



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABBES LAGHROUR - KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
Département Ecologie et Environnement

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

FILIERE : Écologie Et Environnement

OPTION : Protection Des Ecosystèmes

Thème :

**Paramètres morphométriques et leur influence sur l'écoulement dans le
sous-bassin versant de Chemora
(03-07) (Hauts plateaux Constantinois)**

Présenté par :

LEDMI HADIL

REMADIA KHOULOU

ZIANI NAHED

Devant les membres de jury :

Ziouch Omar Ramzi Président MCA Université de Khenchela

Boulabeiz Mahrez Examineur MCA Université de Khenchela

Daifallah Tarek Encadreur MCA Université de Khenchela

Promotion : 2022/2023

REMERCIEMENT

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

Tout d'abord, nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage pour terminer ce travail.

Nous tenons à remercier sincèrement et très chaleureusement notre encadreur Monsieur TAREK DAIFALLAH pour son attention, sa gentillesse et son aide pédagogique et scientifique.

Nous remercions ainsi les membres du jury qui ont accepté de juger ce modeste travail.

Aussi je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères au corps professoral,

Pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer

À leurs étudiants une formation actualisée.

En fin nous sommes très reconnaissantes à toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou loin, en particulier tous nos professeurs.

Dédicace

Mais d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant tout d'abord parce qu'il m'a donné la volonté et la force de mettre fin à cette humble œuvre.

À la très tendre et plus grande mère et de ma mère qui me donne de l'amour, de la tendresse et de l'espoir et qui ne s'est pas arrêtée un instant pour me soutenir.

À mon cher père pour ses efforts et son soutien et la sécurité qu'il me donne et tous les sacrifices qu'il a faits Tous les mots ne suffisent pas pour le remercier.

À ma sœur Ikram et Samah et À mon frère Yazid et Tahar Pour leur soutien et leur amour constant pour moi

À mon fiancé Nabil pour son aide constante dans l'accomplissement de ce travail

À ma chère Safa et à ses enfants et Madiha, tata Akila

A toute ma famille pour leur soutien

À notre encadrant, M. Daifallah Tarak Pour sa fatigue et sa position toujours debout sur notre travail et son bon traitement merci beaucoup

À mes collègues et à tous ceux qui m'ont soutenu jusqu'à aujourd'hui

Et enfin je remercie ma partenaire HADIL, L qui ont contribué à accomplir notre humble travail

KHOULOUD

Dédicace

Mon parcours universitaire a pris fin après l'épuisement et les difficultés... et me voilà, complétant mes recherches de fin d'études avec vigueur et énergie.

Nous remercions Dieu Tout-Puissant qui nous a aidés à mener à bien cette recherche scientifique et qui nous a inspiré la santé et le bien-être. Louange à Dieu.

J'adresse mes sincères remerciements au propriétaire de la biographie parfumée et de la pensée éclairée. Il a été le premier crédit pour mes études supérieures (mon cher père et la prunelle de mes yeux). Que Dieu prolonge sa vie.

A celle qui m'a mis sur le chemin de la vie, et Dieu a mis le paradis sous ses pieds, et elle a pris soin de moi, à celle qui m'a pris par la main jusqu'à ce que je devienne vieux (la lumière de mes yeux est ma mère bien-aimée), que Dieu bénisse son âme.

A ceux qui sont mon soutien dans les petits comme dans les grands, mes frères Omar Mustafa et Yasser

Et mes bien-aimés sont Hadjer et Aicha, et les poussins Midou, Ibtihal et Issa

Tous nos remerciements et notre gratitude au superviseur, le Dr Daifallah Tarak, pour tous les efforts qu'il a déployés avec nous. Je vous le dis, vous êtes toujours fier de nous et des autres, et que Dieu vous bénisse

A mes partenaires dans l'accomplissement de ce travail, Khouloud et Nahed

A mes amis et connaissances de près ou de loin, à toute ma famille et à tous ceux qui m'aiment

Enfin, je tiens à remercier le Club Al-Firdaws pour le Saint Coran et tout le personnel administratif qui l'encadre.

HADIL

Dédicace

Je dédie ce modeste travail : À mes plus chers êtres au monde

Ma mère et mon père. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent. Que Dieu leur procure une bonne santé et une longue vie.

A mes chers frères : Sami, Khair El-Din

À mes chères sœurs : Rihab, Baraa, Rahil et Maysoon

Et dédicace spéciale à mes neveux : Arslan Malik, Sajid Bayazid et Remal.

