



IREPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABBES LAGHROUR - KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LAVIE
Département Ecologie et Environnement



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE

FILIERE : Écologie Et Environnement
OPTION : Protection Des Ecosystèmes

Thème

Contribution à l'étude morpho métrique et hydrologique du sous bassin versant de Garaet el Tarf en algérie

Présenté par :

Bouali Boutheyna

Meslem Akram

Soutenu le 22/06 /2024

Mémoire de Master académique soutenu devant le jury composé de :

Président	M Ziouch Omar Ramzi (MCA)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela
Encadreur	M Daifallah Tarek (MCA)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela
Examineur	M Boulabeiz Mahrez (MCA)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela

Année universitaire 2023/ 2024

عنوان المذكرة : المساهمة في الدراسة المورفومترية والهيدرولوجية لمستجمع المياه الفرعي بحيرة الطارف

الإسم و اللقب : مسلم أكرم - بوعلي بثينة

المؤطر : الدكتور ضيف الله طارق

ملخص :

ركزت دراستنا على التحليل المورفومتري والهيدرولوجي لمستجمع المياه الفرعي في منطقة بحيرة الطارف بولاية أم البواقي، وذلك من أجل تقدير كميات المياه السنوية وتدفقات الفيضانات باستخدام ما يسمى بطرق **RAINFALL-RUNOFF** وذلك بسبب عدم وجود سلسلة حديثة من البيانات الهيدرومترية في منطقة الدراسة. تم إجراء هذه الدراسة باستخدام برنامج (ARC GIS 10.8).

يوضح هذا التحليل أن مستجمع المياه الفرعي في بحيرة الطارف له شكل ممدود. تتميز منطقة الدراسة بمناخ شبه جاف، والشبكة الهيدروغرافية لها تشعبات عديدة. ويتميز معظم الحوض بمنحدرات ضعيفة. يبلغ متوسط هطول الأمطار السنوي حوالي 370 ملم، أي ما يعادل إمدادات مياه سنوية تبلغ حوالي 50 مليون متر مكعب؛ وتختلف قيم معدلات تدفق الفيضانات المحتملة التي يتم الحصول عليها من طريقة إلى أخرى.

الكلمات المفتاحية : . المورفومتري والهيدرولوجي، لمستجمع المياه ، بحيرة الطارف، تدفق الفيضانات.

Title of the dissertation : Contribution to the morphometric and hydrological study of the Garaet el Tarf sub-watershed

Full name : Bouali Bouthayna ; Messelem Akram

Directed by : Dr Daifallah Tarek

Abstract:

Our study focused on the morphometric and hydrological analysis of the Garaat el Tarf sub-watershed in the Wilaya of Oum el Bouagui, in order to estimate the liquid inputs and flood flows, using the so-called Rainfall-runoff methods, the choice of this method is due to the lack of a recent series of hydrometric data in the study area. This study is carried out using the software Arc Gis 10.8.

This analysis shows that the Garaat el Tarf sub-watershed has an elongated shape. The study area is characterized by a semi-arid climate, the hydrographic network has numerous ramifications. Most of the basin is characterized by gentle slopes. The average annual precipitation is in the order of 370 mm, corresponding to an annual water supply of approximately 50 million cubic meters; the values of the probable flood flow rates obtained vary from one method to another.

Key words: Garaat El Tarf; Morphometric and hydrological; Watershed; flood flow.

Titre du mémoire: Contribution à l'étude morpho métrique et hydrologique du sous bassin versant de Garaet el Tarf

Nom et prénom: Bouali Bouthayna ; Messelem Akram

Encadreur : Dr Daifallah Tarek

Résumé :

Notre étude a porté sur l'analyse morphométrique et hydrologique du sous-bassin versant de Garaat el Tarf à la Wilaya de Oum el Bouagui, afin d'estimer les apports liquides et les débits de crue, à l'aide des méthodes dites Pluie-débit en raison du manque d'une série récente de données hydrométriques dans la zone d'étude. Cette étude est réalisée à l'aide du logiciel (Arc Gis 10.8).

Cette analyse montre que le sous-bassin versant de Garaat el Tarf a une forme allongée. La zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride, le réseau hydrographique a de nombreuses ramifications. La majeure partie du bassin est caractérisée par de faibles pentes. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 370 mm, correspond à un apport en eau annuel d'environ 50 million de mètre cube, les valeurs des débits des crues probables obtenues varient d'une méthode à une autre.

Mots clés : Garaat el Tarf ; Morphométrique et hydrologique ; Bassin versant ; Débit de crue.

Remerciements

الحمد لله الذي أعاننا على إنهاء هذا العمل وسخر لنا القوة لإتمامه فكل توفيق منه وحده وكل سهو أو خطأ فمننا ومن الشيطان

En premier lieu, nous exprimons notre gratitude envers ALLAH pour son soutien et sa patience, nous permettant ainsi de réaliser ce travail.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude sincère et chaleureuse envers notre superviseur, Monsieur. TAREK DAIFALLAH est reconnu pour son souci, sa bienveillance et son soutien pédagogique et scientifique offert.

Nous exprimons notre gratitude envers les membres du jury, Dr Ziouch O R et Dr Boulabeiz M, qui ont consenti à évaluer ce travail modeste.

Nous tiendrons également à exprimer nos gratitude sincères envers le corps enseignant pour la diversité et la qualité de leur enseignement, ainsi que pour leur dévouement envers l'amélioration de la formation de leurs étudiants.

Enfin, nous sommes extrêmement reconnaissants envers toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide, notamment tous nos enseignants.

Dédicace

Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude envers Dieu Tout-Puissant pour m'avoir accordé la volonté et la force nécessaires pour mettre un terme à cette œuvre modeste.

À ma mère, une mère très tendre et plus grande, qui me donne de l'amour, de la Avec de la douceur et de l'espoir, elle n'a pas cessé de me soutenir.

À mon cher père, je suis reconnaissant pour ses efforts, son soutien et la sécurité qu'il me procure, ainsi que pour tous les sacrifices qu'il a faits.

Les paroles ne sont pas assez pour exprimer sa gratitude.

Je tiens à remercier ma sœur Amel et Saida , ainsi que mon frère Oussama , pour leur soutien et leur amour inconditionnel envers moi.

A mon encadreur : Tarek Daifallah

À mes amis qui m'ont partagé un moment agréable, quelques événements remplis de bonheur et de joie pendant mes 5 années d'études universitaires que je garderai précieusement en mémoire.

Boutheyna

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui :

*Particulièrement à mon père **Nasreddine**, pour le gout à l'effort qu'il a suscité en moi, de par sa rigueur, à ma mère, mes frères **Amir** et **Ouday** et ma sœur **Ahlem** que Dieu les protège.*

*À ma sœur **Fatima Slimani** qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.*

*À mon chère encadreur Daifallah **Tarek**, ceci est ma profonde gratitude pour ton éternel amour, que ceci rapport soit le meilleur cadeau que je puisse t'offrir.*

Akrem

Table des matières

Remerciements	Erreur ! Signet non défini.
Dédicace	IV
Dédicace	Erreur ! Signet non défini.
Introduction générale.....	1
MATERIELS ET METHODES	2
1. Description générale de la zone d'étude.....	2
2. Ressources en eau souterraines	3
2.1 Mise en évidence des différents aquifères	3
A. Aquifère Quaternaire :	3
B. Aquifère du Miocène :	4
C. Aquifère du Crétacé :	4
2.2 Mise en évidence des différentes nappes.....	4
2.3. Ressources souterraines potentielle	4
3. Ressources en eaux superficielles	5
3.1. Oued Gueiss.....	5
3. 2. Retenues collinaires.....	5
4. le climat :	5
2. Caractéristiques morfo métrique du bassin versant	6
1. Surface :	6
2 Périmètre :	6
3 Indice de compacité de GRAVELIUS :	6
1. Le rectangle équivalent :	7
2. Le relief :	7
2.1 Les altitudes caractéristiques :	7
2.1.1 Les altitudes maximale, minimale, H05%, H50% ,95% :	7
2.1.2 Les altitudes moyennes :	7
1.2 Les indices de pente :	8
1.2.1 Indice de pente globale :	8
1.2.2 Pente moyenne de bassin versent :	8
1.2.3 Indice de pente de M. Roche :	9
1.2.4 Dénivelée spécifique :	9
4. Caractéristique du réseau hydrographique :	9

1. Densité de drainage :	10
2. Dénivelée simple :	10
3. Temps de concentration :	10
3 Caractéristiques climatologique du bassin versant.....	12
1 Précipitation :	12
2 Température :	12
3 Indice climatique :	12
3.1 L'indice d'aridité de Martonne.....	12
4 L'évapotranspiration :	13
4.1 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :	13
4.1.1 Formule de Turc :	13
4.1.2 Formule de Thornthwaite :	14
4.2 Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :	14
4.2.1 Formule de Turc :	14
4.2.2 Méthode de bilan simplifié de Thornthwaite :	15
4. Etude de l'écoulement dans le bassin versant.....	16
1 Etude des apports liquides :	16
1.1 Apport moyen annuel :	16
1.2 Coefficient de variation de l'écoulement moyen :	17
1.3 Distribution mensuelle des apports liquides :	18
2 Etude des apports solides :	18
3 Etude de crue :	18
3.1 Calcule des débits maximums de crue :	18
3.2 Hydro gramme de crue :	19
RESULTATS ET DUSCUSION	21
1. Etude morpho métrique du sous bassin versant :	21
1 La surface et périmètre :	21
2 Indice de capacité de GRAVELIUS :	21
3 Le rectangle équivalent :	21
4 Les altitudes :	21
5 Les pentes :	23
6 Constitution du réseau hydrographique :	25
Etude de Climatologie :	26
1 Les Paramètres climatologie :	26

3. Etude de l'écoulement de sous bassin versant :	32
1. Etude des apports liquides :	32
2 Etude des apports solides :.....	33
3. Estimation fréquentielle des pluies journalières maximales :.....	34
4 Etude de crue :.....	35
Conclusion générale :	38
Références.....	39

Liste des figures

Figure 1. Carte de situation géographique du sous bassins versant de Garaet el Taref.....	3
Figure 2. Carte hypsométrique du sous bassin versant de Garaet el Taref.....	22
Figure 3. Courbe hypsométrique du sous bassin versant de Garaet el Taref.....	23
Figure 4. Carte des pentes du sous bassin versant de Garaet el Tarf.....	25
Figure 5. Carte du réseau hydrographique du sous bassin versant de Garaet el Tarf.....	25
Figure 6. Précipitations moyennes annuelles à la station d'Oum el Bouaghi	26
Figure 7. Précipitation moyenne mensuelle à la station d'Oum el Bouaghi 2000-2022.	27
Figure 8. Température moyenne annuelle à la station d'Oum el Bouaghi.	28
Figure 9. Température moyennes mensuelles à la station d'Oum el Bouaghi 2000-2022	29
Figure 10. Diagramme OMBRO-THERMIQUE	29
Figure 11. Variation mensuelles des paramètres du bilan hydrique à la station d'Oum el Bouaghi 2000-2022.....	31
Figure 12. Hydro gramme de crues du sous bassin versant de Garaat el Tarf	37

Liste des tableaux

Tableau 1. Etat des retenues collinaires dans le bassin de Garaet El Tarf (Dali, 2019).	5
Tableau 2. Station météorologique et ses caractéristiques	12
Tableau 3. Classification climatique d'après De Martonne	13
Tableau 4. Formules empiriques utilisée dans le calcul de l'apport moyen annuel en	17
Tableau 5. Hypsométrie du bassin versant de Garaat el Taref	22
Tableau 6. Répartition des pentes dans le sous bassin versant Garaet el Tarf.....	24
Tableau 7. Valeur de l'indice d'aridité de la wilaya d'Oum el bouaghi	30
Tableau 8. Bilan hydrique calculé par la méthode de THORNTHWAITE 2000-2022	30
Tableau 9. Formules et apports moyen annuelle au sous bassin versant de Garaet el Taref.....	32
Tableau 10. Le coefficient de variation des apports moyen en eau.....	32
Tableau 11. Pluie de courte durée en (mm) au bassin versant de Garaet el Taref.....	34
Tableau 12. L'intensité de pluies fréquentielles au bassin versant de Garaet el Taref	35
Tableau 13. Débits de crue fréquentiels au bassin versant de Garaet el Taref	35

Introduction générale

La science de l'hydrologie de surface se concentre principalement sur les aspects qualitatifs et quantitatifs des flux à la surface de la Terre. Ces questions se manifestent généralement sous la forme de prévisions ou de déterminations anticipées des débits ou des volumes à un endroit spécifique, sur une surface donnée, et plus précisément dans le cadre d'un bassin versant. Ainsi, le bassin versant constitue l'élément central sur lequel repose toute étude du cycle de l'eau (Akka, 2019).

