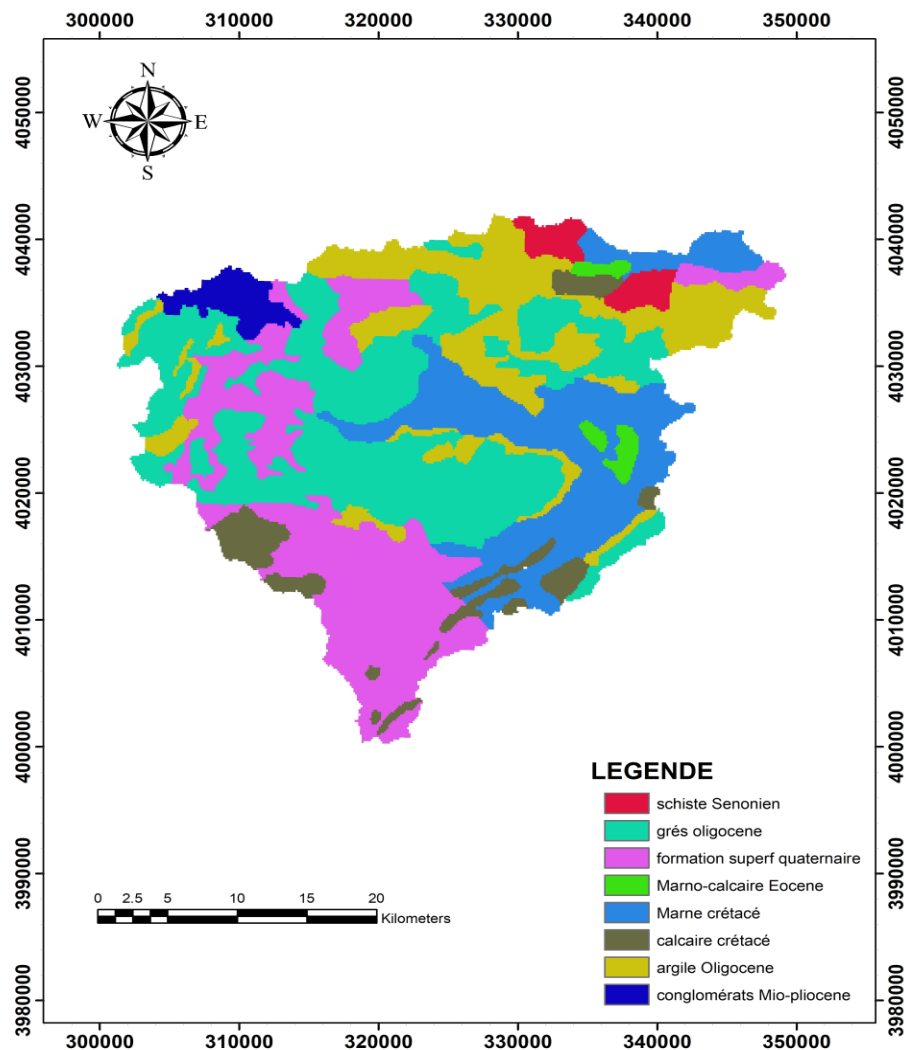


Fig.14 - Carte géologique du bassin versant de Bouhamdane

6-. Densité de drainage

La figure 15 illustre la classe de densité de drainage dans la zone d'étude. La classe a été attribuée en fonction de son importance en termes de potentiel de stockage des eaux souterraines, à savoir « très faible » (1), « faible » (2), « moyenne » (3), « bonne » (4) et

Excellent (05). Dans la zone d'étude, 25%, 22% et 12% du paysage ont été trouvés dans les classes de densité de drainage 3,4 e 5 respectivement. Cela implique la disponibilité de bonnes zones de potentiel en eau souterraine. Donc plus 50% de la surface est couverte par les classes de drainages avec une bonne potentialité pour le stockage des eaux souterraines.

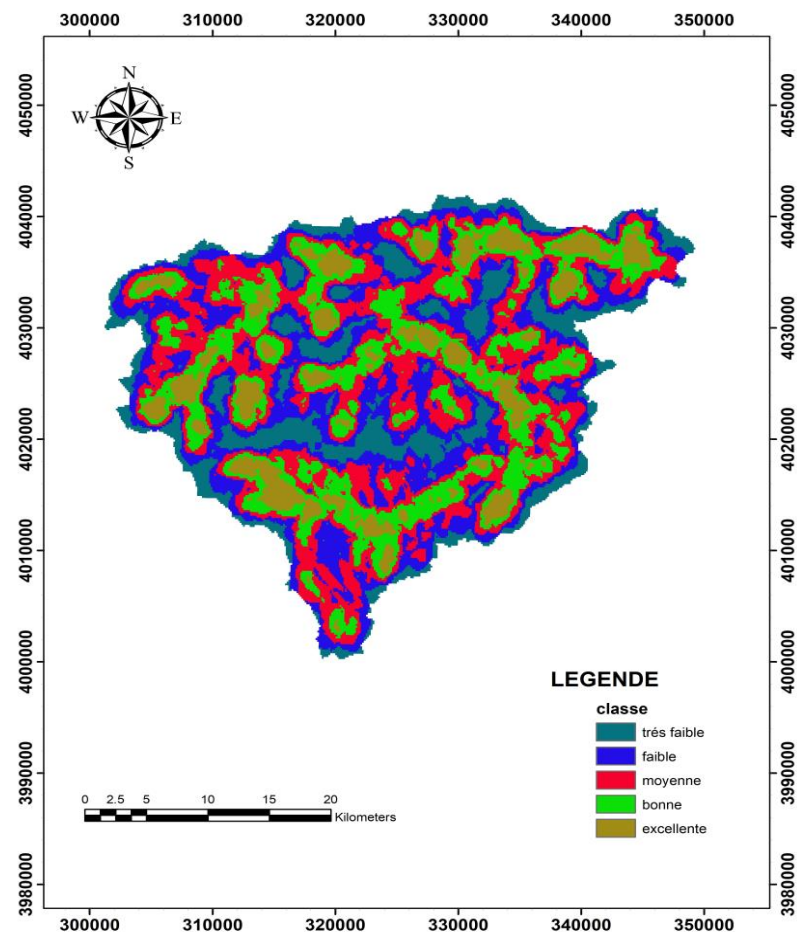


Fig.15 - Carte de densité de drainage du bassin versant de Bouhamdane

Tableau 9. Répartition des surfaces et pourcentage (densité de drainage)

Classe	Surface (Km ²)	Pourcentage
Très faible	181.77	16.47
Faible	261.39	23.69
Moyenne	277.183	25.12
bonne	248.77	22.54
Excellente	134.27	12.17

7-. Carte de densité de linéaments :

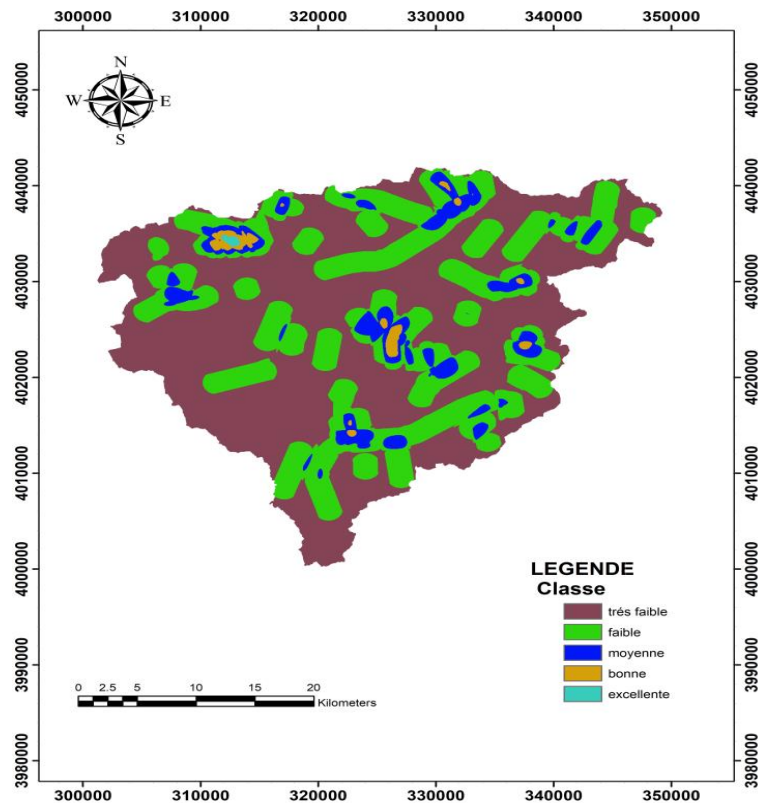


Fig.16 - Carte de densité de linéament du bassin versant de Bouhamdane

La densité des linéaments (Fig.16) est directement proportionnelle à la zone de recharge de la nappe. Le but de l'analyse du linéament est d'améliorer la compréhension de la relation entre la pénétration des eaux de surface et les systèmes de fracturation, contrôlant infiltration d'eau et mobilité. La carte de densité linéamentaire montre que la partie centrale et Nord-ouest du bassin versant étudié sont étai considérées comme des zones d'eaux souterraines prometteuses.

8-. Carte d'occupation du sol :

L'examen de la carte d'occupation du sol fig.17 tableau montre que le sol dans la région et en grande majorité est en grande partie masqué par la végétation variant entre broussaille et herbes , les sols bâties et les surfaces d'eaux matérialisées par le plan d'eau du barrage de hammam Debagh et les eaux des surfaces ne représentent que 1%.