A mon encadreur : Tarek Daifallah

A mes amis avec qui j'ai passé un bon moment, quelques événements remplis de joie et de bonheur durant 5 années d'études universitaires que je n'oublierai jamais.

Nahed

Résumé

L'eau est l'élément le plus abondant sur terre et un facteur essentiel pour les organismes vivants.

Notre étude a porté sur l'analyse morphométrique et hydrologique des sous-bassins versants d'Al-Chemora, Wilaya de Batna, afin d'estimer les débits de l'Oued Chemora en raison du manque d'une série récente de données dans la zone d'étude. Cette étude est réalisée à l'aide du logiciel (Arc Gis 10.8) et des méthodes empiriques.

Cette analyse montre que le sous-bassin versant d'Al-Chemora a une forme allongée. La zone d'étude est caractérisée par un climat chaud et semi-aride, le réseau hydrographique a de nombreuses ramifications. La majeure partie du bassin est caractérisée par une faible pente estimée à 68% .La quantité de précipitations est estimée à une moyenne annuelle de 308,67 mm. Les valeurs des débits des crues probables obtenues varient d'une méthode à une autre.

Mots Clé : Chemora ; Arc Gis10.8, Bassin versant, précipitations, crue.

Abstract :

Water is the most abundant element on earth and an essential factor for living organisms.

Our study focused on the morphometric and hydrological analysis of the sub-watersheds of Al-Chemora, Wilaya of Batna, in order to estimate the flows of Oued Chemora in absence of a recent series of data in the study zone. This study is carried out using software (Arc Gis 10.8) and empirical methods.

This analysis shows that the Al-Chemora subwatershed has an elongated shape. The study area is characterized by a hot and semi-arid climate. The river system has many ramifications. Most of the basin is characterized by a low slope estimated at 68%. Precipitation is estimated at an annual average of 308.67 mm. The values of probable flood obtained vary from one method to another.

Keywords: Chemora; Arc Gis (10.8); Watershed, Precipitation, flood.

ملخص:

الماء هو العنصر الأكثر وفرة على وجه الأرض وعامل أساسي للكائنات الحية. ركزت دراستنا على التحليل المورفومتري؛ و الهيدرولوجي لمستجمع المياه في الشجرة بولاية باتنة بسبب نقص بيانات التدفق في منطقة الدراسة. أجرينا تحليلات مورفومترية وهيدرولوجية ومناخية باستخدام نظام المعلومات الجغرافية. (قوس نظم المعلومات الجغرافية 10.8). و طرق تجريبية.

يوضح هذا التحليل أن مستجمعات المياه الفرعية في الشجرة لها شكل ممدود. تتميز منطقة الدراسة بمناخ حار وشبه جاف. نظام النهر له العديد من التفرعات كما يتميز معظم الحوض بمساحات قليلة الانحدار تقدر ب 68%. ويقدر هطول الأمطار بمتوسط سنوي قدره 308.67 ملم. من الضروري معرفة توزيع هطول الأمطار من وقت لآخر لتحديد فترات الفيضانات الحرجة. و مستويات التدفق المحتملة خلال الفيضانات تختلف حسب طريقة الحساب.

كلمات مفتاحية : الشجرة ، قوس نظم المعلومات الجغرافية(10.8) ، مستجمعات المياه، الامطار ، الفيضان.