Les précipitations constituent la principale origine des ressources hydriques, cependant, ces événements exposent parfois les populations à d'importants risques, tels que les inondations. Ce problème n'est pas récent, car il affecte la plupart des nations, mettant en évidence un danger considérable dans de nombreuses régions du globe (Abdeddaime, 2018).

Les variations climatiques observées au cours du dernier siècle ont entraîné une augmentation de la fréquence des précipitations, tant extrêmement abondantes que rares. Ces changements climatiques ont pour conséquence la survenue de crues et d'inondations dévastatrices. Les crues éclair peuvent également survenir à la suite d'une période de sécheresse, lorsque des pluies intenses se produisent sur un sol très sec et compact, empêchant l'eau de pénétrer efficacement.(OMM, 2011).

Le problème majeur dans la détermination des apports d'eau pluviale et des débits de crue à l'origine des inondations dans les pays en développement est le manque des séries de données à cause de manque de stations de mesure, ce qui rend le recours aux méthodes soit empiriques ou méthodes dites rationnelles indispensable.

Notre objectif est de suivre une méthode rationnelle afin de déterminer les débits de crue probables dans le bassin versant de Garaat El Tarf au Nord-est algérien et pour atteindre cet objectif, tout d'abord, une analyse morpho métrique du bassin a été réalisée en utilisant le système d'information géographique (SIG) ARCGIS 10.8.1 afin de déterminer les différents paramètres du bassin. Ensuite, une étude climatique a été menée, se concluant par la définition des éléments et du type de climat de la zone d'étude. Les résultats de ces deux premières parties ont été utilisés dans la dernière étape pour calculer les caractéristiques hydrologiques du bassin et mettre en évidence son régime hydrologique. Enfin, notre travail a été complété par une conclusion générale.

MATERIELS ET METHODES

1. Description générale de la zone d'étude

Le bassin versant de Garaet El Tarf fait partie du grand bassin des Hauts Plateaux Constantinois, ce dernier est situé dans les hautes plaines des steppes orientales, entre le Tel Atlas au nord et l'Atlas saharien au sud, il est situé entre 35°44' et 36°15' de latitude nord et 05°57 et 7°80' de longitude est. selon Structure de l'unité hydrologique de l'Algérie, le bassin appartenant à l'ensemble de Constantinois-Seybouse-Mellague, couvrant une superficie de plus de 9 600 km², Contient de grandes dépressions continentales salées appelées « chotts » et « sebkhas ». Il est Divisé en 7 sous-bassins : Chott Beida, Medja Zana, Sebkhet Ez Zemoul, Oued Chemora, Garaet An Djamal, Oued Boulfreis, Garaet El Tarf

Le sous bassin de Garaet El tarf ; situé à l'extrémité orientale du grand bassin des Hauts Plateaux Constantinois, couvrant une superficie de 2432 km² s'étendant entre 6°49' et 7°34' de longitude est, et 35°22'-35°56' Latitude nord. C'est un bassin endoréique avec un exutoire au centre connu sous le nom de sebkha (lac salé), il couvre une superficie de 200 km²

Les limites du bassin dit correspondent à :

- Au nord, lignes de crêtes nord-ouest-nord-est des massifs de Sidi Régis et d'Amamet Bec d'élan
- A l'est, ligne de crête, nord-est-sud-ouest du massif du Djebels Bou Tohema, Tafrent et Chetaya
- Djebels Feraoun, Aurès, ligne de crête el Aoud au sud, sud-est-sud-ouest
- A l'ouest se trouve le thalweg de l'Oued Gueiss et la ligne de crête Djebel Fedjoudj et Djebel Price.

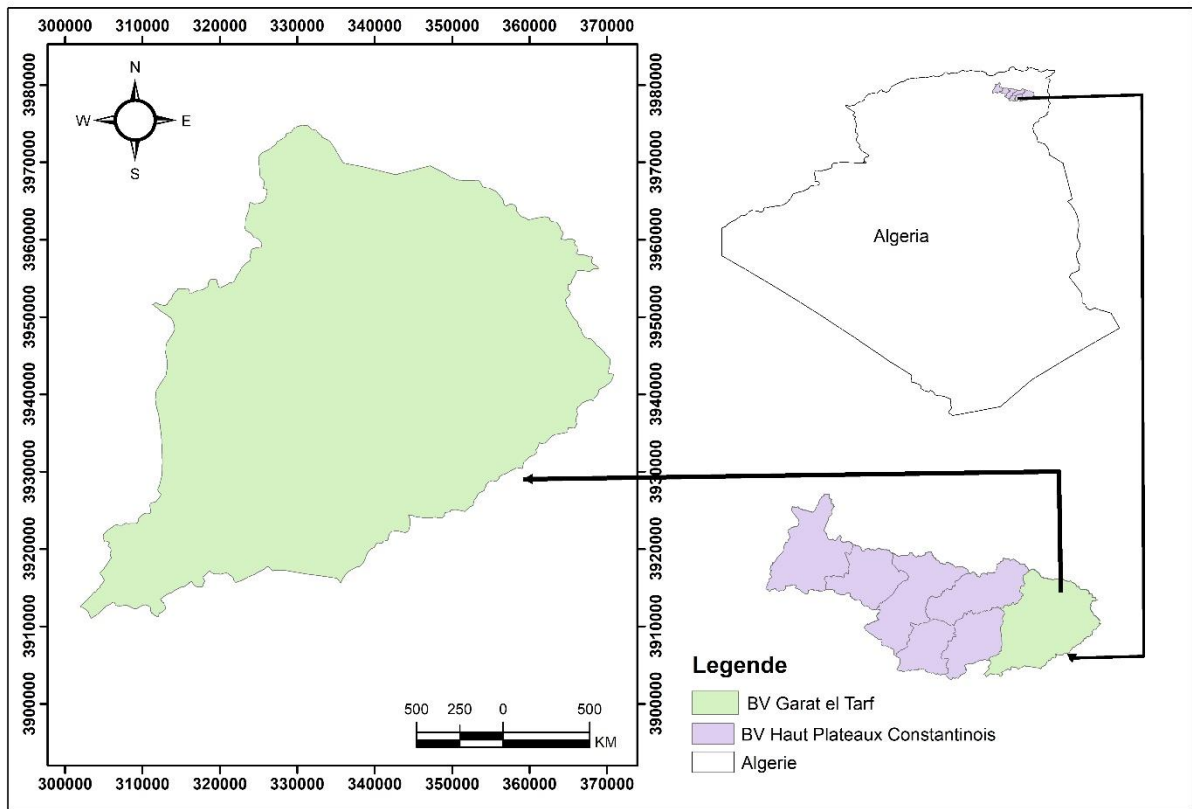


Figure 1. Carte de situation géographique du sous bassins versant de Garaet el Taref

2. Ressources en eau souterraines

Le bassin de Garet Eltaf est constitué de deux plaines principales : la plaine orientale contient l'un des aquifères les plus importants et les plus exploités de Remila est l'aquifère quaternaire et l'aquifère de Miocène. A l'ouest se trouve la plaine de F'kirina, qui repose sur l'aquifère des Mestrichtiens (Kahal, 2019).

2.1 Mise en évidence des différents aquifères

A. Aquifère Quaternaire :

Cet aquifère présente des caractéristiques hydrauliques et La dynamique des fluides varie d'un département à l'autre. La puissance des sédiments quaternaires accumulés et reconnus dans la plaine de Garet El Taf, indiquent que le bassin fonctionnera comme un bassin d'effondrement, et La couche inférieure a une position synclinale (DUROZOIY 1949).

B. Aquifère du Miocène :

S'étendant le long de la limite sud du bassin, il a un aspect synclinal et est défini sous le bassin. Récupération quaternaire. Son extension est limitée au nord et se termine en diagonale. (C.G.G. 1970).

C. Aquifère du Crétacé :

Le Maastrichtien supérieur a une épaisseur d'environ 150 m et est constitué de calcaire blanc. Ces calcaires sont visibles à Djebels Tafrente, Butuchma et Fejjjet.

2.2 Mise en évidence des différentes nappes

A. La nappe superficielle Mio-Quaternaire:

La couche superficielle mio-quaternaire est importante car elle s'étend le long de la vaste plaine de Garet El tarf. Il s'agit de l'aquifère de remplissage Mio-Quaternaire (sols alluviaux et grès) sont largement captés par de nombreux puits d'agriculteurs de différentes profondeurs. 5 à 30m. La puissance de la nappe phréatique varie de 10 à 100 m (DUROZOIY 1949), selon la profondeur de l'eau.

B. La nappe profonde du Maestrichtien supérieur:

Les calcaires du Maestrichtien supérieur abritent un aquifère important, connu sous le nom de nappe, d'une épaisseur d'environ 200 m (DUROZOIY 1949). Des recherches approfondies ont confirmé la présence de cet important aquifère. De nombreuses sources émergent de failles ou du contact entre marnes et calcaires maestrichtiens sur les pentes du Djebel Boutokhma, du Djebel Tafrent, de Fedjijet (DUROZIOY 1949), et du Djebel El Krouma (VILA 1991). Ces sources ont une grande importance hydraulique et ont été captées par un nombre spécifique de forages.

2.3. Ressources souterraines potentielle

Dans le PNE93, la notion de ressource potentielle est d'abord introduite puis définie comme étant la quantité d'eau souterraine qui peut être utilisée sans perturber de manière significative les processus hydrodynamiques et hydro chimiques du système est la principale considération pour de nombreux experts lorsqu'ils évaluent la disponibilité des eaux souterraines pour l'extraction. Cette évaluation porte sur les volumes d'eau souterraine mobilisables tout en assurant le bon fonctionnement du système.

3. Ressources en eaux superficielles

Les ressources en eaux de surface du bassin de Garaet El Tarf ont une importance minime en raison d'un barrage ensablé, d'une poignée de réservoirs collinaires et d'un oued à faible débit connu sous le nom d'Oued Gueiss.

3.1. Oued Gueiss

Il s'agit d'un cours d'eau continu qui ouvre un long couloir dans l'Aurès ; il provient du Djebel Noughiss et se déverse dans la Garaet El Tarf sous le nom d'Oued Marouf. Il reçoit de nombreux cours d'eau dans l'Aurès. Une superficie de 144 km² est drainée. Fom El Gueiss, une station de jaugeage située en amont de l'oued, permet d'évaluer son débit moyen annuel. Pendant 33 ans (1970-2005), le taux est de 0.253 m³/s. L'oued possède une capacité de l'ordre de 8 Hm³.

3. 2. Retenues collinaires

Au niveau du bassin, plusieurs retenues sont effectuées, mais seulement quatre d'entre elles ne sont pas envasées.

Tableau 1. Etat des retenues collinaires dans le bassin de Garaet El Tarf (Dali, 2019).