Tableau 10. Répartition des surfaces et pourcentage (occupation du sol)

Classe	Surface (Km ²)	Pourcentage
Plan d'eau	6.2413	0.55
arabres	106.8917	9.57
Herbes	12.3252	1.10
Vegetation	649.4985	58.19
Agriculture	305.1613	27.34
Broussailles/ arbustes	30.8305	2.76
Zone batie	5.4099	0.48
Sol nu	0.0006	0.000054

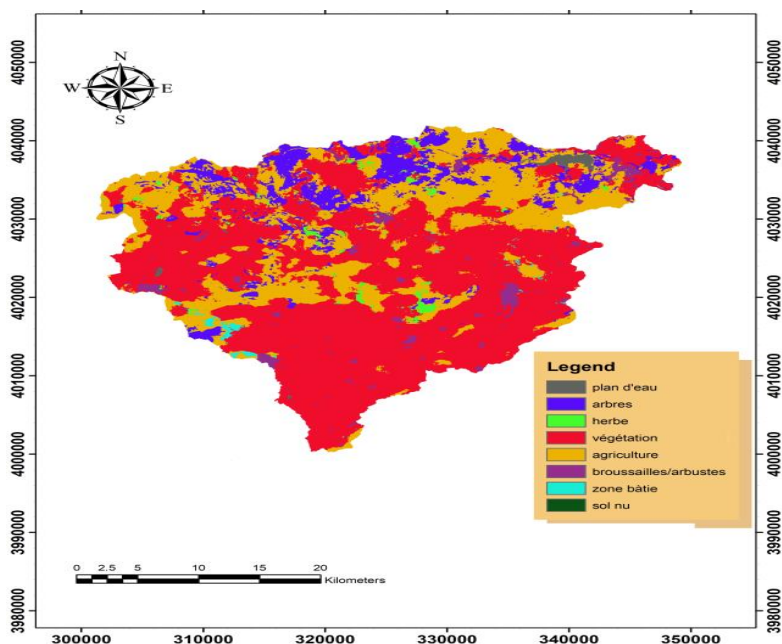


Fig.17 - Carte d'occupation du sol du bassin versant de Bouhamdane

9-. Carte des sols :

L'utilisation d'une application HWSD (Harmonised world soil database) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) nous a permis de voir les caractéristiques des deux principaux sols de la région d'étude, le Bk21-2bc 1974 (WRB 2022Cmca calcaric combisol) ayant une texture à dominance argileuse riche en carbonate de calcium avec une surface 860Km^2 , soit 78% de la surface du bassin, le second le xk13-2b 1974 (WRB 2022Clha halpic calcisol) avec une surface 242Km^2 soit 22% de la surface du bassin ayant une texture sablo-argileuse figure 18 (en annexe les deux tableaux englobant toutes les caractéristiques des deux sols).

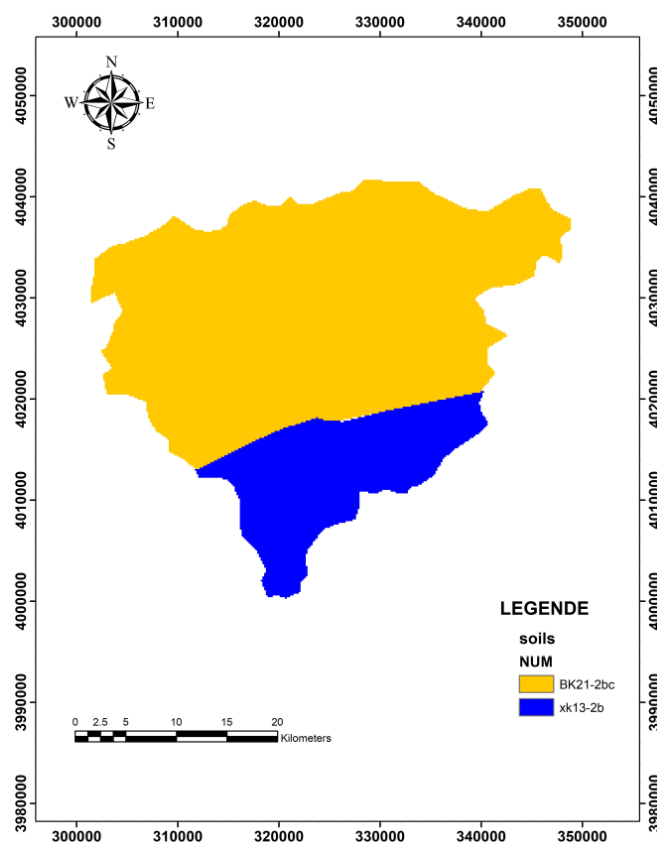


Fig.18 - Carte des sols du bassin versant de Bouhamdane

10- Carte de température de surface du sol :

La carte de températures de surface du sol obtenue après un traitement d'une image satellitaire LANDSAT 8 (Fig.19) , montre la plage de températures la plus élevée est localisée au Nord Est coïncidant avec la région Hammam Debagh connue pour son thermalisme , le côté Ouest est caractérisé par température de surface du sol moindre comparativement à l'Est du bassin .

Tableau 11. Répartition des surfaces et pourcentage (Température de surface du sol)

Classe de temperature (°C)	Surface (Km ²)	Pourcentage
40-45	291.86	26.44
45-50	283.27	25.66
50-55	225.56	20.43
55-60	302.856	27.44

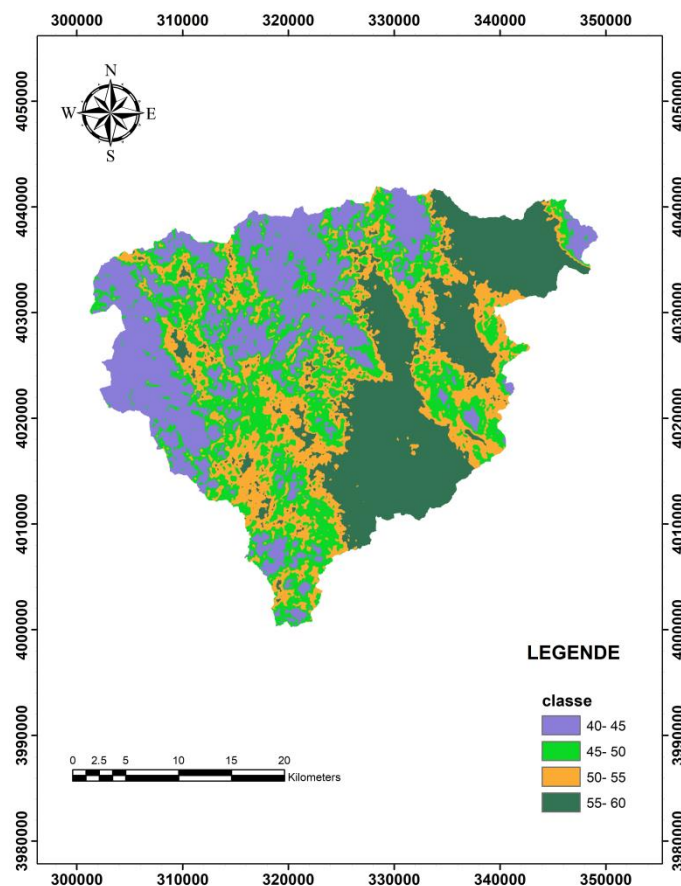


Fig.19 - Carte des températures de surfaces du bassin versant de Bouhamdane

11. Carte du potentiel d'eau souterraine

Les résultats de l'approche hiérarchique de classification, (annexe 1 et 2) montrent que le ratio de cohérence ou de consistance (CR) qui constitue un test d'acceptation des poids des différents critères il est de l'ordre de 0.06 une valeur inférieure à 0.1 donc les jugements de comparaison par paires sont cohérents, avec un CI, l'indice de consistance et un RI, un indice randomisé respectivement de l'ordre de 0.087 et 1.41 et un $\lambda = 8.609$ (voir tableau partie méthodologie).

La carte du potentiel des eaux souterraines a été élaborée en utilisant une analyse de superposition d'index pondéré en résumant les valeurs pondérales de chaque couche thématique. Le score de chaque zone avec une valeur pondérée élevée était considéré comme une eau souterraine. Par conséquent, la carte du potentiel des eaux souterraines est classée en quatre classes avec une potentialité des eaux souterraines du très faible au potentiel excellent. Ceci est attribué comme suit : 562 Km² (moyen) représentant plus de 50% de la surface du bassin, 261 km² (bon), 251.41 km² (faible), 7.30 km² (très faible). Comme le montre la figure 20, les zones de fort potentiel des eaux souterraines sont localisées dans la partie Nord du bassin avec une surface de 261 Km² soit un pourcentage de 24% de la surface totale du bassin.

Tableau 12. Répartition des surfaces et pourcentage (potentiel en eau souterraines)

Classe	Surface (Km ²)	Pourcentage
Potentiel tres faible	7.30	0.67
Potentiel faible	251.41	23.25
Potentiel moyen	562.026	51.99
Potentiel bon	261.13	24.15
Potentiel excellent	0.02934	0.0027

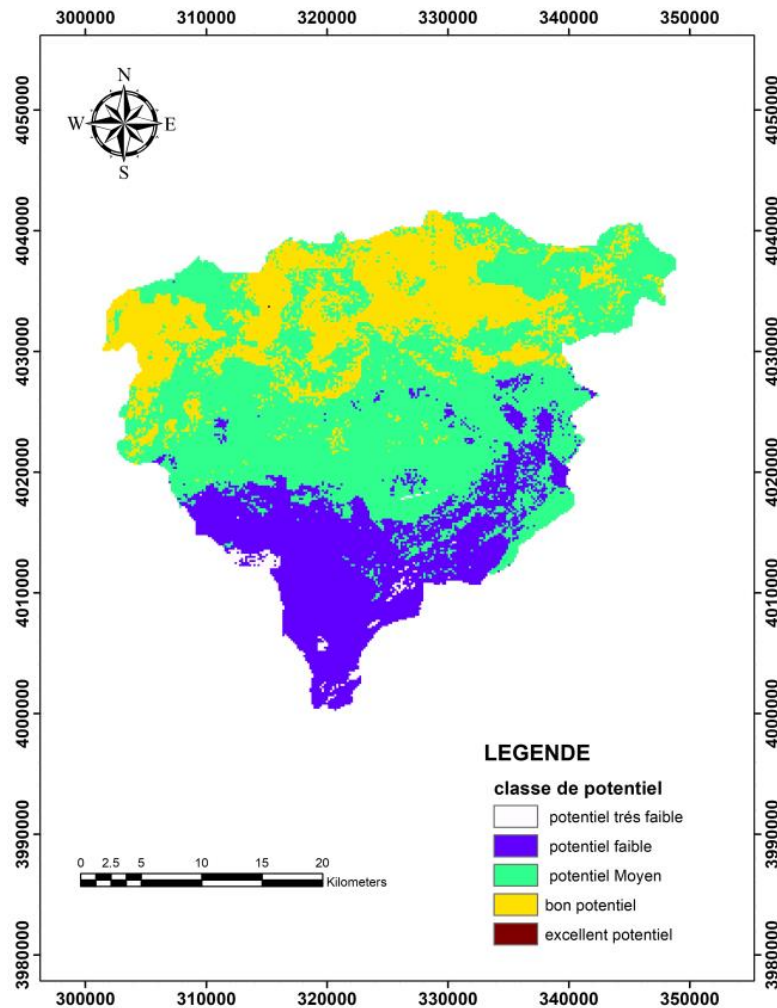


Fig.20 Carte du potentiel d'eau souterraine (Bassin Bouhamdane)

12- Validation de la carte du potentiel d'eau souterraine :

Afin de valider la carte du potentiel d'eau souterraine du bassin de Bouhamdane (Fig.21), on a placé les puits et forages réalisés au niveau de la zone d'étude, les puits et forages en questions sont inventoriés par l'ANRH (agence nationale des ressources en eaux voir annexe). sur les 64 puits et forages inventoriés 79% coïncident avec la classe a potentiel moyen en eau souterraine alors que 12% concorde avec la classe a faible potentiel alors 9% sont avec la classe a fort potentiel (annexe 1). La prédominance du potentiel moyen en eaux souterraines dans la région est confirmée par le nombre et le débit des puits implantés dans la région qui est faible, aussi le nombre de forages qui est très limité, les services hydrauliques sont obligés d'alimenter les localités de la région (Oued Zenati, Bordj Sabath) par les eaux souterraines de plaine de Tamlouka située à une vingtaine de kilomètres.

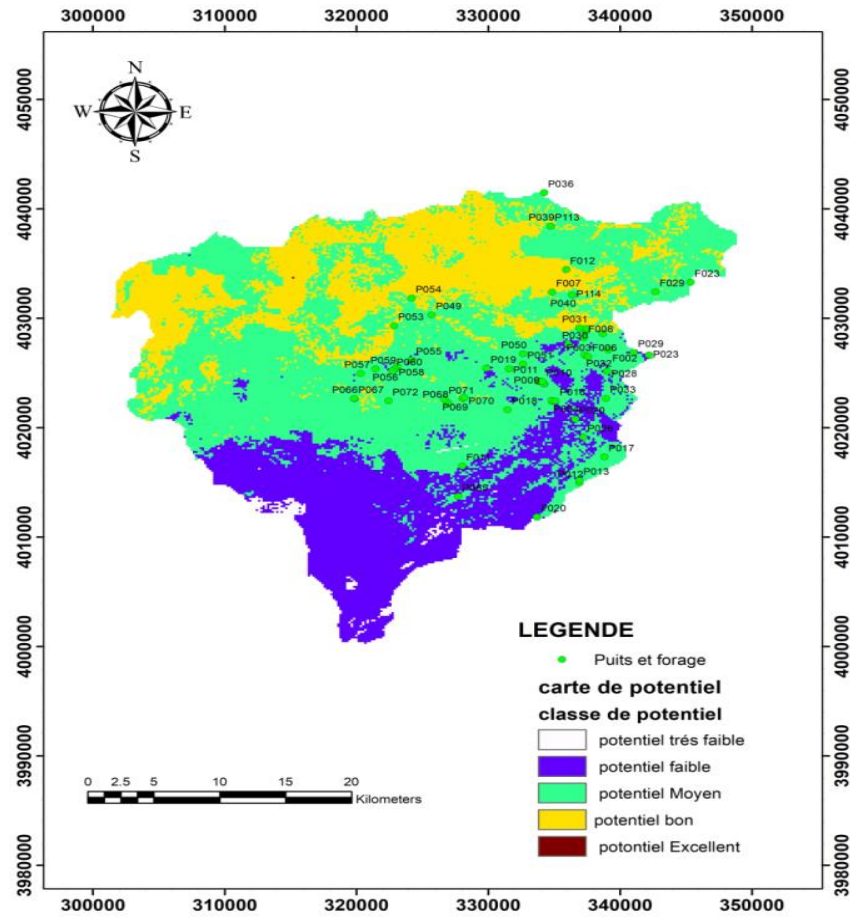


Fig.21 validation de la Carte du potentiel en eaux souterraine cas du bassin Bouhamdane

Conclusion :

L'évaluation du potentiel des eaux souterraines est une étape essentielle pour utiliser et gérer les ressources de manière efficace et efficiente. Dans le présent étude:SIG, télédétection et technique AHP sont utilisées pour délimiter le zones a potentiel en eau souterraines en se basant sur la géologie, les précipitations, la pente, le sol, l'occupation des sols, densité de drainage, la densité des linéaments ,la température de la surface du sol ,dans le bassin versant de Bouhamdane .Le processus AHP de l'analyse hiérarchique nous a permis d'avoir les poids des chaque couches thématiques. Les zones de potentiel des eaux souterraines ont été obtenues en superposant toutes les cartes thématiques en termes de superposition pondérée ,méthodes utilisant l'outil d'analyse spatiale d'ArcGIS 10.5, et il a été constaté que la zones a potentiel moyen occupe plus de 50% de la surface du bassin tandis que la zone ayant un bon potentiel occupe 24% de la surface du bassin, pour valider les résultats obtenues on a superposé la carte des forages et puits implantés dans la zone d'étude et on a constaté que 79% des puits sont dans la zone a potentiel moyen en eaux souterraines . En conclusion, la carte du potentiel des eaux souterraines peut servir de base aux planificateurs en matière de gestion des ressources en eau et de l'aménagement du territoire. L'application de la technologie la géospatiale avec l'intégration des techniques AHP est un outil pratique et une approche qui peut servir dans la la prospection des eaux souterraines et peut être utilisé dans un environnement similaire.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques :

Bouguerra.H (2017) Quantification et modélisation des transports solides, cartographie des zones à risques d'érosion hydrique par utilisation d'un SIG: application aux bassins de Bouhamdane et Ressoul (Nord-Est Algérien). Thèse doctorat 3^{ème} cycle, Université de Tlemcen, Algérie, 165p.

Chaoui .I et Rouabhia. R(2021).Utilisation des techniques géospatiales pour la cartographie du potentiel en eaux souterraines (Cas de la plaine de Tamlouka) Wilaya de Guelma, Algérie. Mémoire de master, Université 8 mai 1945 Guelma, 59p

Cote M. (1998). Les régions bioclimatiques de l'Est Algérien. Rhumel. Vol. 6. p. 57-71.

Gupta, M., & Srivastava, P. K. (2010). Integrating GIS and remote sensing for identification of groundwater potential zones in the hilly terrain of Pavagarh, Gujarat, India. Water International, 35(2), 233-245.

Guidoum. A (2017). Caractérisation hydrologique et analyse du transport solide ensuspension dans trois ensembles hydrographiques du Nord-Est Algérien, Étude de cas dans la Seybouse, les hautes plaines Constantinoises et Chott Melghir (coupe Nord-sud), Thèse de Doctorat en science, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie, 368 p

Gnanach ,Rasamy, G., et al. (2018).Remote sensing and GIS based groundwater potential zone mapping in Ariyalur District, Tamil Nadu. Journal of the Geological Society of India, 92(4), 484-490.

Goepel, K. D. (2018). Implementation of an online software tool for the analytic hierarchy process (AHP-OS). International Journal of the Analytic Hierarchy Process, 10(3).

Mani N D, et al(2014). “Estimation of LST of Dindigul district using LANDSAT 8 data” Volume: 03 Issue: 05, pg 122-126, May-2014.

Malczewski, J. (1999) GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons, 1999.

Magesh, N. S.,et al (2012).Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques. Geoscience frontiers, 3(2), 189- 196.

Melese.T and Belay.T (2022) .Groundwater Potential Zone Mapping Using Analytical Hierarchy Process and GIS in Muga Watershed, Abay Basin, Ethiopia DOI: 10.1002/gch2.202100068 Global Challenges **2022**, 6, 2100068

Rogan, J., & Chen, D. (2004). Remote sensing technology for mapping and monitoring landcover and land-use change. Progress in planning, 61(4), 301-325.

Srinivasa Rao, Y., & Jugran, D. K. (2003).Delineation of groundwater potential zones and zones of groundwater quality suitable for domestic purposes using remote sensing and GIS. Hydrological Sciences Journal, 48(5), 821-833.

Saaty, T. (1980). The analytic hierarchy process (AHP) for decision-making. In Kobe, Japan.

Vila J. M. (1980) La chaine alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Pierre et Marie Curie. Paris VI France, 665 p.

Yurdakul, M. (2004). AHP as a strategic decision-making tool to justify machine tool selection. Journal of Materials Processing Technology, 146(3), 365-376.