Non de la retenue	Commune	Etat de l'ouvrage	Capacité Hm ³
Chaabet El Merra	Ain Diss	Bon	0.19
Ourkis	Oum El Bouaghi	Bon	0.33
Oulmen	F'kirina	Bon	2.21
Total			2.74

4. le climat :

Le sous-bassin de Garaet el Tarf se caractérise par deux types de climats différents, le climat tempéré du Sud est fortement influencé par les courants d'air froid et humide provenant des Aurès, où l'altitude dépasse les 1200 mètres par contre, dans le Nord une vaste plaine où l'altitude peut descendre jusqu'à moins de 850 mètres bénéficie d'un climat typiquement semi-aride.

2. Caractéristiques morpho métrique du bassin versant

La configuration du bassin versant exerce une influence significative sur l'écoulement global, notamment sur le temps de réponse du bassin versant, car différents paramètres morphologiques tels que la superficie, l'altitude, la forme des unités hydrologiques, la pente, la topographie, etc., sont intégrés, et fréquemment combinés, dans les modèles d'écoulement.

Dans le cadre de notre recherche, nous avons employé le logiciel ArcGIS 10.8.1 en conjonction avec des cartes de Modèle Numérique de Terrain (MNT) pour élaborer diverses cartes et permettre le calcul des paramètres suivants :

1. Surface :

La topographie de la surface constitue le paramètre prédominant, jouant un rôle crucial dans la régulation de l'intensité de divers phénomènes hydrologiques tels que l'écoulement, les précipitations ou l'infiltration, la superficie est obtenue directement par ArcGis.

2 Périmètre :

Lorsqu'il est jugé comme une caractéristique plus significative, cette caractéristique est déterminée directement par le logiciel ArcGIS après avoir tracé les limites topographiques, et éventuellement les limites hydrogéologiques.

3 Indice de compacité de GRAVELIUS :

Le coefficient "Gravelius" K_G , également appelé indice de compression K_c , se réfère au rapport entre la circonférence du bassin versant et celle du cercle ayant la même surface. Cet indice permettant de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux, il contribue aussi, dans une certaine mesure, à déterminer la configuration de l'hydrogramme de crue.

Il est calculé par la formule suivante :

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Avec :

K_c : indice de compacité de GRAVELIUS

S : surface du bassin versant (km²)

P : Périmètre du bassin versant (km)

1. Le rectangle équivalent :

On fait l'hypothèse que le débit d'eau sur un bassin donné est équivalent à celui sur un rectangle de superficie similaire, présentant le même indice de Gravelius, la même répartition altimétrique, les mêmes caractéristiques de sol et de végétation, ainsi que la même densité de drainage. Soient L et l les dimensions de la longueur et de la largeur du rectangle respectivement, avec A représentant le périmètre et la superficie du bassin versant.

On a :

$$L, l = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[1 \mp \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right]$$

2. Le relief :

L'influence du relief sur l'hydrologie devient très claire en raison des multiples modifications des paramètres hydrométéorologiques en lien avec l'altitude et la morphologie du bassin versant. La topographie est clairement représentée sur la carte par des courbes de niveau, qui relient des points de même élévation. Il est essentiel de définir la répartition des bassins versants en fonction des intervalles d'altitude afin de pouvoir effectuer des calculs sur divers paramètres liés au relief (Akka ,2019).

2.1 Les altitudes caractéristiques :

2.1.1 Les altitudes maximale, minimale, H05%, H50% ,95% :

L'altitude maximale limite désigne le point le plus élevé atteint par le bassin, tandis que le point le plus bas est défini comme l'altitude minimale. Les altitudes H5%, H50% (médiane) et H95% représentent respectivement les hauteurs correspondant aux surfaces cumulées de 5%, 50%, et 95% sur la courbe hypsométrique.

2.1.2 Les altitudes moyennes :

L'altitude moyenne peut être calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum H_i \cdot S_i}{S}$$

Avec :

Hmoy : Altitude moyenne du bassin (m)

Si : Aire comprise entre deux courbes de niveau (km²)

Hi : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m)

S : Superficie totale du bassin versant (km²)

1.2 Les indices de pente :

L'analyse des pentes constitue l'un des éléments clés dans l'étude de la géomorphologie et du flux hydrique d'un bassin versant.

1.2.1 Indice de pente globale :

Il exprime le rapport entre la différence d'altitude entre les altitudes H5% et H95% et la longueur équivalente d'un rectangle englobant la zone entre 95% et 5% de la surface du bassin. La formule suivante fournit l'indice de pente global :

$$I_g = \frac{(H_{5\%} - H_{95\%})}{L_r}$$

Avec :

I_g : l'indice de pente globale %

L_r : la longueur de rectangle équivalent (km)

H_{95%} : l'altitude dépassée sur 95% de la superficie du bassin versant (m)

H_{5%} : l'altitude dépassée sur 5% de la superficie du bassin versant (m)

1.2.2 Pente moyenne de bassin versant :

Le calcul de la pente moyenne nous offre un ensemble d'informations concernant la topographie du bassin versant. Cela nous permet d'obtenir une estimation du temps nécessaire à l'écoulement direct et, par conséquent, du temps de concentration. En cas de pluie légère, le débit de pointe est directement influencé par cette mesure (Akka, 2019).

Elle est déterminée par la formule suivante :

$$P_{moy} = \frac{(H_{max} - H_{min})}{L_r}$$

Avec :

P_{moy} : La pente moyenne du bassin versant (km/m)

H_{max} : L'altitude maximale (m)

H_{min} : l'altitude minimale (m)

L_r : La longueur du rectangle équivalent (Km)

1.2.3 Indice de pente de M. Roche :

Cet indicateur met en évidence l'impact de la pente sur le régime hydrologique du bassin versant, et son expression est la suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L_r}} \sum_i^n \sqrt{S_i} \cdot d_i$$

Avec :

I_p : Indice de pente de roche (%)

L_r : longueur du rectangle équivalent (m)

S_i : surface partielle entre deux courbes de niveau par rapport au totale (%)

d_i : l'équidistance entre deux courbes de niveaux (m)

1.2.4 Dénivelée spécifique :

L'indice I_g décroît dans le cas d'un bassin donné, car la comparaison entre des bassins de tailles différentes devient complexe lorsque la surface augmente. C'est pourquoi il est indispensable d'introduire la notion de dénivelé spécifique (Ghodbane, 2009).

Qui s'exprime dans la formule suivante :

$$D_s = I_g \times \sqrt{S}$$

Avec :

I_g : indice de pente globale (%)

S : Surface du bassin versant (km²)

4. Caractéristique du réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique, l'une des caractéristiques majeures d'un bassin, englobe tous les cours d'eau, qu'ils soient naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, contribuant à l'écoulement. Il peut revêtir diverses formes. La différenciation du réseau hydrographique du bassin est influencée par quatre facteurs principaux : la structure géologique prédominante dans la région, le climat environnant, la topographie du terrain, et l'impact de l'activité

humaine sur le tracé du réseau, notamment à travers l'emplacement des différentes installations hydrauliques.

1. Densité de drainage :

Chaque réseau de drainage possède une densité de drainage, définie comme la somme des longueurs de tous les systèmes fluviaux par unité de superficie du bassin versant. Elle est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$Dd = \frac{\sum Lr}{S}$$

Avec :

Dd : densité du drainage (km/km²)

Lr : longueur totale des cours d'eau (km)

S : superficie totale du bassin (km²)

2. Dénivelée simple :

Sur la courbe représentant le déficit de traceur, on mesure la distance verticale en mètres, qui correspond aux dénivelés englobant 5% et 95% de la surface totale du sous-bassin versant. Le dénivelé simple est alors :

$$D = H5\% - H95\%$$

Avec :

D : Dénivelée simple (m)

$H5\%$: altitude correspondante à 5% du surface (m)

$H95\%$: altitude correspondante à 95% du surface (m)

3. Temps de concentration :

Le temps de concentration est défini comme la durée requise pour qu'une goutte d'eau, tombant du point le plus éloigné du bassin versant jusqu'à l'exutoire, atteigne sa destination. Il est exprimé par la formule de GIANDOTTI (S.ET.HY.CO., 1985), qui se présente comme suit :

$$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5Lp}{0.8\sqrt{Hmoy - Hmin}}$$

Avec :

T_c : temps de concentration (heure)

S : superficie totale du bassin (km^2)

H_{moy} : Altitude moyenne (m)

H_{min} : Altitude minimale (m)

L_p : longueur du talweg principale (km)

3 Caractéristiques climatologique du bassin versant

On a choisi la station la plus proche du site « Garaat el Taref.» celle d'Oum el bouaghi.

Tableau 2. Station météorologique et ses caractéristiques

Station	Type de station	Latitude	Longitude	Altitude	Période d'observation
Oum el bouaghi	Météorologie	35,88°N	7,12°E	889 mètre	2000-2022

1 Précipitation :

Les précipitations représentent l'ensemble des pluies liquides ou solides (pluie, neige, grêle,... etc.) mesurées par le pluviomètre. Elles jouent un rôle écologique primordial dans le cycle des saisons en régulant les activités biologiques, notamment en influençant l'alternance entre les périodes sèches et humides (Ramande 1984). Les extrêmes pluviométriques par leurs intensités, durées et fréquences peuvent provoquer des inondations ou des sécheresses catastrophiques influences directement ou indirectement la vie humaine.

2 Température :

La température joue un rôle essentiel en climatologie, car elle reflète sa capacité à favoriser l'évaporation sur les surfaces humides. De plus, elle est un élément clé du bon déroulement du cycle de l'eau. En effet, la température est un paramètre crucial pour définir les caractéristiques climatiques (Ramande 1984).

3 Indice climatique :

3.1 L'indice d'aridité de Martonne

L'indice d'aridité de Martonne est défini comme :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

T : Température moyenne annuelle (C°).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

Cet indice, Parfois désigné sous le nom d'indice de sécheresse de De Martonne, cet indice peut également être calculé de manière mensuelle. Il fournit une indication du niveau de sécheresse en fonction de la demande moyenne d'évaporation de l'atmosphère, qui est généralement proportionnelle à la température (Serai & Dellidj, 2021).

Tableau 3. Classification climatique d'après De Martonne

Valeur de I	Type de Climat	Signification
< 5	Aridité absolue	désert sans culture
5 à 10	Désert (aride)	désert et steppe ; aucune culture sans irrigation.
10 à 20	Semi-aride	formations herbacées, steppes ou savanes. Irrigation nécessaire pour les cultures exigeant de l'humidité
20 à 30	Semi-humide	prairie naturelle ; irrigation généralement non nécessaire.
30 à 40	Humide	les arbres jouent un rôle de plus en plus grand dans le paysage.
> 40	Hyper Humide	la forêt est partout la formation climatique. Les cultures de céréales tendent à être remplacées par les herbages.

4 L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration réelle représente la quantité d'eau, souvent mesurée en millimètres, qui s'évapore ou est transpirée par le sol, les plantes et les surfaces libres d'un bassin versant. En revanche, l'évapotranspiration potentielle désigne la quantité d'eau qui serait évaporée ou transpirée à partir du même bassin versant si la disponibilité en eau n'était pas un facteur limitant (Laborde, 2000 ; BenMansour, & Korichi, 2013).

4.1 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Est un processus climatique qui se produit de manière continue à la fois dans l'espace et dans le temps. Ce phénomène revêt une grande importance dans les recherches, notamment en ce qui concerne l'utilisation de l'eau pour l'irrigation. Les quantités d'eau nécessaires dépendent de l'évapotranspiration potentielle (E.T.P), et le déficit en eau des plantes est directement lié à ce paramètre (Dubost ,1992).

4.1.1 Formule de Turc :

Cette équation ne requiert que la connaissance des températures de l'air ainsi que du rayonnement global, ou encore de la durée d'insolation. Cette équation suivant :

$$ETP = 0,4 \times \frac{T_p}{T_p + 15} \times (I_g + 50) \times K$$

Avec :

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle (en mm d'eau).

T_p : température moyenne mensuelle de l'air (en °C).

I_g : radiation globale moyenne mensuelle reçue au sol (en calorie/cm²/jour).