Zegheba Nadjette. (2018). Étude et suivi de la qualité des eaux du barrage Hammam Debagh (Nord-Est Algérien), Thèse docteur ès sciences, Université de Annaba, Algérie, 150p

Sites internet:

- Source <https://chrsdata.eng.uci.edu/>

-[http: www.google Earth.com](http://www.google.com) /

-[http: www Landsat.usgs.gov](http://www Landsat.usgs.gov)

- <https://earthexplorer.usgs.gov/>

- **Logiciel pour visualization de la Base de donnée** des sols The Harmonized World Soil Database (HWSD) Viewer Version .0 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)

Annexes

Annexe 1:

X	Y	Z	DEBIT	USAGE	PROFOND	GEST_PUITS	classe potentiel
334851.46	4022420.03	602	2	IRR	7	Usager Agricole	faible
334843.86	4022397.98	606	1	IRR	6.5	Usager Agricole	faible
334812.49	4022495.12	604	2	IRR	6	Usager Agricole	faible
333806.07	4024237.85	602	0.25	IRR	8	Usager Agricole	moyenne
333848.76	4024263.66	592	2	IRR	6	Usager Agricole	moyenne
333955.57	4024262.73	597	2	IRR	6	Usager Agricole	moyenne
334235.27	4024006.57	598	1	IRR	6	Usager Agricole	moyenne
334224.69	4024016.76	596	1	IRR	6	Usager Agricole	moyenne
334086.8	4024223.59	588	2.5	IRR	6	Usager Agricole	moyenne
331571.05	4025368.58	585	0.5	IRR	8	Usager Agricole	moyenne
336930.86	4014943.08	895	1	IRR	8	Usager Agricole	moyenne
336918.49	4015194.12	884	1	IRR	8	Usager Agricole	moyenne
335100.57	4022439.7	608	0	IRR	6	Usager Agricole	faible
338814.62	4017323.88	877	1.5	IRR	3	Usager Agricole	moyenne
331455.62	4021645.2	849	0.25	IRR	4.5	Usager Agricole	moyenne
329866.61	4025426.29	709	0.25	IRR	4	Usager Agricole	faible
336595.66	4020772.29	696	2	IRR	7	Usager Agricole	faible
337407.96	4028836.15	710	0	IRR	6	Usager Agricole	moyenne
342192.49	4026644.67	839	1	IRR	7	Usager Agricole	faible
338693.54	4028585.71	841	1.5	IRR	10	Usager Agricole	moyenne
337371.26	4028936.72	828	2	IRR	8	Usager Agricole	moyenne
337207.15	4019137.22	844	1	IRR	7	Usager Agricole	moyenne
337425.03	4029076.65	815	2	IRR	20	Usager Agricole	moyenne
339021.56	4025136.02	707	2	IRR	8	Usager Agricole	moyenne
341041.42	4026859.91	781	0.5	IRR	6	Usager Agricole	faible
336076.91	4027629.39	759	0.5	IRR	8	Usager Agricole	faible
336907.2	4029117.47	779	0.5	IRR	7	Usager Agricole	moyenne
337317.68	4026657.14	691	1	IRR	9	Usager Agricole	moyenne
338934.47	4022669.54	721	0.5	IRR	8	Usager Agricole	moyenne
334233.23	4041491.58	916	0	IRR	10	Usager Agricole	moyenne
334730.94	4038427.82	510	0.5	IRR	8	Usager Agricole	moyenne
336377.44	4032132.76	993	2	IRR		Usager Agricole	moyenne
325705.43	4030311.31	532	2	IRR	6	Usager Agricole	bonne
332638.02	4026745.16	611	1	IRR	10	Usager Agricole	moyenne
332646.04	4025812.77	593	1.5	IRR	10	Usager Agricole	moyenne
323103.77	4025577.2	665	1.5	IRR	10	Usager Agricole	moyenne
322857.13	4029319.2	657	1.5	IRR	10	Usager Agricole	bonne
324190.67	4031842.5	538	1	IRR	6	Usager Agricole	bonne
324198.73	4026185.33	711	1.5	IRR	6	Usager Agricole	faible
321440.51	4025369.35	649	1	IRR	9	Usager Agricole	moyenne
320320.61	4024959.63	669	1.5	IRR	10	Usager Agricole	moyenne
322886.18	4025340.8	673	1	IRR	4	Usager Agricole	moyenne
322900.9	4025358.26	673	1.5	IRR	3.5	Usager Agricole	moyenne
322736.94	4025198.46	686	1.5	IRR	13	Usager Agricole	moyenne
327729.39	4013704.33	737	0.5	IRR	12	Usager Agricole	faible
319834.52	4022650.05	785	2	IRR	12	Usager Agricole	bonne
319812.42	4022667.15	785	0	IRR	10	Usager Agricole	bonne
326959.27	4022243.1	755	2	IRR	4	Usager Agricole	moyenne

328046.83	4022654.32	754	1	IRR	8	Usager Agricole	moyenne
328179.93	4022754.9	736	1.5	IRR	12	Usager Agricole	bonne
326687.86	4022592.57	761	2	IRR	3	Usager Agricole	bonne
322435.61	4022451.03	817	0.25	IRR	3.5	Usager Agricole	moyenne
334730.94	4038427.82	510	0.5	IRR	8	Usager Agricole	moyenne
336377.44	4032132.76	993		IRR		Usager Agricole	moyenne
333688.9	4011845.6				110	Usager Agricole	moyenne
345351.43	4033297.43				120	Usager Agricole	moyenne
339102.7	4027100.21	743			100		moyenne
337560.15	4026498.62				85		moyenne
337560.15	4026498.62				130		moyenne
334835.17	4032389.29				120	Usager Particulier	bonne
337271.01	4028221.5				48	Usager Particulier	moyenne
328039.95	4016490.4				160	SPA	faible
335911.45	4034454.57				85	Usager Particulier	bonne
342680	4032420	670			130	Usager Agricole	moyenne

Annexe 2:

AHP Analytic Hierarchy Process (EVM multiple inputs)K. D. Goepel Version 07.07.2022 Free web based AHP software on: <https://bpmsg.com>

Only input data in the light green fields and worksheets!

n= Number of criteria (2 to 10) Scale: AHP 1-9

N= Number of Participants (1 to 20) α : Consensus:

p= selected Participant (0=consol.) 2 7 Consolidated

Objective:

Author:

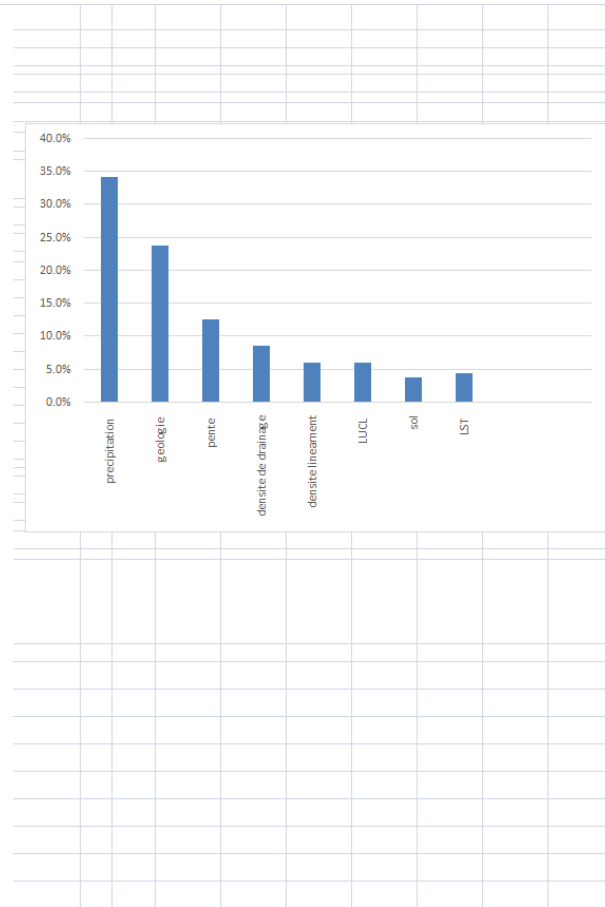
Date: Threshold: Iterations: 6 EVM check: 1.4E-09

Table	Criterion	Comment	Weights	+/-
1	precipitation		34.2%	#NOM?
2	geologie		23.9%	#NOM?
3	pente		12.6%	#NOM?
4	densite de drainag		8.7%	#NOM?
5	densite lineament		6.1%	#NOM?
6	LUCL		6.2%	#NOM?
7	sol		3.8%	#NOM?
8	LST		4.5%	#NOM?
9		for 9&10 unprotect the input sheets and expand the	0.0%	0.0%
10		question section ("*" in row 66)	0.0%	0.0%

Result: Eigenvalue: Lambda: MRE:

Consistency Ratio: 0.37 GCI: Psi: CR:

Matrix											normalized principal Eigenvector
	precipitation	geologie	pente	densite de drainage	densite lineament	LUCL	sol	LST	0	0	
precipitation	1	3	3	5	5	5	6	5	-	-	34.17%
geologie	1/3	1	4	3	5	5	5	3	-	-	23.91%
pente	1/3	1/4	1	3	3	3	5	3	-	-	12.57%
densite de drainage	1/5	1/3	1	1	2	3	2	-	-	-	8.72%
densite lineament	1/5	1/5	1/3	1	1	3	1	-	-	-	6.13%
LUCL	1/5	1/5	1/3	1/2	1	3	2	-	-	-	6.15%
sol	1/6	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1	2	-	-	3.82%
LST	1/5	1/3	1/3	1/2	1	1/2	1/2	1	-	-	4.53%
0	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	0.00%



Annexe 3:

AHP Analytic Hierarchy Process n= 8 Input 1

Objective: BASSIN BOUHAMEDANE

Only input data in the light green fields!

Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, A or B, and how much more on a scale 1-9 as given below. Once completed, you might adjust highlighted comparisons 1 to 3 to improve consistency.

n	Criteria	Comment	RGMM	+/-
1	precipitation		34.0%	12.3%
2	geologie		24.1%	10.9%
3	pente		12.6%	4.9%
4	densite de drainage		8.7%	2.2%
5	densite lineament		6.1%	2.0%
6	LUCL		6.1%	2.0%
7	sol		3.8%	1.8%
8	LST		4.6%	2.0%
9		for 9&10 unprotect the input sheets and expand the question section ("*" in row 66)		
10				

Participant 1 1 α: 0.1 CR: 6%

Name: Weight: Date: Consistency Ratio:

	Criteria	more important ?	Scale
	A	B	A or B (1-9)
1 2	Precipitation	geologie	A 3
1 3	geologie	pente	A 3
1 4	pente	densite de drainage	A 5
1 5	densite drainage	densite lineament	A 5
1 6	densite lineament	LUCL	A 5
1 7		sol	A 6
1 8		LST	A 5
2 3	geologie	pente	A 4
2 4		densite de drainage	A 3
2 5		densite lineament	A 5
2 6		LUCL	A 5
2 7		sol	A 5
2 8		LST	A 3
3 4	pente	densite de drainage	A 1
3 5		densite lineament	A 3
3 6		LUCL	A 3
3 7		sol	A 5
3 8		LST	A 3
4 5	densite de drainage	densite lineament	A 1
4 6		LUCL	A 2
4 7		sol	A 3
4 8		LST	A 2
5 6	densite lineament	LUCL	A 1
5 7		sol	A 3
5 8		LST	A 1
6 7	LUCL	sol	A 3
6 8		LST	A 2
7 8	sol	LST	A 2

Annexe 4:

Sol: Xk13-2B

Coverage:,"DSMW"
Soil Mapping Unit (SMU):,"1129"
Dominant Soil Unit (WRB 2022):,"Calcaric Cambisol (CMca)"
Dominant Soil Unit (FAO 1990):,"Calcaric Cambisols (CMc)"
Sequence in Soil Mapping Unit,1,2,3,4
Share in Soil Mapping Unit (%),50,20,20,10
Database Internal ID,47641,205673,77503,171823
National Soil Classification,"-","-","-","-"
Soil Unit Symbol (WRB 2022),"CMca","LVcr","CMcr","LPli"
Soil Unit Name (WRB correlat.FAO90),"Calcaric Cambisols","Chromic Luvisols","Chromic Cambisols","Lithic Leptosols"
Soil Unit Symbol (FAO 1990),"CMc","LVx","CMx","LPq"
Soil Unit Name (FAO 1990),"Calcaric Cambisols","Chromic Luvisols","Chromic Cambisols","Lithic Leptosols"
Rootable Soil Depth,"Deep (> 100cm)","Deep (> 100cm)","Deep (> 100cm)","Very shallow (< 10cm)"
PHASE1,"-","-","-","-"
PHASE2,"-","-","-","-"
Obstacle to Roots (ESDB) (cm),"-","-","-","-"
Impermeable Layer (ESDB) (cm),"-","-","-","-"
Soil Water Regime (ESDB),"-","-","-","-"
Reference Soil Drainage,"Moderately well drained ","Moderately well drained ","Moderately well drained ","Imperfectly drained "
AWC for Rootable Soil Depth (mm),168,170,165,12
Gelic Properties,"-","-","-","-"
Vertic Properties,"-","-","-","-"
Depth-Layer D1
Depth of top of layer (cm),0,0,0,0
Depth of bottom of layer (cm),20,20,20,20
Coarse fragments (% volume),5,11,5,22
Sand (% weight),31,37,33,51
Silt (% weight),40,33,31,29
Clay (% weight),29,30,36,20
Texture class (USDA conventions),"Clay loam","Clay loam","Clay loam","Loam"
Bulk Density (g/cm3),"1.5","1.5","1.4","1.4"
Reference Bulk Density (g/cm3),"1.8","1.8","1.9","1.7"
Organic Carbon Content (% weight),"1.2","1.7","1.9","3.2"
pH in water (-log(H+)),"8.0","6.5","6.1","6.7"
Total nitrogen content (g/kg),"1.1","1.5","1.3","1.5"

Carbon/Nitrogen ratio (C/N),10,12,12,12
CEC soil (cmolc/kg),17,18,20,16
CEC clay (cmolc/kg),48,46,34,35
ECEC (cmolc/kg),38,17,15,20
TEB (cmolc/kg),38,16,17,10
Base Saturation (% CECsoil),99,78,82,64
Aluminium saturation (% ECEC),0,0,0,0
Exchangeable Sodium Percentage (%),3,1,1,3
Calcium Carbonate (% weight), 10, 0, 0,0
Gypsum content (% weight),2,0,2,0
Electric Conductivity (dS/m),1,1,1,1
Depth-Layer D2
Depth of top of layer (cm),20,20,20,20
Depth of bottom of layer (cm),40,40,40,40
Coarse fragments (% volume),6,12,13,"N.A"
Sand (% weight),29,33,30,"N.A"
Silt (% weight),40,31,29,"N.A"
Clay (% weight),31,36,41,"N.A"
Texture class (USDA conventions),"Clay loam","Clay loam","Clay (light)","-
"
Bulk Density (g/cm3),"1.5","1.5","1.3","N.A"
Reference Bulk Density (g/cm3),"1.9","1.9","2.0","-
"
Organic Carbon Content (% weight),"0.8","0.8","1.2","N.A"
pH in water (-log(H ⁺)), "8.1", "6.6", "6.2", "N.A"
Total nitrogen content (g/kg), "0.9", "0.9", "0.9", "N.A"
Carbon/Nitrogen ratio (C/N),9,9,10,"N.A"
CEC soil (cmolc/kg),16,18,19,"N.A"
CEC clay (cmolc/kg),48,48,38,"N.A"
ECEC (cmolc/kg),43,17,22,"N.A"
TEB (cmolc/kg),43,16,20,"N.A"
Base Saturation (% CECsoil),99,80,83,"N.A"
Aluminium saturation (% ECEC),0,0,0,"N.A"
Exchangeable Sodium Percentage (%),3,1,1,"N.A"
Calcium Carbonate (% weight),14,0,0,"N.A"
Gypsum content (% weight),1,0,1,"N.A"
Electric Conductivity (dS/m),0,1,0,"N.A"

SOL: bk21-2bc

Coverage:,"DSMW"
Soil Mapping Unit (SMU):,"1779"
Dominant Soil Unit (WRB 2022):,"Haplic Calcisol (CLha)"
Dominant Soil Unit (FAO 1990):,"Haplic Calcisols (CLh)"
Sequence in Soil Mapping Unit,1,2,3
Share in Soil Mapping Unit (%),60,20,20
Database Internal ID,39876,255564,171650
National Soil Classification,"-","-","-"
Soil Unit Symbol (WRB 2022),"CLha","RGca","LPLi"
Soil Unit Name (WRB correlat.FAO90),"Haplic Calcisols","Calcaric Regosols","Lithic Leptosols"
Soil Unit Symbol (FAO 1990),"CLh","RGc","LPq"
Soil Unit Name (FAO 1990),"Haplic Calcisols","Calcaric Regosols","Lithic Leptosols"
Rootable Soil Depth,"Deep (> 100cm)","Deep (> 100cm)","Very shallow (< 10cm)"
PHASE1,"-","-","-"
PHASE2,"-","-","-"
Obstacle to Roots (ESDB) (cm),"-","-","-"
Impermeable Layer (ESDB) (cm),"-","-","-"
Soil Water Regime (ESDB),"-","-","-"
Reference Soil Drainage,"Moderately well drained ","Moderately well drained ","Imperfectly drained "
AWC for Rootable Soil Depth (mm),150,160,12
Gelic Properties,"-","-","-"
Vertic Properties,"-","-","-"
Depth-Layer D1
Depth of top of layer (cm),0,0,0
Depth of bottom of layer (cm),20,20,20
Coarse fragments (% volume), 11, 16,22
Sand (% weight), 36, 44,51
Silt (% weight), 33, 32,29
Clay (% weight),31,24,20
Texture class (USDA conventions),"Clay loam","Loam","Loam"
Bulk Density (g/cm3),"1.4","1.5","1.4"
Reference Bulk Density (g/cm3),"1.9","1.8","1.7"
Organic Carbon Content (% weight),"0.8","0.9","3.2"
pH in water (-log(H+)), "8.2", "7.9", "6.7"
Total nitrogen content (g/kg),"0.9","0.9","1.5"
Carbon/Nitrogen ratio (C/N),9,9,12
CEC soil (cmolc/kg),22,16,16
CEC clay (cmolc/kg),59,61,35
ECEC (cmolc/kg),42,29,20
TEB (cmolc/kg),42,29,10

Base Saturation (% CECsoil),99,97,64
Aluminium saturation (% ECEC),0,0,0
Exchangeable Sodium Percentage (%), 2, 3,3
Calcium Carbonate (% weight), 19, 10,0
Gypsum content (% weight), 0, 3,0
Electric Conductivity (dS/m), 1, 1,1
Depth-Layer D2
Depth of top of layer (cm),20,20,20
Depth of bottom of layer (cm),40,40,40
Coarse fragments (% volume),14,12,"N.A"
Sand (% weight),34,42,"N.A"
Silt (% weight),33,33,"N.A"
Clay (% weight),33,25,"N.A"
Texture class (USDA conventions),"Clay loam","Loam","-"
Bulk Density (g/cm3),"1.5","1.5","N.A"
Reference Bulk Density (g/cm3),"1.9","1.8","-"
Organic Carbon Content (% weight),"0.7","0.6","N.A"
pH in water (-log(H+)), "8.2","8.0","N.A"
Total nitrogen content (g/kg),"0.8","0.6","N.A"
Carbon/Nitrogen ratio (C/N),8,9,"N.A"
CEC soil (cmolc/kg),23,17,"N.A"
CEC clay (cmolc/kg),61,65,"N.A"
ECEC (cmolc/kg),40,31,"N.A"
TEB (cmolc/kg),40,31,"N.A"
Base Saturation (% CECsoil),99,99,"N.A"
Aluminium saturation (% ECEC),0,0,"N.A"
Exchangeable Sodium Percentage (%),2,2,"N.A"
Calcium Carbonate (% weight),24,23,"N.A"
Gypsum content (% weight),2,2,"N.A"
Electric Conductivity (dS/m),1,1,"N.A"

Annexe 5:

Caractéristique de l'image Satellitaire LANDSAT

```

GROUP = LANDSAT_METADATA_FILE

GROUP = PRODUCT_CONTENTS

ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"

DIGITAL_OBJECT_IDENTIFIER = "https://doi.org/10.5066/P9OGBGM6"

LANDSAT_PRODUCT_ID = "LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1"

PROCESSING_LEVEL = "L2SP"

COLLECTION_NUMBER = 02

COLLECTION_CATEGORY = "T1"

OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"

FILE_NAME_BAND_1 = "LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_SR_B1.TIF"

FILE_NAME_BAND_2 = "LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_SR_B2.TIF"

FILE_NAME_BAND_3 = "LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_SR_B3.TIF"

FILE_NAME_BAND_4 = "LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_SR_B4.TIF"

FILE_NAME_BAND_5 = "LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_SR_B5.TIF"

FILE_NAME_BAND_6 = "LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_SR_B6.TIF"

FILE_NAME_BAND_7 = "LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_SR_B7.TIF"

FILE_NAME_BAND_ST_B10 = "LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_ST_B10.TIF"

FILE_NAME_THERMAL_RADIANCE =
"LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_ST_TRAD.TIF"

FILE_NAME_UPWELL_RADIANCE =
"LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_ST_URAD.TIF"

FILE_NAME_DOWNWELL_RADIANCE =
"LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_ST_DRAD.TIF"

FILE_NAME_ATMOSPHERIC_TRANSMITTANCE =
"LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_ST_ATRAN.TIF"

FILE_NAME_EMISSIVITY = "LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_ST_EMIS.TIF"

FILE_NAME_EMISSIVITY_STDEV =
"LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_ST_EMSD.TIF"

FILE_NAME_CLOUD_DISTANCE =
"LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_ST_CDIST.TIF"

FILE_NAME_QUALITY_L2_AEROSOL =
"LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_SR_QA_AEROSOL.TIF"

FILE_NAME_QUALITY_L2_SURFACE_TEMPERATURE =
"LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_ST_QA.TIF"

FILE_NAME_QUALITY_L1_PIXEL =
"LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_QA_PIXEL.TIF"

```

```
FILE_NAME_QUALITY_L1_RADIOMETRIC_SATURATION =  
"LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_QA_RADSAT.TIF"  
  
FILE_NAME_ANGLE_COEFFICIENT =  
"LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_ANG.txt"  
  
FILE_NAME_METADATA_ODL = "LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_MTL.txt"  
  
FILE_NAME_METADATA_XML =  
"LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1_MTL.xml"  
  
DATA_TYPE_BAND_1 = "UINT16"  
DATA_TYPE_BAND_2 = "UINT16"  
DATA_TYPE_BAND_3 = "UINT16"  
DATA_TYPE_BAND_4 = "UINT16"  
DATA_TYPE_BAND_5 = "UINT16"  
DATA_TYPE_BAND_6 = "UINT16"  
DATA_TYPE_BAND_7 = "UINT16"  
DATA_TYPE_BAND_ST_B10 = "UINT16"  
DATA_TYPE_THERMAL_RADIANCE = "INT16"  
DATA_TYPE_UPWELL_RADIANCE = "INT16"  
DATA_TYPE_DOWNWELL_RADIANCE = "INT16"  
DATA_TYPE_ATMOSPHERIC_TRANSMITTANCE = "INT16"  
DATA_TYPE_EMISSIVITY = "INT16"  
DATA_TYPE_EMISSIVITY_STDEV = "INT16"  
DATA_TYPE_CLOUD_DISTANCE = "INT16"  
DATA_TYPE_QUALITY_L2_AEROSOL = "UINT8"  
DATA_TYPE_QUALITY_L2_SURFACE_TEMPERATURE = "INT16"  
DATA_TYPE_QUALITY_L1_PIXEL = "UINT16"  
DATA_TYPE_QUALITY_L1_RADIOMETRIC_SATURATION = "UINT16"  
  
END_GROUP = PRODUCT_CONTENTS  
  
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES  
  
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"  
  
SENSOR_ID = "OLI_TIRS"  
  
WRS_TYPE = 2  
  
WRS_PATH = 193  
  
WRS_ROW = 35  
  
NADIR_OFFNADIR = "NADIR"  
  
TARGET_WRS_PATH = 193  
  
TARGET_WRS_ROW = 35
```

DATE_ACQUIRED = 2023-09-23
SCENE_CENTER_TIME = "10:07:24.4297000Z"
STATION_ID = "LGN"
CLOUD_COVER = 62.80
CLOUD_COVER_LAND = 62.36
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
SATURATION_BAND_1 = "N"
SATURATION_BAND_2 = "Y"
SATURATION_BAND_3 = "Y"
SATURATION_BAND_4 = "Y"
SATURATION_BAND_5 = "Y"
SATURATION_BAND_6 = "N"
SATURATION_BAND_7 = "N"
SATURATION_BAND_8 = "N"
SATURATION_BAND_9 = "N"
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 149.68634287
SUN_ELEVATION = 49.81123376
EARTH_SUN_DISTANCE = 1.0035659
TRUNCATION_OLI = "UPPER"
TIRS_SSM_MODEL = "FINAL"
TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "ESTIMATED"
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = PROJECTION_ATTRIBUTES
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 32
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
REFLECTIVE_LINES = 7921
REFLECTIVE_SAMPLES = 7791
THERMAL_LINES = 7921

THERMAL_SAMPLES = 7791

ORIENTATION = "NORTH_UP"

CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 37.08291

CORNER_UL_LON_PRODUCT = 5.92320

CORNER_UR_LAT_PRODUCT = 37.12200

CORNER_UR_LON_PRODUCT = 8.55197

CORNER_LL_LAT_PRODUCT = 34.94374

CORNER_LL_LON_PRODUCT = 6.00532

CORNER_LR_LAT_PRODUCT = 34.97989

CORNER_LR_LON_PRODUCT = 8.56395

CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 226500.000

CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = 4108500.000

CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 460200.000

CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = 4108500.000

CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 226500.000

CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = 3870900.000

CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 460200.000

CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = 3870900.000

END_GROUP = PROJECTION_ATTRIBUTES

GROUP = LEVEL2_PROCESSING_RECORD

ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"

DIGITAL_OBJECT_IDENTIFIER = "https://doi.org/10.5066/P9OGBGM6"

REQUEST_ID = "1795045_00026"

LANDSAT_PRODUCT_ID = "LC08_L2SP_193035_20230923_20231002_02_T1"

PROCESSING_LEVEL = "L2SP"

OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"

DATE_PRODUCT_GENERATED = 2023-10-02T16:47:09Z

PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_16.3.1"

ALGORITHM_SOURCE_SURFACE_REFLECTANCE = "LaSRC_1.6.0"

DATA_SOURCE_OZONE = "MODIS"

DATA_SOURCE_PRESSURE = "Calculated"

DATA_SOURCE_WATER_VAPOR = "MODIS"

DATA_SOURCE_AIR_TEMPERATURE = "MODIS"

ALGORITHM_SOURCE_SURFACE_TEMPERATURE = "st_1.5.0"

```
DATA_SOURCE_REANALYSIS = "GEOS-5 FP-IT"
END_GROUP = LEVEL2_PROCESSING_RECORD
GROUP = LEVEL2_SURFACE_REFLECTANCE_PARAMETERS

REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 1.602213
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.199972
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 1.602213
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.199972
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 1.602213
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.199972
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 1.602213
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.199972
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 1.602213
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.199972
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 1.602213
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_6 = -0.199972
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 1.602213
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.199972

QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1

REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.75e-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.75e-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.75e-05
```

REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.75e-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.75e-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.75e-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.75e-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.2
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.2
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.2
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.2
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.2
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.2
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.2
END_GROUP = LEVEL2_SURFACE_REFLECTANCE_PARAMETERS
GROUP = LEVEL2_SURFACE_TEMPERATURE_PARAMETERS
TEMPERATURE_MAXIMUM_BAND_ST_B10 = 372.999941
TEMPERATURE_MINIMUM_BAND_ST_B10 = 149.003418
QUANTIZE_CAL_MAXIMUM_BAND_ST_B10 = 65535
QUANTIZE_CAL_MINIMUM_BAND_ST_B10 = 1
TEMPERATURE_MULT_BAND_ST_B10 = 0.00341802
TEMPERATURE_ADD_BAND_ST_B10 = 149.0
END_GROUP = LEVEL2_SURFACE_TEMPERATURE_PARAMETERS
GROUP = LEVEL1_PROCESSING_RECORD
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
DIGITAL_OBJECT_IDENTIFIER = "https://doi.org/10.5066/P975CC9B"
REQUEST_ID = "1795045_00026"
LANDSAT_SCENE_ID = "LC81930352023266LGN00"
LANDSAT_PRODUCT_ID = "LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1"
PROCESSING_LEVEL = "L1TP"
COLLECTION_CATEGORY = "T1"
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
DATE_PRODUCT_GENERATED = 2023-10-02T16:32:31Z
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_16.3.1"
FILE_NAME_BAND_1 = "LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 = "LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 = "LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_B3.TIF"

```

FILE_NAME_BAND_4 = "LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 = "LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 = "LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 = "LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 = "LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_9 = "LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_B9.TIF"
FILE_NAME_BAND_10 = "LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_B10.TIF"
FILE_NAME_BAND_11 = "LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_B11.TIF"

FILE_NAME_QUALITY_L1_PIXEL =
"LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_QA_PIXEL.TIF"

FILE_NAME_QUALITY_L1_RADIOMETRIC_SATURATION =
"LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_QA_RADSAT.TIF"

FILE_NAME_ANGLE_COEFFICIENT =
"LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_ANG.txt"

FILE_NAME_ANGLE_SENSOR_AZIMUTH_BAND_4 =
"LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_VAA.TIF"

FILE_NAME_ANGLE_SENSOR_ZENITH_BAND_4 =
"LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_VZA.TIF"

FILE_NAME_ANGLE_SOLAR_AZIMUTH_BAND_4 =
"LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_SAA.TIF"

FILE_NAME_ANGLE_SOLAR_ZENITH_BAND_4 =
"LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_SZA.TIF"

FILE_NAME_METADATA_ODL = "LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_MTL.txt"

FILE_NAME_METADATA_XML =
"LC08_L1TP_193035_20230923_20231002_02_T1_MTL.xml"

FILE_NAME_CPF = "LC08CPF_20230701_20230930_02.04"

FILE_NAME_BPF_OLI = "LO8BPF20230923094648_20230923112605.01"

FILE_NAME_BPF_TIRS = "LT8BPF20230922134817_20230929182422.01"

FILE_NAME_RLUT = "LC08RLUT_20150303_20431231_02_01.h5"

DATA_SOURCE_TIRS_STRAY_LIGHT_CORRECTION = "TIRS"

DATA_SOURCE_ELEVATION = "GLS2000"

GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 5

GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 310

GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 7.992

GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 5.573

GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 5.729

GROUND_CONTROL_POINTS_VERIFY = 102

GEOMETRIC_RMSE_VERIFY = 7.528

```

```
END_GROUP = LEVEL1_PROCESSING_RECORD  
  
GROUP = LEVEL1_MIN_MAX_RADIANCE  
  
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 754.67090  
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -62.32096  
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 772.79218  
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -63.81743  
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 712.12140  
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -58.80722  
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 600.50085  
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -49.58956  
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 367.47659  
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -30.34634  
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 91.38808  
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.54686  
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 30.80268  
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.54369  
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 679.60175  
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -56.12173  
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 143.61818  
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -11.86004  
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_10 = 22.00180  
RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033  
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_11 = 22.00180  
RADIANCE_MINIMUM_BAND_11 = 0.10033  
END_GROUP = LEVEL1_MIN_MAX_RADIANCE  
  
GROUP = LEVEL1_MIN_MAX_REFLECTANCE  
  
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 1.210700  
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.099980  
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 1.210700  
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.099980  
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 1.210700  
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.099980  
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 1.210700  
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.099980
```

REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_6 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_9 = -0.099980
END_GROUP = LEVEL1_MIN_MAX_REFLECTANCE
GROUP = LEVEL1_MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_9 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_9 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_10 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_11 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_11 = 1

END_GROUP = LEVEL1_MIN_MAX_PIXEL_VALUE

GROUP = LEVEL1_RADIOMETRIC_RESCALING

RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2467E-02

RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2766E-02

RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.1764E-02

RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.9199E-03

RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.0705E-03

RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5097E-03

RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.0884E-04

RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1227E-02

RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3725E-03

RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04

RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04

RADIANCE_ADD_BAND_1 = -62.33343

RADIANCE_ADD_BAND_2 = -63.83020

RADIANCE_ADD_BAND_3 = -58.81898

RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.59948

RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.35241

RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.54837

RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.54420

RADIANCE_ADD_BAND_8 = -56.13296

RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.86241

RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000

RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000

REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05

REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05

REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05

REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05

REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05

REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05

REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05

REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05

REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05

REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.100000

```
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.100000
END_GROUP = LEVEL1_RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = LEVEL1_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.8853
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.8883
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.1442
END_GROUP = LEVEL1_THERMAL_CONSTANTS
GROUP = LEVEL1_PROJECTION_PARAMETERS
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 32
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
ORIENTATION = "NORTH_UP"
RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
END_GROUP = LEVEL1_PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = LANDSAT_METADATA_FILE
END
```

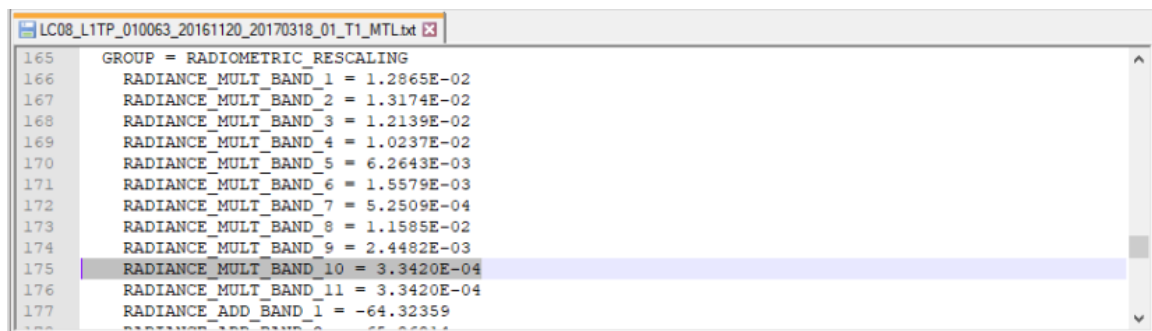
Annexe 6:

1. - Calculation of TOA (Top of Atmospheric) spectral radiance.

$$\text{TOA (L)} = M_L * Q_{\text{cal}} + A_L$$

where:

M_L = Band-specific multiplicative rescaling factor from the metadata (RADIANCE_MULT_BAND_x, where x is the band number).



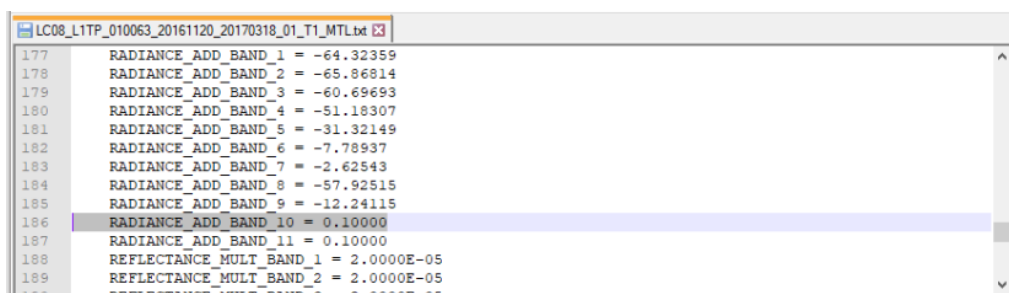
```

165 GROUP = RADIOMETRIC RESCALING
166 RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2865E-02
167 RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.3174E-02
168 RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.2139E-02
169 RADIANCE_MULT_BAND_4 = 1.0237E-02
170 RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.2643E-03
171 RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5579E-03
172 RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.2509E-04
173 RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1585E-02
174 RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.4482E-03
175 RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
176 RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
177 RADIANCE_ADD_BAND_1 = -64.32359

```

Q_{cal} = corresponds to band 10.

A_L = Band-specific additive rescaling factor from the metadata (RADIANCE_ADD_BAND_x, where x is the band number).



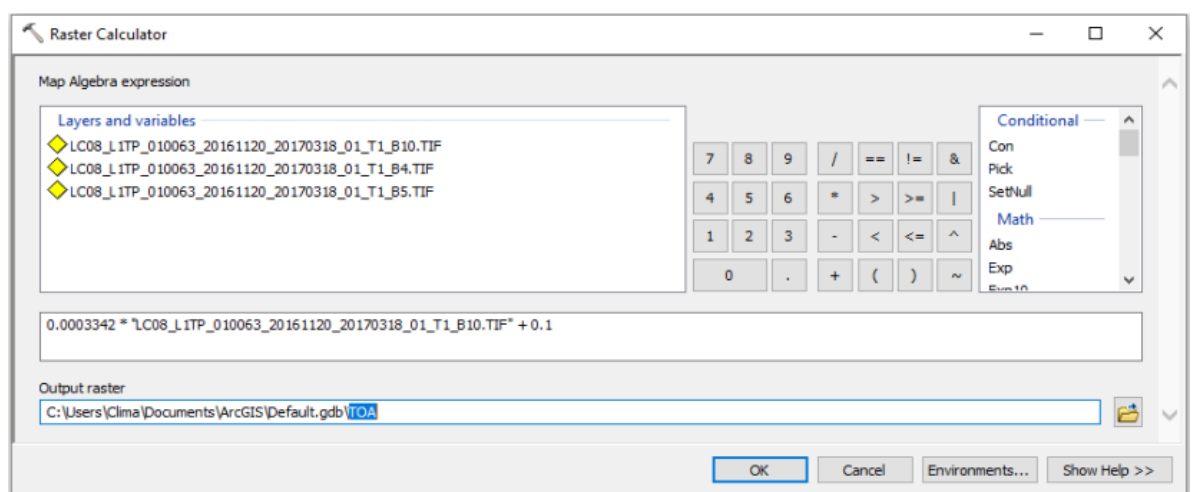
```

177 RADIANCE_ADD_BAND_1 = -64.32359
178 RADIANCE_ADD_BAND_2 = -65.86814
179 RADIANCE_ADD_BAND_3 = -60.69693
180 RADIANCE_ADD_BAND_4 = -51.18307
181 RADIANCE_ADD_BAND_5 = -31.32149
182 RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.78937
183 RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.62543
184 RADIANCE_ADD_BAND_8 = -57.92515
185 RADIANCE_ADD_BAND_9 = -12.24115
186 RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
187 RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000
188 REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
189 REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05

```

$$\text{TOA} = 0.0003342 * \text{"Band 10"} + 0.1$$

Therefore the equation must be solved using the Raster Calculator tool in ArcMap.