K : un coefficient dépend de la latitude de la zone d'étude.

4.1.2 Formule de Thornthwaite :

La formule suivante, établie par Thornthwaite, repose principalement sur les températures de l'air :

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

Avec :

$$i = \left(\frac{T_p}{5}\right)^{1,514}$$

$$I = \sum_1^{12} i$$

$$a = \frac{1,6}{100} \times I + 0,5$$

4.2 Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

La quantité d'eau à appliquer au cours du développement de la plante, dans le temps et l'espace, correspond simplement au produit du bilan hydrique (Gains - Pertes) de l'évapotranspiration potentielle par le coefficient cultural (*K_c*) déterminé à l'aide de l'outil de la lysimétrie (Charles, 1975).

4.2.1 Formule de Turc :

Cette relation dépend des précipitations et des températures moyennes annuelles, la formule est la suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3.$$

4.2.2 Méthode de bilan simplifié de Thornthwaite :

Cette approche repose sur le concept de réserve en eau facilement utilisable (RFU). Selon cette méthode, le sol est considéré capable de stocker une certaine quantité d'eau, représentée par la RFU, qui peut être utilisée ultérieurement pour l'évaporation par les plantes. La quantité d'eau stockée dans la RFU est limitée entre 0 (RFU vide) et RFU max (la capacité maximale de la RFU, généralement comprise entre 0 et 200 mm selon les types de sols et de sous-sols, avec une moyenne d'environ 100 mm). Il est stipulé que la satisfaction de l'évapotranspiration potentielle (ETP) a priorité sur l'écoulement ; en d'autres termes, avant qu'il n'y ait un écoulement, il est nécessaire de satisfaire la demande d'évapotranspiration réelle (ETR). De plus, le remplissage de la RFU est également prioritaire par rapport à l'écoulement (Laborde, 2000).

Dans notre cas, les calculs sont réalisés par une application sur Excel (Thorn), la RFU max est prise 80 mm.

4. Etude de l'écoulement dans le bassin versant

La détermination des débits des cours d'eau et la réponse hydrologique d'un bassin versant repose principalement sur les mesures hydrologiques, donc l'existence de stations hydrométriques sur les cours d'eau permet l'acquisition des données plus au moins suffisante pour calculer les débits de crues probables après avoir les ajuster à la loi statistique la plus adéquate. Mais dans le cas où le bassin versant objet de l'étude est dépourvu de données sur le débit à cause de manque de stations de mesure hydrologique le recours aux méthodes analogiques, empiriques ou rationnelles est indispensable.

Cette étape cruciale de notre travail repose sur les résultats tirés des sections précédentes, qui traitent des caractéristiques du bassin et des paramètres climatiques. Les calculs sont effectués à l'aide des formules empiriques et des modèles pluie-débit, grâce à une application Excel nommée "Caractéristiques BV", disponible en téléchargement sur le Web.

1 Etude des apports liquides :

1.1 Apport moyen annuel :

La détermination de ces apports est généralement orientée vers les observations hydrologiques, si elles sont disponibles dans le bassin versant spécifique du site d'étude, ou en se basant sur des similitudes avec un bassin versant voisin. En cas d'absence de telles données, il est nécessaire d'utiliser des modèles empiriques et des formules fondées sur les précipitations, lesquelles sont influencées par les quantités de précipitations et les déficits hydriques.

$$Q = f(P - D)$$

Avec :

Q : Débit annuel d'écoulement (apport).

P : Précipitation moyenne annuelle.

D : Déficit qui englobe toutes les pertes du bilan hydrologique.

Le tableau suivant résume les formules utilisées :

Tableau 4. Formules empiriques utilisée dans le calcul de l'apport moyen annuel en

Auteur	Formule
Formule de SAMIE	$Le = P02(293 - 2,2)$ $A0 = Le.S$
Formule de COUTGANE	$1P^2 - P^2 = D$ $1 = \frac{1}{0,8 + 0,14T}$ $A0 = Le.S$
Formule de DERY II	$A0 = 0,513.Pmoy^{2,683} Dd^{0,5}.S^{0,842}$
Formule de l'ANRH	$A0 = 0,915.Pmoy^{2,684}.S^{0,842}$
Formule de MEDINGER	$Le = 1,024(Pmoy - 0,26)^2$
Formule de TURC	$Le = Pmoy - D$

Pmoy, P, P0 : Pluie moyenne annuelle (mm)

D : Déficit de l'écoulement (mm)

S : surface du bassin versant en (Km²)

Dd : Densité de drainage (Km/Km²)

L : Variable théorique, $L = 300 + 25 Tmoy + 0.05(Tmoy)^3$

Tmoy : Température moyenne annuelle (°C)

1.2 Coefficient de variation de l'écoulement moyen :

Les méthodes pluies - débits généralement utilisées introduisent un coefficient d'écoulement "en période de crue" qui ne devrait pas, en toute rigueur, être associé sans précaution avec une pluie de projet de fréquence déterminée (Étienne Colin & Claude Michel ,1980).

Le coefficient de variation de l'écoulement moyen peut être calculé par les formules illustrées dans le tableau suivant :

Table 3 : Formules utilisée dans le calcul du coefficient de variation de l'écoulement dans le bassin

Auteur	Formule
Formule de SOKOLVSKY	$Cv = 0,78 - 0,29 \log M0 - 0,063 \log(S + 1)$
Formule d'OURKGUIPROVODKHOZ	$Cv = 0,7/(M0)^{0,125}$
Formule d'ANTONOV	$Cv = 0,7/(S + 1000)^{0,097}$

Formule de KRISTEKLY MENKEL	$Cv = 0,83/(S^{0,06} \cdot M0^{0,23})$
formule d'Algérienne de N.N PADOUN	$Cv = 0,93K/M0^{0,23}$

Avec :

$M0$: Module de l'écoulement relatif

S : Superficie du bassin (Km²)

K : Coefficient de réduction, $K = (0.25-1.00)$ on prend $K = 0.60$

1.3 Distribution mensuelle des apports liquides :

L'expérience confirme pleinement le principe selon lequel la répartition des flux dans un bassin soumis à un régime méditerranéen unique suit les mêmes lois statistiques que la distribution des précipitations dans le bassin correspondant (Dakiche & Benaini, 2011).

2 Etude des apports solides :

Les apports de matières en suspension sont estimés en utilisant le débit moyen journalier de liquide, le débit total d'une crue, ainsi que la séparation de la crue en ses phases d'augmentation et de diminution (Bouchelkia & Remini, 2003).

3 Etude de crue :

L'ampleur de la crue est principalement déterminée par la quantité et l'intensité des précipitations : son évolution est principalement influencée par la force et l'intensité de l'averse (Benaza et Benariba 2012-2013).

Les méthodes d'estimation des probabilités de dépassement des crues maximales annuelles reposent principalement sur l'ajustement d'une distribution de probabilité prédéfinie à une série de relevés annuels de crues, sur une période plus ou moins longue (CARRERE 1978).

3.1 Calcule des débits maximums de crue :

3.1.1 Formule de TURRAZA :

Cette équation prend en considération les précipitations tout en prenant en compte le temps de concentration de la zone d'étude.

$$Q_{max T\%} = C.I(tc.T).S/3,6$$

Avec :

$Q_{max T\%}$: débit maximum de crue en m³/s de même fréquence que celle de la pluie de courte durée

S : superficie du bassin versant (Km²)

I_t : intensité moyenne maximale de la précipitation pendant une durée égale au temps de concentration en (mm/h)

C : Coefficient de ruissellement en fonction de la probabilité donnée

3.1.2 Formule de GIANDOTTI :

La méthode GIANDOTTI intègre les lois d'écoulement qui reposent sur les caractéristiques morphologiques du bassin versant ainsi que le temps de concentration. Cette approche a donné des résultats prometteurs en Algérie.

$$Q_{max\%} = C.S.(H_{moy} - H_{min})^{12/4}.(S)^{12} + 1,5.L.Ptc\%$$

Avec :

$Q_{max \%}$: débit maximum de crue en m³/s de même fréquence que celle de la pluie de courte durée

C : Coefficient topographique varie entre 66 et 166, Nous prenons $C = 16$ pour les bassins versant dans le nord-ouest d'Algérie

S : superficie du bassin versant (km²)

L : longueur du talweg principal (km)

H_{moy}, H_{min} : altitudes moyennes et minimales en (m)

Ptc : pluies de courte durée (mm)

3.2 Hydro gramme de crue :

Les hydro grammes de crues pour diverses fréquences sont évalués par la méthode de **Sokolovski** qui assimile l'hydro gramme à deux équations paraboliques :

3.2.1 Temps de concentration :

Le temps de concentration représente la durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir la distance maximale depuis le point le plus éloigné du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Il est calculé à l'aide de la formule développée par GIANDOTTI.

3.2.2 Temps de montée :

$$Q_i \text{ montée} = Q_{max} \cdot \left(\frac{T}{T_m} \right)^2$$

Avec :

Q_i montée : Débit de la crue à un instant donné (m³/s)

Q_{max} : Débit maximal fréquentiel de la crue (m³/s)

T_m : Temps de montée $T_m = T_c$

T : Intervalle de temps (heure)

3.2.3 Temps de la décrue :

$$Q_i \text{ descentes} = Q_{max} \cdot \left(\frac{T_d - T}{T_d} \right)^3$$

Avec :

Q_i descente : Débit de la décrue à un instant donné (m³/s)

Q_{max} : Débit maximal fréquentiel de la crue (m³/s)

T_d : le temps de décrue $T_d = 2T_c$

T : Intervalle de temps (heure)

RESULTATS ET DUSCUSION

1. Etude morpho métrique du sous bassin versant :

1 La surface et périmètre :

La Surface du sous bassin versant **S=2428,99 Km²**.

Le périmètre du sous bassin versant **P=258,93 Km**.

2 Indice de capacité de GRAVELIUS :

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

$$Kc = 1,47$$

Le sous-bassin versant a une forme allongée, ce qui entraîne des débits de pointe relativement faibles pendant les crues.

3 Le rectangle équivalent :

La longueur équivalente **L= 106,7 km**.

La largeur équivalente **I=22,76 km**.

4 Les altitudes :

La carte suivante représente les mesures de pression pour la zone d'étude et les élévations Divisé en six tranches. On voyons cela sur la carte :

Il est situé au sud-ouest de la région avec des altitudes dépassant 2300 (m)

Le nord-ouest du bassin est caractérisé par des altitudes allant de 764 à 900

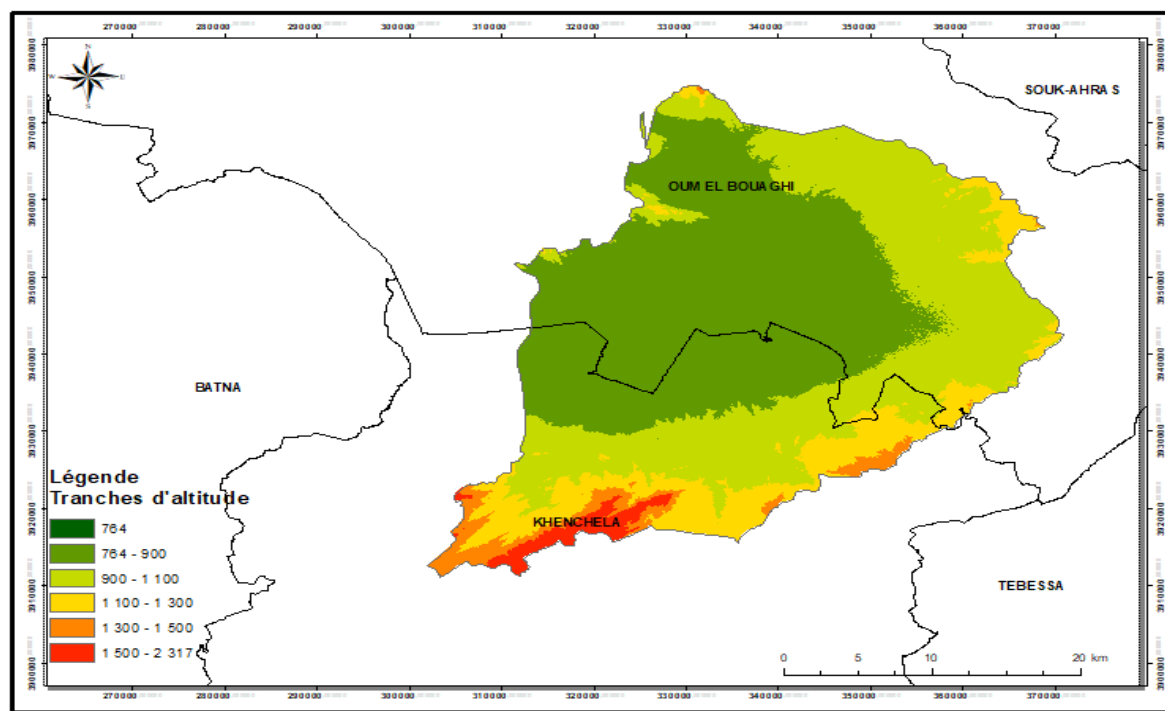


Figure 2. Carte hypsométrique du sous bassin versant de Garaet el Taref

Le tableau suivant présente les surfaces partielles et cumulées en(Km) et en (%) en fonction des tranches d'altitude.