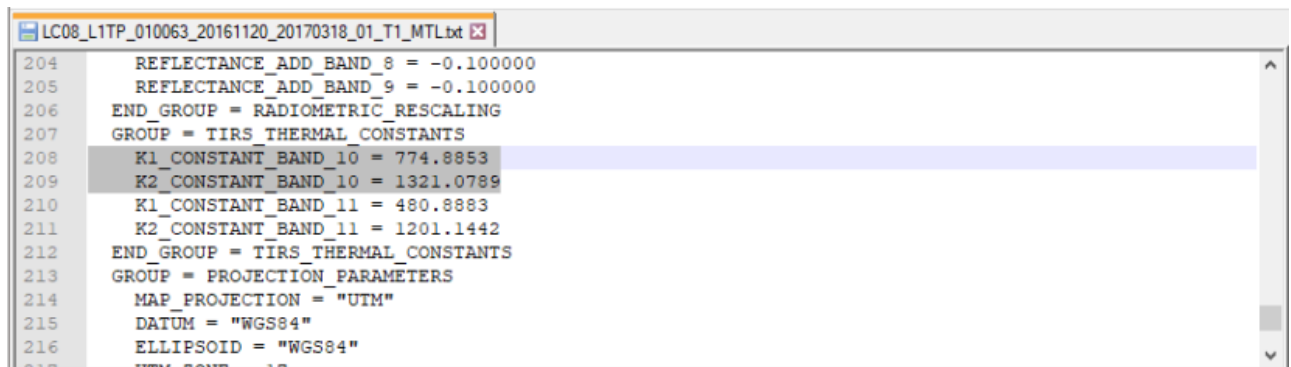
2.- TOA to Brightness Temperature conversion

$$BT = (K_2 / (\ln (K_1 / L) + 1)) - 273.15$$

where:

K_1 = Band-specific thermal conversion constant from the metadata ($K1_CONSTANT_BAND_x$, where x is the thermal band number).

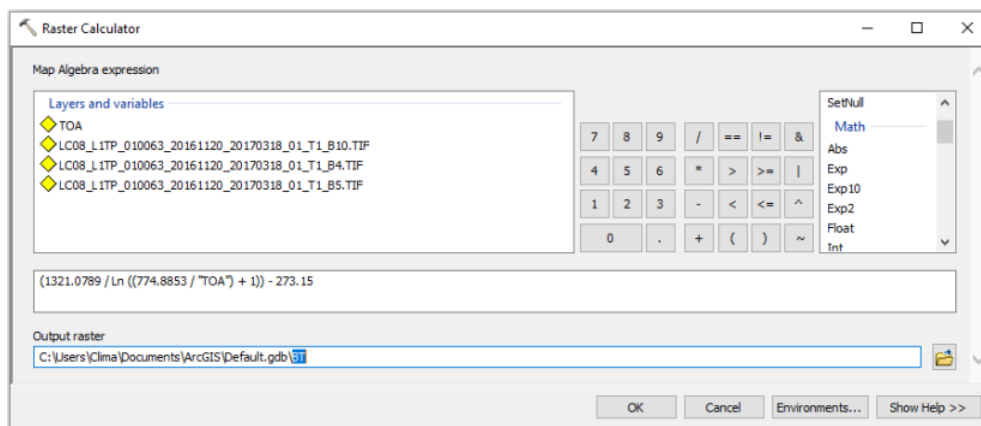
K_2 = Band-specific thermal conversion constant from the metadata ($K2_CONSTANT_BAND_x$, where x is the thermal band number).



L = TOA

Therefore, to obtain the results in Celsius, the radiant temperature is adjusted by adding the absolute zero (approx. -273.15°C).

$$BT = (1321.0789 / \ln ((774.8853 / \%TOA\%) + 1)) - 273.15$$

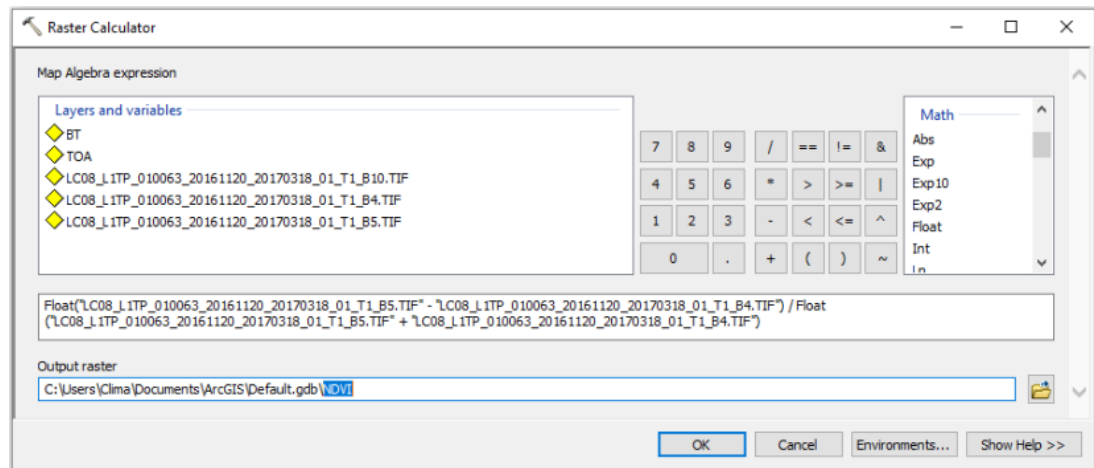


3.- Calculate the NDVI

$$\text{NDVI} = (\text{Band 5} - \text{Band 4}) / (\text{Band 5} + \text{Band 4})$$

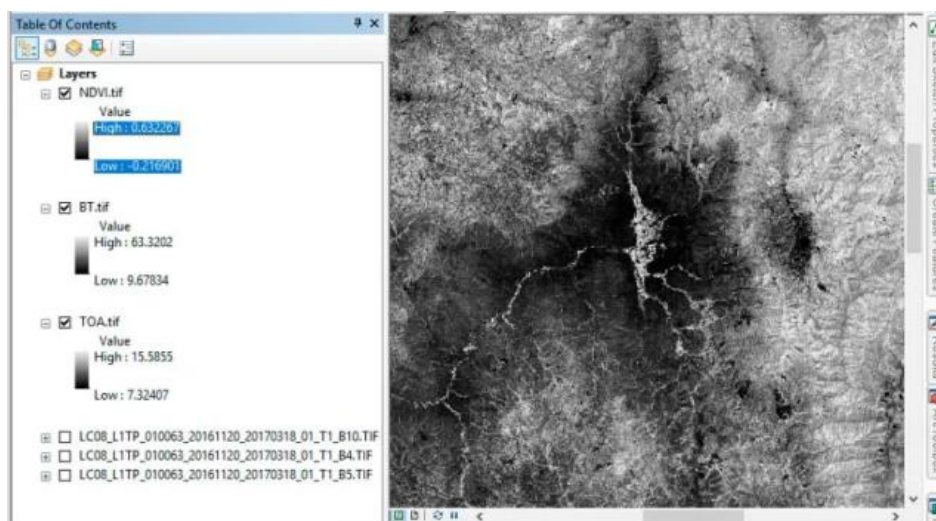
Note that the calculation of the NDVI is important because, subsequently, the proportion of vegetation (P_v), which is highly related to the NDVI, and emissivity (ϵ), which is related to the P_v , must be calculated.

$$\text{NDVI} = \text{Float}(\text{Band 5} - \text{Band 4}) / \text{Float}(\text{Band 5} + \text{Band 4})$$

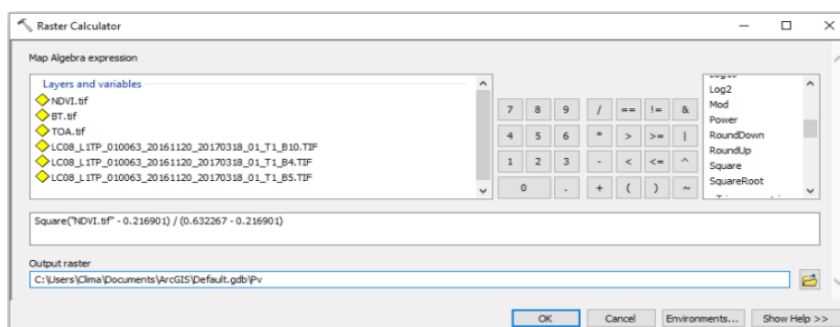


4.- Calculate the proportion of vegetation P_v

$$P_v = \text{Square}((\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}) / (\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}))$$



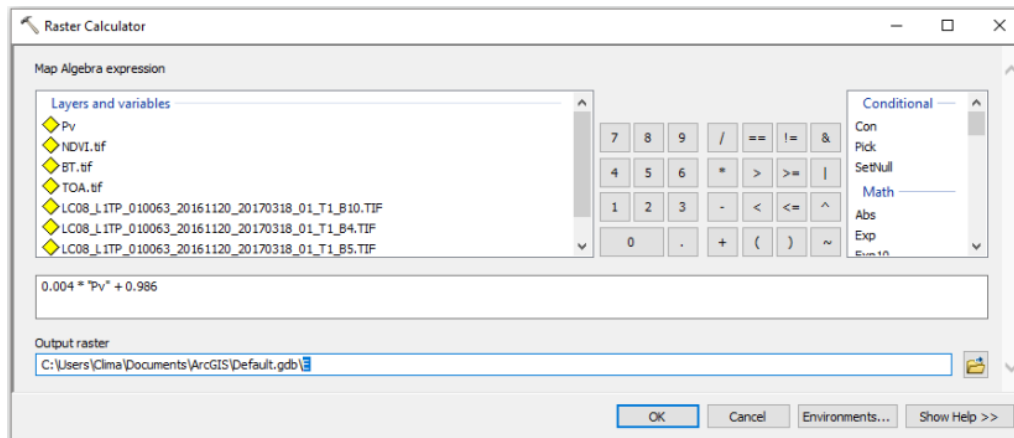
$$P_v = \text{Square}((\text{NDVI} - 0.216901) / (0.632267 - 0.216901))$$



5.- Calculate Emissivity ϵ

$$\epsilon = 0.004 * P_v + 0.986$$

Simply apply the formula in the raster calculator, the value of 0.986 corresponds to a correction value of the equation.



6.- Calculate the Land Surface Temperature

$$LST = (BT / (1 + (0.00115 * BT / 1.4388) * \ln(\epsilon)))$$

Finally apply the LST equation to obtain the surface temperature map.