Tableau 5. Hypsométrie du bassin versant de Garaat el Taref

Classe	Tranche d'altitude	Superficies (km)	Superficies (%)	Superficies cumules	Superficies cumules (%)
1	764	0.0056	0,00023	2428,99	100
2	900-764	1131,8	46,59	2426,19	99,88
3	1100-900	879,74	36,26	1296,18	53,4
4	1300-1100	287,31	11,84	416,44	17,16
5	1500-1300	81,78	3,37	129,13	5,32
6	2317-1500	47,35	1,95	47,35	1,95

A partir du tableau, on constate que plus de 80% de la surface du bassin caractérisé par des altitudes comprises entre 764 et 1100 m d'altitude.

L'altitude moyenne d'un bassin versant est donnée par l'équation suivante :

$$H_{moy} = \sum \frac{S_i * h_i}{S}$$

Hmoy=976,71m

Hmax=2317m

Hmin=764m

La courbe hypsométrique du sous bassin tracée à partir des données précédentes (Fig.3), nous a permis de déterminer les altitudes caractéristiques (quantiles) suivantes :

H05%=1305m , H50%=910m , H95%=780m

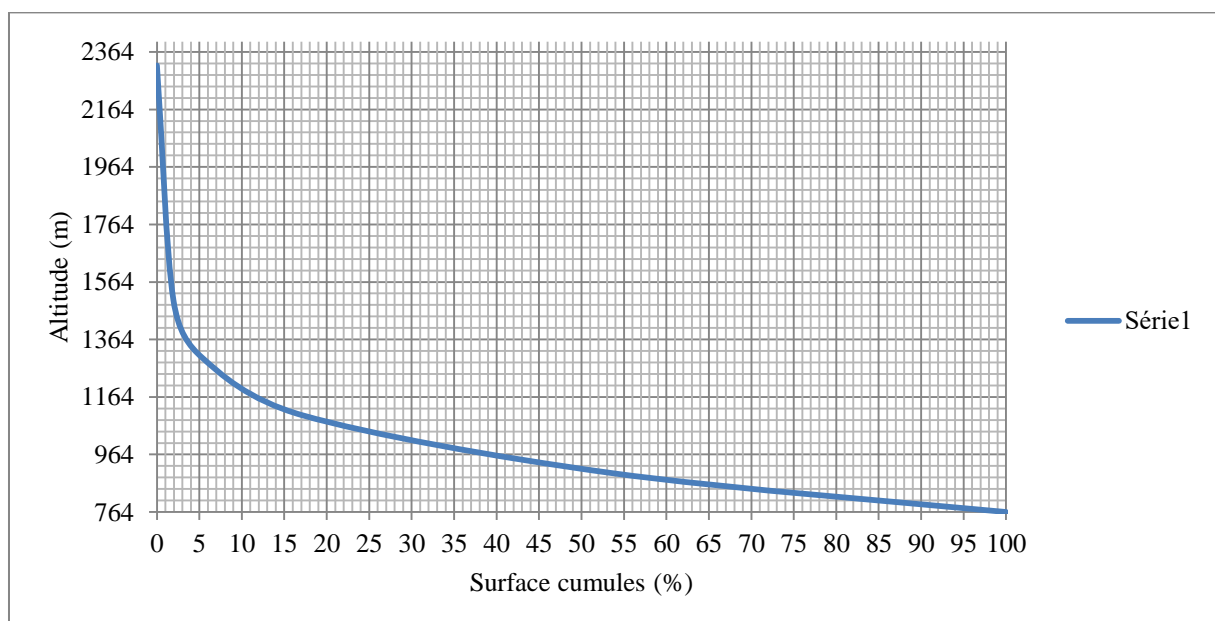


Figure 3. Courbe hypsométrique du sous bassin versant de Garaet el Taref

5 Les pentes :

5.1. L'indice de pente de roche I_p :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{Lr}} \sum_i^n \sqrt{S_i * d_i}$$

$I_p = 27.04\%$

Tableau 6. Répartition des pentes dans le sous bassin versant Garaet el Tarf

Altitude (m)	Si (km ²)	Si%	di (m)	Si*di	Racine de Si*di
2317-2317	0	0	0	0	0
2317-1500	47,35	1,95	817	1592,63	39,90
1500-1300	82,78	3,41	200	681,60	26,10
1300-1100	287,31	11,82	200	2365,67	48,63
1100-900	879,74	36,22	200	7243,68	85,10
900-764	1131,8	46,60	136	6336,99	79,60
764-764	0,0056	0,00023	0	0	0
					279,36

5.2. L'indice de pente moyenne :

$$I_{pm} = \frac{H_{max} - H_{min}}{Lr}$$

I_{pm}= 14.55 m/km

5.3. L'indice de pente global I_g :

$$I_g = \frac{H_{95\%} - H_{05\%}}{Lr}$$

H_{95%}=780m

H_{05%}=1305m

I_g=4,92m/km

La figure suivante présente la répartition des pentes sur la surface du sous bassin selon dix classes.

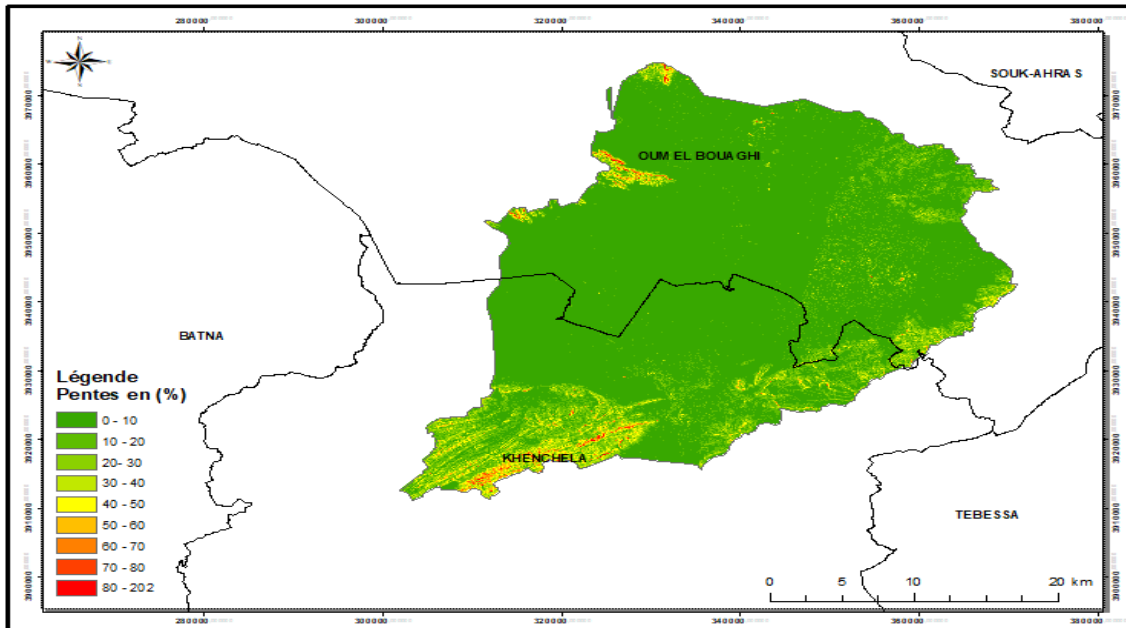


Figure 4. Carte des pentes du sous bassin versant de Garaet el Tarf

La classe de pente comprise entre 0et 10 degré , est la classe dominante, une grande part du bassin est caractérisée par de faibles pentes, plus 85% de la superficie du bassin.

6 Constitution du réseau hydrographique :

La carte suivante montre le réseau hydrologique du bassin de Garaet el Tarf

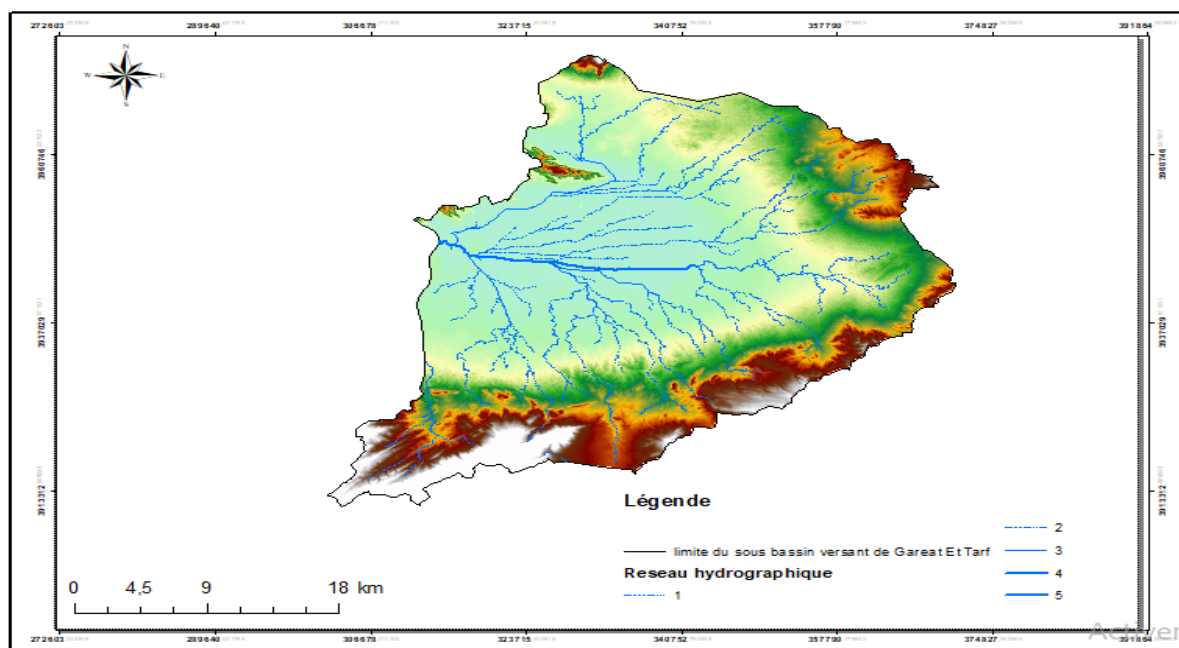


Figure 5. Carte du réseau hydrographique du sous bassin versant de Garaet el Tarf

D'après cette carte, notre bassin est d'ordre 5.

- La longueur du cours d'eau principale est estimée à 48,6 km.
- La longueur totale de cours d'eau 857,06 km.
- La longueur moyenne 4,84 km.

7 Le temps de concentration (Tc) :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L_p}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Tc= 23.14 heures.

Etude de Climatologie :

1 Les Paramètres climatologie :

1.1 Les précipitation :

Les données pluviométriques que nous allons traiter relevées à la station météorologique de Oum el Bouaghi sont réparties sur la période de (2000-2022).

1.1.1 Précipitation annuelle moyenne :

Les pluies moyennes annuelles de la période 2000-2022 sont représentées dans la figure suivante :

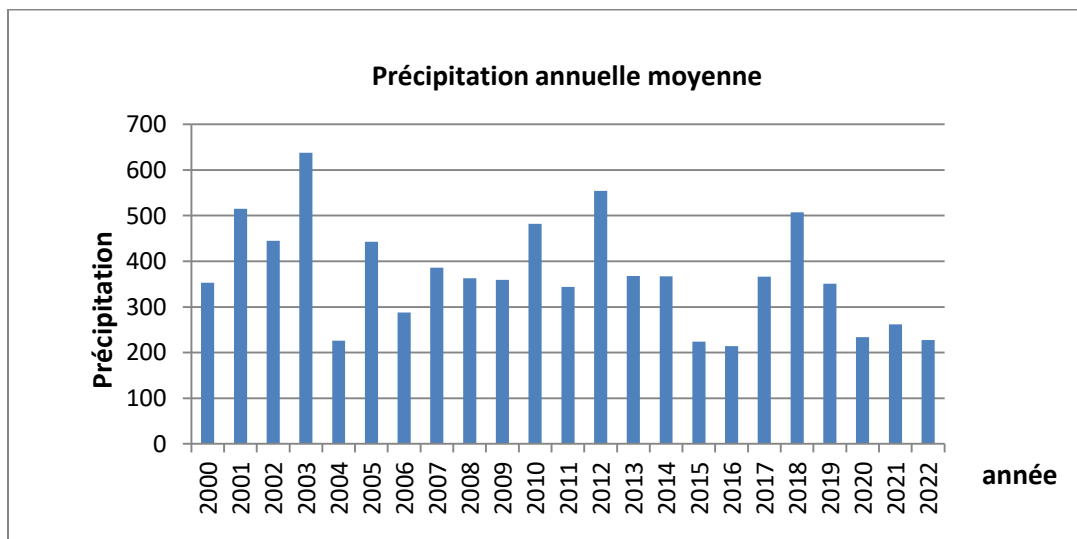


Figure 6. Précipitations moyennes annuelles à la station d'Oum el Bouaghi

On constate que :

- L'année la plus pluvieuse 2003 avec une moyenne annuelle 638 mm

- L'année la plus sèche est 2016 avec une moyenne annuelle 214 mm

Il est à noter que la pluie moyenne interannuelle sur la période d'observation est de l'ordre de 370,32 mm.

1.1.2 Précipitation moyenne mensuelle :

Les pluies moyennes mensuelles de la période 2000-2022 sont représentées dans la figure suivante :

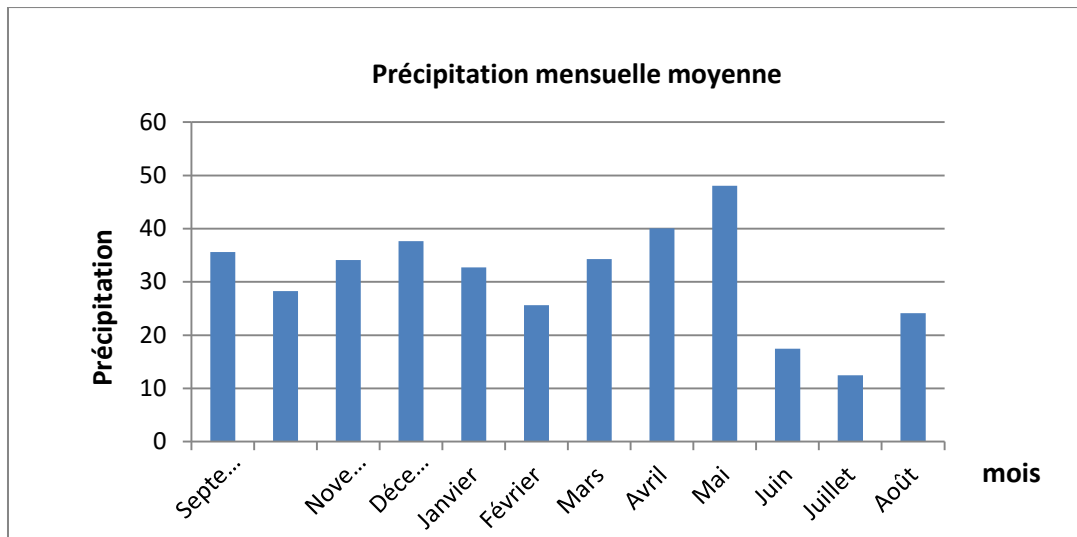


Figure 7. Précipitation moyenne mensuelle à la station d'Oum el Bouaghi 2000-2022.

On constate que :

- Le printemps est la saison la plus pluvieuse, tandis que Mai est le mois le plus pluvieux, avec une moyenne de 48,07 mm. Par contre.
- L'été est la saison la plus sèche, tandis que juillet est le mois le moins humide, les précipitations sont en moyenne de 12,45 mm.

1.2 Températures :

1.2.1 Température annuelle moyenne :

Les températures moyennes annuelles de la période 2000-2020 sont représentées dans la figure suivante :

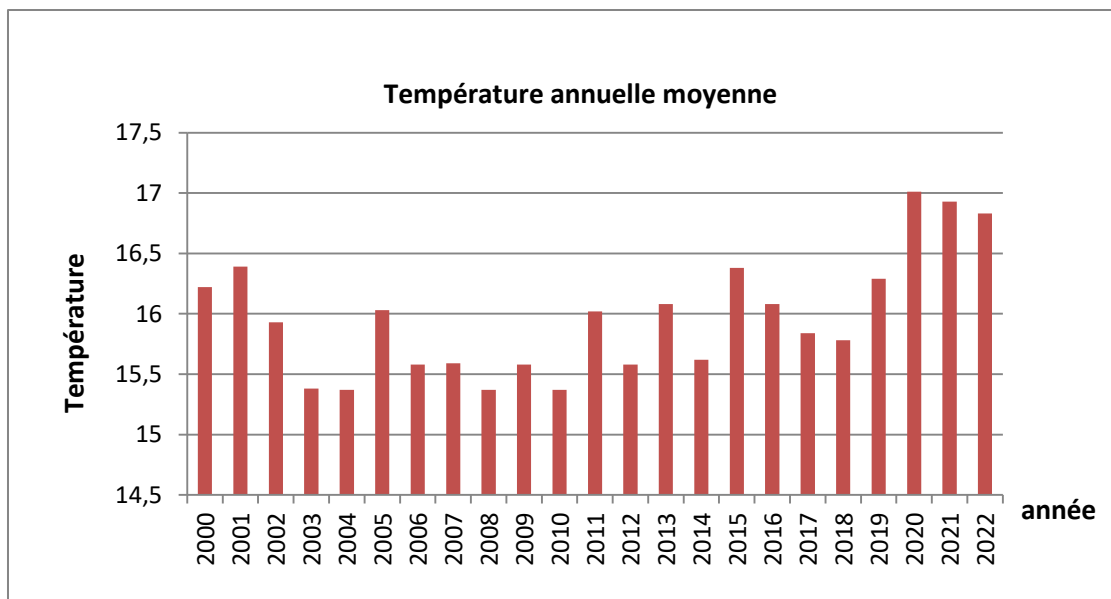


Figure 8. Température moyenne annuelle à la saturation d'Oum el Bouaghi.

On constate que :

- Les températures les plus élevées ont été enregistrées en 2020, avec une moyenne de 17,01°C.
- La température la plus basse a été enregistrée en 2004, avec une moyenne de 15,38°C.

1.2.2 Température moyenne mensuelle :

Les températures moyennes mensuelles de la période 2000-2020 sont représentées dans la figure suivante :

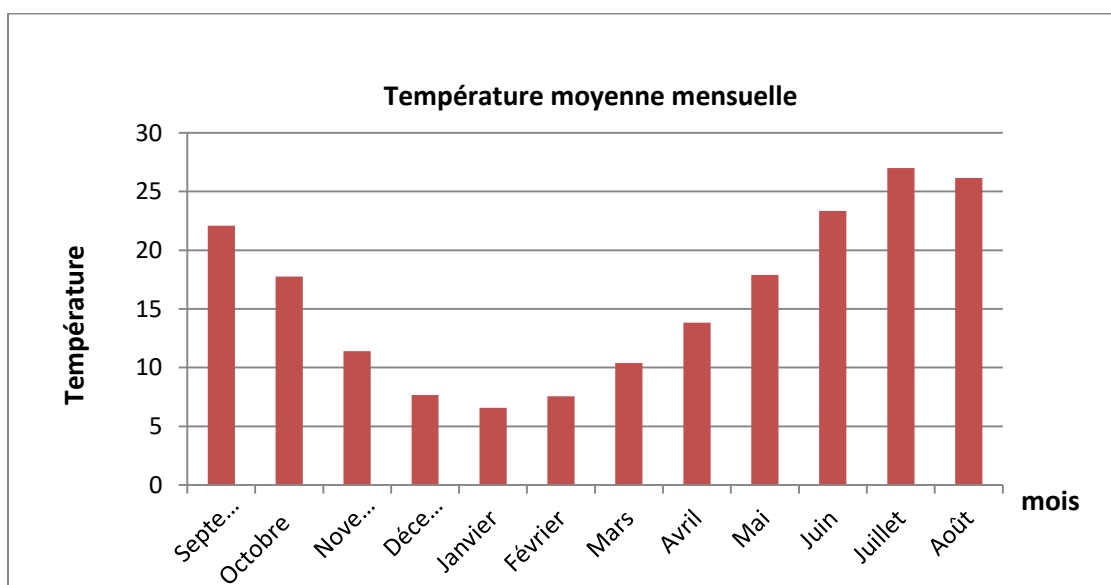


Figure 9. Température moyennes mensuelles à la station d'Oum el Bouaghi 2000-2022

On constate que :

- Le mois le plus froid est Janvier avec 6.56°C.
- Le mois le plus chaud est juillet avec 27 °C.

1.3. Relation précipitation – température (Courbe OMBRO-thermique) :

La courbe OMBRO-thermique distingue la période humide et la période sèche. La figure suivante présente la courbe Ombro-thermique de la station d'Oum el Bouaghi sur la période 2000-2022.

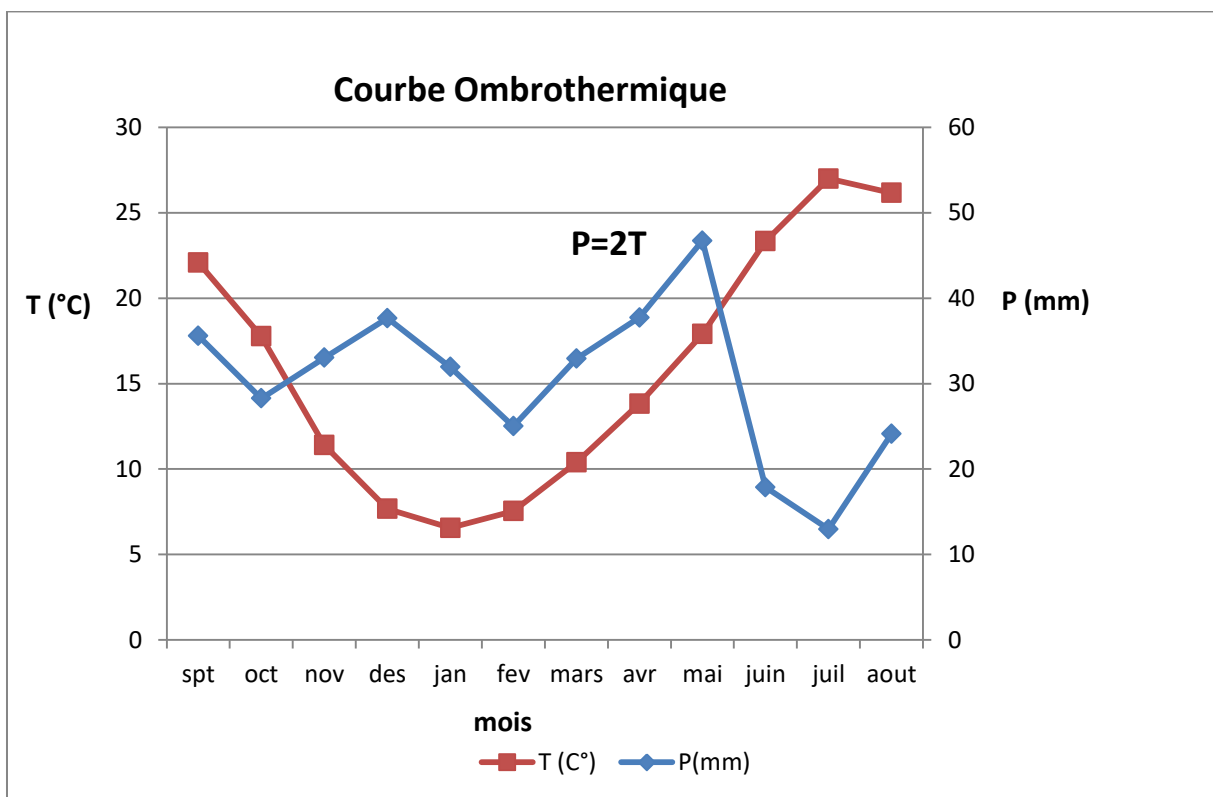


Figure 10. Diagramme OMBRO-THERMIQUE

Interprétation de la courbe :

On constate que :

- Une période sèche comporte 5 mois (septembre, octobre, juin, juillet, aout).
- Une période humide comporte 7 mois (novembre, décembre, janvier, février, mars, avril, mai).

1.4 L'indice de De MARTONNE :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

La valeur d'IM :

- 20<IM<30 climat tempéré
- 10<IM<20 climat semi- aride
- 7, 5<IM<10 climat step piqué
- 5<IM< 7, 5 climat arid
- IM<10 climat hyper arid

Le résultat de l'indice d'aridité est reporté dans le tableau suivant :

Tableau 7. Valeur de l'indice d'aridités de la wilaya d'Oum el bouaghi

Station	P (mm)	T (°C)	IM
Oum el bouaghi	370,32	15,97	14,25

Le climat d'Oum el Bouaghi est de type semi- aride.

1.5 L'évapotranspiration réelle :

Les valeurs de l'évapotranspiration réelle mensuelle de la période 2000-2020 sont représentées dans la figure suivante :

Tableau 8. Bilan hydrique calculé par la méthode de THORNTHWAITE 2000-2022

Période	Tp (°C)	i	K	ETPc (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	22,09	9,5	0,85	85,3	35,59	-49,7	-0,6	0,0	0,0	35,6	49,7	0,0
O	17,77	6,8	0,84	58,2	28,26	-30,0	-0,5	0,0	0,0	28,3	30,0	0,0
N	11,4	3,5	1,03	33,6	34,08	0,5	0,0	0,5	0,5	33,6	0,0	0,0
D	7,67	1,9	1,10	18,3	37,66	19,4	1,1	19,4	19,9	18,3	0,0	0,0
J	6,56	1,5	1,23	15,7	32,73	17,1	1,1	17,1	37,0	15,7	0,0	0,0
F	7,54	1,9	1,23	19,8	25,63	5,8	0,3	5,8	42,8	19,8	0,0	0,0
M	10,39	3,0	1,25	34,8	34,26	-0,5	0,0	-0,5	42,3	34,8	0,0	0,0
A	13,83	4,7	1,17	52,9	40,03	-12,9	-0,2	-12,9	29,4	52,9	0,0	0,0
M	17,9	6,9	1,04	73,0	48,07	-24,9	-0,3	-24,9	4,4	73,0	0,0	0,0
J	23,33	10,3	0,97	106,8	17,43	-89,4	-0,8	-4,4	0,0	21,9	84,9	0,0
J	27	12,8	0,84	118,6	12,45	-106,1	-0,9	0,0	0,0	12,4	106,1	0,0
A	26,16	12,2	0,83	111,1	24,13	-86,9	-0,8	0,0	0,0	24,1	86,9	0,0
Année	16,0	75,0		728,0	370,3	-357,7				370,3	357,7	0,0

On constate que :

L'évapotranspiration annuelle est de l'ordre de 370 mm égale à la précipitation, ce qui conduit à un déficit agricole annuel très élevé 357.7 mm. L'écoulement est nul pendant toute l'année.

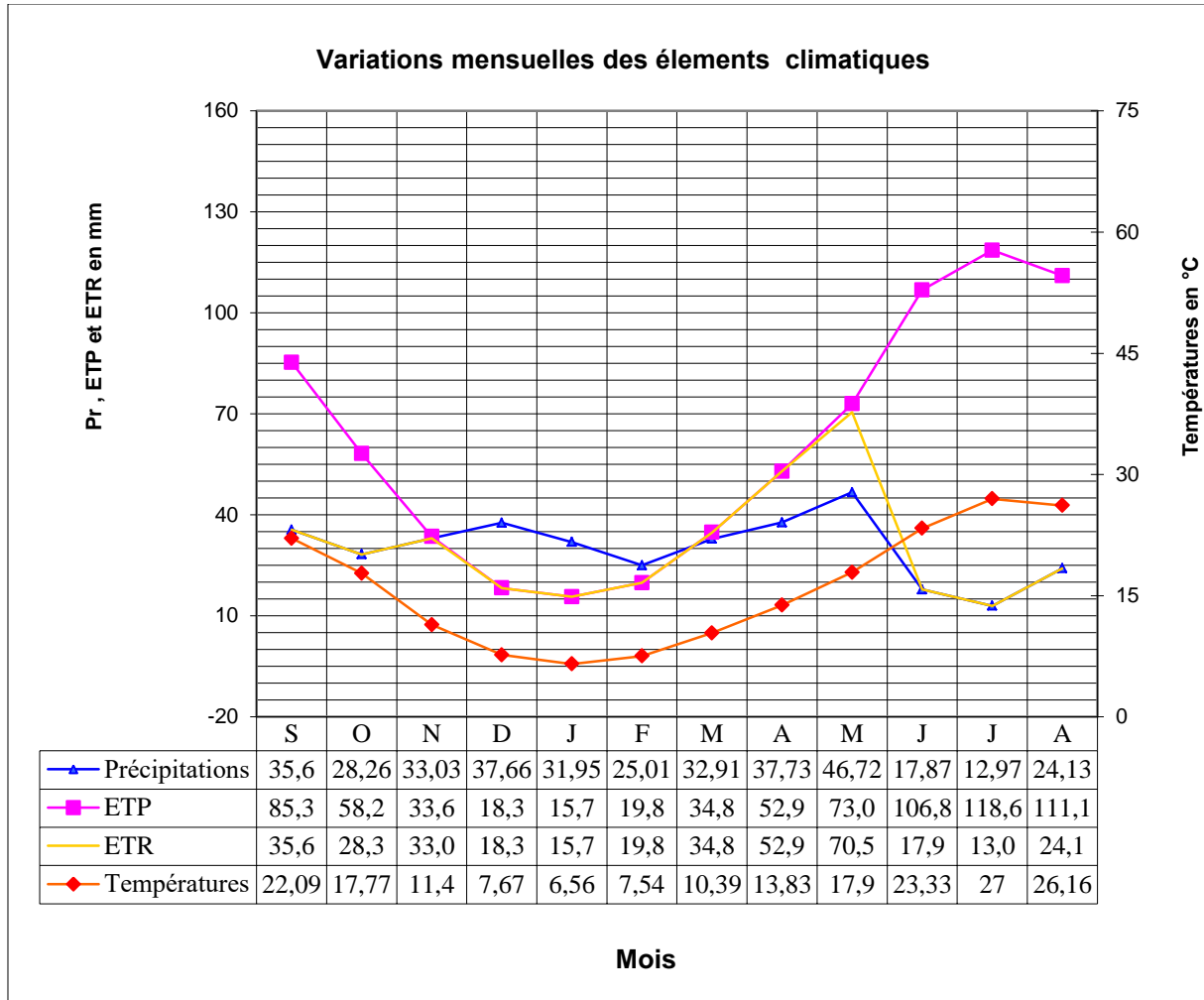


Figure 11. Variation mensuelles des paramètres du bilan hydrique à la station d'Oum el Bouaghi 2000-2022

3. Etude de l'écoulement de sous bassin versant :

1. Etude des apports liquides :

1.1. Apport moyen annuel :

L'apport moyen annuel estimé par six formules différentes est présenté dans le tableau 9.

Tableau 9. Formules et apports moyen annuelle au sous bassin versant de Garaet el Taref

Formule	A moy (Hm ³)
Formule de SAMIE	61,48
Formule de COUTAGNE	109,78
Formule de DERY II	3,54
Formule de l'ANRH	45,08
Formule de MEDINGER	30,27
Formule de TURC	47,82
Valeur moyenne	49,65

On constate que : la plus grande valeur est celle estimée par la formule de Coutagne alors que la formule de DeryII donne la valeur très basse, l'apport moyen obtenu par la moyenne arithmétique de résultats de six formules est de **49.65 Hm³**.

Cet apport représente la quantité d'eau pluviale qui contribue à la recharge du lac annuellement.

1.2. Coefficient de variation :

Le coefficient de variation des apports en eau estimé par cinq formules différentes est varié entre 0.32 et 1.88 (voir tableau 10), la formule algérienne a donné une valeur de 1.67.

Tableau 10. Le coefficient de variation des apports moyen en eau

Formule	Cv
Formule de SOKOLVSKY	1,16
Formule d'OURKGUIPROVODKHOZ	1,27
Formule d'ANTONOV	0,32

Formule de KRISTEKLY MENKEL	1,88
Formule d'Algérienne de N.N PADOUN	1,67
Cv moy	1,26

2 Etude des apports solides :

L'érosion hydrique du sol est un processus au cours duquel les particules de sol sont détachées et transportées par l'eau. Chaque année, des quantités significatives de matière solide peuvent être emportées. Dans cette section, nous allons quantifier ce phénomène en utilisant deux méthodes empiriques simples.

2.1. Formule de TIXERANT 1960 :

$$Es = 350 * L0^{0,15}$$

Avec :

Es : Erosion spécifique (t/Km².an).

Le : Lamme d'eau ruisselée moyenne inter annuelle en (mm).

K : un coefficient qui est déterminé en fonction de la perméabilité des terrains.

$K = 350$ pour les terrains d'une perméabilité faible à moyenne.

S : superficie totale du bassin (Km²).

$$As = Es * S$$

$$As = 1396871,18 \text{ t/an}$$

Sur la période d'étude, l'érosion dans le bassin est estimée à 1,396 million de tonne chaque année.

2.2. Formule de SOGREAH :

Cette formule prend en compte la perméabilité moyenne du bassin ainsi que l'écoulement moyen annuel, exprimé en millimètres par an.

$$Ta = 350 * R0^{0,15}$$

$$Ta = 849,78 \text{ t/km}^2/\text{an} \text{ soit } 2,064 \text{ Million tonne par an.}$$

Cette valeur correspond à un volume solide moyen charrié chaque année de l'ordre de 1.25 million de mètre cube.

3. Estimation fréquentielle des pluies journalières maximales :

Les précipitations maximales tombée pendant 24 h pour différentes fréquences sont déterminé par la répartition de GALTON.

$$P_{maxj}\% = \frac{\overline{P_{maxj}}}{\sqrt{Cv^2 + 1}} e^{u\sqrt{\ln(Cv^2+1)}}$$

Cv : coefficient de variation de la pluie.

u : variable de Gauss centrée et réduite

$\overline{P_{maxj}}$: la moyenne des pluies maximales journalières sur la période d'étude, égale à 38.44 mm.

Les pluies maximales de courtes durées de différents temps de retour sont :

$$P_{tc} = P_{maxj}\%(T_c/24)^{0,39}$$

Avec :

Ptc : Pluie de courte durée en (mm).

Tc : Temps de concentration en heure.

Tableau 11. Pluie de courte durée en (mm) au bassin versant de Garaet el Taref

Période de r	u	Pmaxj%	Tc (h)	Ptc (mm)
5	-0,841	6.402	23,14	6,328
10	1,282	87,317	23,14	86,308
50	2,054	225,814	23,14	223,204
100	2,327	315,991	23,14	312,339

On constate que :

Les précipitations journalières maximales probables sont estimées de 6.402 mm pour une période de retour de 5 ans à 315.991 mm par jour pour une période allant à 100 an,

Le temps de concentration du bassin versant est de l'ordre de 23,14 heures, l'estimation donc des pluies maximales d'une durée égale à 23,14 h aboutie à des valeurs allant de 6.328 mm pour un temps de retour de 5 ans à 312.339 mm pour un temps de retour de 100 ans.

4 Etude de crue :

4.1. Calcule de l'intensité de pluie pour les différentes fréquences :

$$I = \frac{Ptc}{Tc}$$

I : Intensité de pluie en (mm/h).

Ptc : Pluie de courte durée en (mm).

Tc : Temps de concentration en heure.

Tableau 12. L'intensité de pluies fréquentielles au bassin versant de Garaet el Taref

période de r	Ptc	Tc	I (mm/h)
5	6,328	23,14	0,273
10	86,308	23,14	3,729
50	223,204	23,14	9,644
100	312,339	23,14	13,496

L'intensité de pluie est estimée à 0.273 mm/h pour une période de retour de 5 an, l'intensité centennale est de l'ordre de 13.496 mm/h.

4.2. Débit de crue fréquentiel :

Le choix du coefficient de ruissellement se fait à partir des caractéristiques du Bassin Versant. Dans notre cas on adopte une valeur de 0,8.

Tableau 13. Débits de crue fréquents au bassin versant de Garaet el Taref

période de retour T (an)	Ce	I (tc)	Qmax	Qmax TURRAZA	Qmax GIANDOTTI
5	0,8	0,273	134,379	147,585	191,038
10	0,8	3,729	1832,822	2012,935	2605,593
50	0,8	9,644	4739,914	5205,708	6738,400
100	0,8	13,496	6632,766	7284,572	9429,333

D'après les résultats présentés dans le tableau précédent, on remarque :

Une différence significative entre la formule de GIANDOTTI dans l'estimation du débit potentiel maximum par rapport à la formule de TURRAZA,

Cette différence dépend des paramètres utilisés par chaque méthode.

Cette variation des résultats souligne la sensibilité des méthodes empiriques aux caractéristiques des bassins étudiés ainsi qu'à la durée de la période de retour. Il convient également de noter que chaque méthode a son propre domaine de validité.

En fait, ces valeurs qui semblent très élevées représentent la somme des débits de tous les cours d'eau qui diversifient dans le lac (Garaat el Tarf) qui est le seul exutoire du bassin.

4.3. Hydro gramme de crue :

L'évolution du débit de crue est clairement illustrée dans les courbes hydrologiques suivantes. Le débit se concentre progressivement jusqu'à atteindre un maximum, puis décroît rapidement.

- Pour le temps de montée :

$$Q(t) = Q_{max} * \left(\frac{T}{T_m}\right)^2$$

- Pour le temps la décrue :

$$Q(t) = Q_{max} * \left(\frac{T_d - T}{T_d}\right)^3$$

Avec :

Q(t) : Débit courant en m³/s

Q_{max} : Ordonnée maximale de l'hydro gramme.

t_m : Temps de montée en heure ; t_m = t_c

t_d : temps de décrue en heure ; t_d = 2t_c

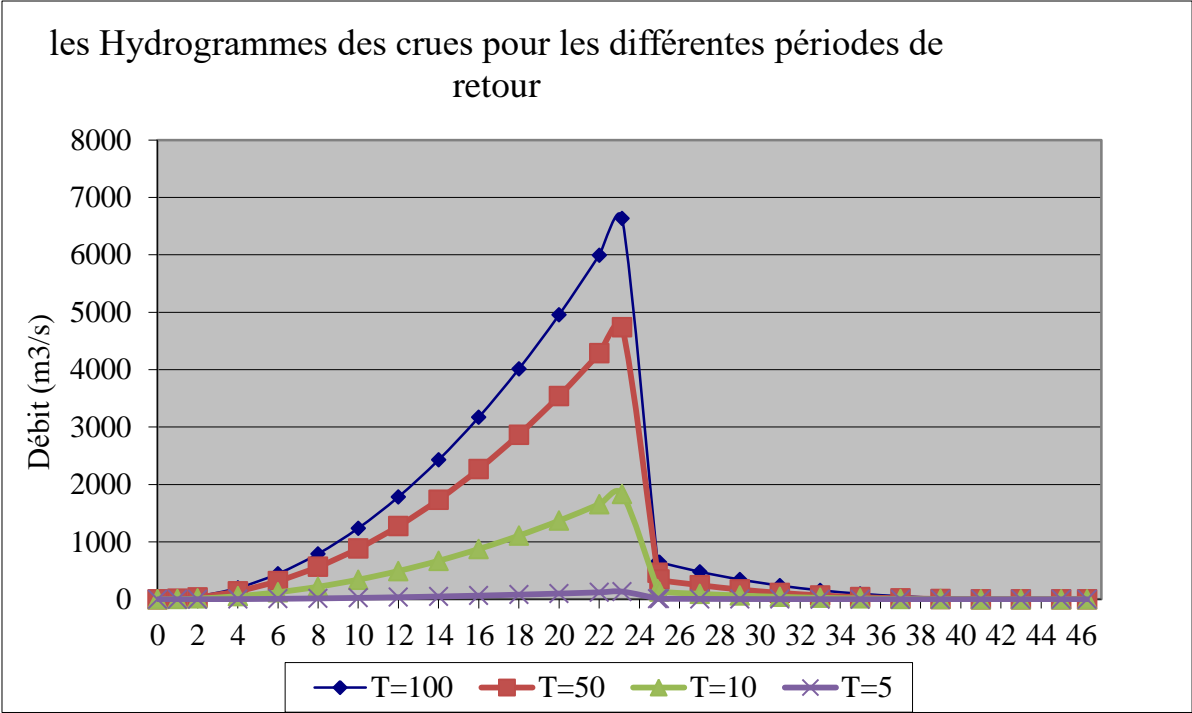


Figure 12. Hydro gramme de crues du sous bassin versant de Garaat el Tarf

Conclusion générale :

Au cours de l'étude des paramètres morpho métriques et hydrologique du bassin versant de Garaet el Tarf, on a obtenu les résultats suivants :

Le sous bassin de Garaet el Tarf est situé à l'extrême est du grand bassin des hautes plaines constantinoises, il couvre une superficie de 2428,99 km², avec un périmètre de l'ordre de 258,93km.

L'hypsométrie du bassin, montre que l'exutoire du bassin de Garaet El Tarf, se trouve à une altitude de 764 m, l'altitude maximale est de 2317 m alors que l'altitude moyenne est de 976,72 m. L'indice de pente global ($I_g = 4,92$) ; l'indice de pente de Roche ($I_p = 31,51$) et la dénivelé spécifique désignent un bassin à relief très faible. Les pentes fortes marquent surtout la bordure du bassin ainsi que la sebkha.

La densité de drainage du bassin est très faible (0,02 km/km²), ce qui signifie que l'infiltration est importante. La valeur de Vitesse de ruissellement est 2,10 (km/h)

Le temps de concentration du bassin de Garaet El Tarf est compris 23,14 h

Le climat du bassin versant de Garaet El Tarf, est de type semi-aride, avec une saison sèche, qui s'étale sur cinq mois (mai à septembre). Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 370.32 mm pour une température moyenne annuelle de 15.97 °C.

Le bilan hydrique du bassin effectué par la méthode de Thornthwaite pour la période (2000-2023). L'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de 363,8 mm.

Les formule de TURRAZ et de GIANDOTTI utilisées pour estimation des débits des crues pour les périodes de 5,10,20 et 100 ans ont données des valeurs très proches , avec un débit centennale successivement de 9419,33 et 7284.57 m³/s dans un période de retour de T= 100 ans.

Références

- Abdeddaïme, H. (2018). *Contribution à l'étude de l'influence de la structure du réseau hydrographique sur le risque hydrologique, cas des bassins de l'est de l'Algérie*. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider Biskra.
- Akka, H. (2019). *Etude de bassin versant D'oued Amter, Nord du Maroc*. Mémoire de fin d'étude. Maroc: Université Abdelmalek Essaadi. Maroc. 39p.
- Dakiche, A., & Benaini, B. (2011). Etude statistique des apports liquides et optimisation d'un réseau pluviométrique par analyse multidimensionnelle: le cas du bassin hydrographique de la Tafna. *Cahiers Géographiques de l'Ouest*. N° 11 décembre 2011.
- Benaza, C., & Benariba, K. (2013). *Etude de conception du barrage sur l'oued Sidi Aissa wilaya de Tessemssilt*. Mémoire de fin d'études: Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen.
- BenMansour, S., & Korichi, R. (2013). *Etude de l'évapotranspiration réelle liée à l'évapotranspiration potentielle et à la production agricole phœnicicole à l'échelle de l'écosystème de l'ITAS. Mise au point d'un modèle basé sur la consommation de l'eau et la production agricole*. Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah, Ouargla.
- Bouchelkia, H & Remini, B. (2003). Quantification du transport solide dans le bassin versant algérien du Chellif. *Sciences, Eaux & Territoires.*, 45-56.
- C.G.G.(Compagnie Générale de Géophysique). (1970). Prospection géophysique sur le plateau de Chéria, Service des études scientifiques, 26 p.
- Charles, R. (1975). La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique centrale. *ORSTOM*. Paris: pp 27-67
- Dubost, D. (1992). Aridité, agriculture et développement : le cas des oasis algériennes . *sécheresse* . n° 2. Vol. 3.
- Étienne, C & Claude, M. (1980). Approche statistique du coefficient d'écoulement et utilisation pour la prédétermination des crues, *La Houille Blanche*, 66:4-5, 251-258, DOI: 10.1051/lhb/1980022
- Ghodbane, M. (2009). *Etude de la contamination des eaux souterraines de la zone nord de Chemora par les nitrates (Est algérien)*. Mémoire de Magister. Université de Batna, Algérie

Kahal, A. (2019). *Hydrogéologie de l'aquifère dans la plaine de F'Kirina (Oum El Bouaghi, Nord-Est Algérien) et Evaluation des ressources en eaux mobilisables*. Thèse de doctorat, Université d'Annaba, Algérie. 138p.

Laborde, J. (2000). *Elément d'hydrologie de Surface*. Polycopie de cours. Université de Nice, France.

Dali, N.(2019). *Ressources Et Gestion Integree Des Eaux Du Bassin De Garaet El Tarf (W. Khenchela)*.

OMM. (2011). *Manuel sur la prévision et l'annonce des crues*. Genève, Suisse: OMM-N° 1072.

Serai, A., & Dellidj, M. (2021). *Changement Climatique en zone méditerranéenne et méthode d'estimation de la vulnérabilité des cultures Pr le biais de la modélisation et des indices d'aridité*. Mémoire de Master. Université Mohamed El Ibrahimi-B.B.A, Algérie.

www.persee.fr/doc/revec_0249-7395_1985_num_40_2_6588_t1_0281_0000_2