Table des matières

| | |
|--|-----|
| <i>REMERCIEMENT</i> | II |
| <i>Dédicace</i> | III |
| Résumé | 1 |
| Table des matières..... | 2 |
| Liste Des Tableaux | 5 |
| Liste de Figure :..... | 6 |
| INTRODUCTION GENERALE | 7 |
| MATERIELS ET METHODES..... | 9 |
| I. Description de la zone d'étude..... | 9 |
| 1. Définition de sous bassin versant : | 9 |
| 2. La situation géographique : | 9 |
| 3. Les ressources en eau : | 10 |
| 4. Le climat | 11 |
| II. Caractéristiques morpho métriques du sous bassin versant : | 11 |
| 1. Périmètre : | 11 |
| 2. La surface :..... | 11 |
| 3. Indice de compacité de GRAVELUS : | 12 |
| 1. Le rectangle équivalent : | 12 |
| 2. Le relief :..... | 12 |
| 1.1. Les altitudes caractéristiques : | 13 |
| 2. Caractéristiques du réseau hydrographique : | 15 |
| 3. Densité de drainage (Dd)..... | 15 |
| 4. Dénivelée simple (D) | 16 |
| 5. Temps de concentration | 16 |
| III - Etude de climatologie | 17 |
| 1. Données et Méthodes | 17 |
| 1.1 Données..... | 17 |
| 1.2 Station retenue | 17 |
| 2.1 Précipitations | 17 |
| 2.2 Températures..... | 17 |
| 3. Indice climatique..... | 17 |
| 3.1 L'indice d'aridité de De Martonne | 17 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 4. | L'Evapotranspiration..... | 18 |
| 4.1. | Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) | 18 |
| 4.2. | Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) | 19 |
| 5. | Le vent | 20 |
| IV | Etude de l'écoulement dans le sous bassin versant | 20 |
| 1. | Etude des apports liquides | 20 |
| 1.1 | Apport moyen annuel..... | 20 |
| 1.2. | Coefficient de variation..... | 21 |
| 1.3. | Distribution mensuelle des apports liquides..... | 22 |
| 2. | Etude des apports solides | 22 |
| 3. | Etude de crue..... | 22 |
| 3.1. | Calcul des débits maximums de crue | 22 |
| 3.2. | Hydrogramme de crue | 24 |
| | RESULTATS ET DISCUSSION..... | 26 |
| I | Etude morphométrique du sous bassin versant | 26 |
| 1. | La Surface et Périmètre..... | 26 |
| 2. | Indice de Compacité de GRAVELIUS..... | 26 |
| 3. | Le Rectangle équivalent | 26 |
| 4. | Les Altitudes..... | 26 |
| 5. | Les pentes | 28 |
| 5.1. | L'indice de pente de roche Ip | 28 |
| 5.2. | L'indice de pente moyenne | 29 |
| 5.3. | L'indice de pente global Ig..... | 29 |
| 6. | Le temps de concentration (Tc) | 31 |
| II | Etude de Climatologie | 32 |
| 1. | Les Paramètres climatologie | 32 |
| 1.1 | Précipitations | 32 |
| 1.2 | Températures :..... | 33 |
| 1.3. | Relation précipitation – température (Courbe OMBRO-thermique)..... | 34 |
| 1.4. | La formule du quotient d'EMBERGER (EMBERGER, 1955)..... | 34 |
| 1.5. | Indice d'aridité de MARTONE..... | 35 |
| 1.6. | L'évapotranspiration | 36 |
| 1.7. | Le vent | 37 |

| | |
|--|----|
| III Etude de l'écoulement de sous bassin versant | 38 |
| 1. Etude des apports liquides | 38 |
| 1.1. Apport moyen annuel | 38 |
| 1.2. Coefficient de variation : | 39 |
| 2. Etude des apports solides | 39 |
| 2.1. Formule de TIXERANT 1960 | 39 |
| 2.2. Formule de SOGREAH | 39 |
| 3. Estimation fréquentielle des pluies journalières maximales | 40 |
| 4. Etude de crue | 41 |
| 4.1. Calcul de l'intensité de pluie pour les différentes fréquences | 41 |
| 4.2. Débit de crue fréquentiel | 41 |
| 4.3. Hydro gramme de crue : | 42 |
| CONCLUSION GENERALE | 44 |
| Références | 45 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| TABLE 1 STATION CLIMATIQUE DE BATNA | 17 |
| TABLE 2 FORMULES EMPIRIQUES UTILISEE DANS LE CALCUL DE L'APPORT MOYEN ANNUEL EN EAU | 21 |
| TABLE 3 FORMULES UTILISEE DANS LE CALCUL DU COEFFICIENT DE VARIATION DE L'ECOULEMENT DANS LE BASSIN | 21 |
| TABLE 4 LES ALTITUDES ET LES SURFACES DE SOUS BASSIN VERSANT CHEMORA | 27 |
| TABLE 5 LES PENTES ET LES SURFACES DE SOUS BASSIN VERSANT CHEMORA | 29 |
| TABLE 6 RELATION ENTRE PRECIPITATION TEMPERATURES BATNA (2003-2022)..... | 34 |
| TABLE 7 VALEUR DE L'INDICE D'ARIDITES DE LA WILAYA DE BATNA | 36 |
| TABLE 8 VALEUR L'EVAPORATION MENSUELLE | 36 |
| TABLE 9 BILAN HYDRIQUE CALCULE PAR LA METHODE DE THORNTHWAITE (2003-2022) | 36 |
| TABLE 10 FREQUENCE MOYEN ANNUELLE | 37 |
| TABLE 11 FORMULES ET APPORTS MOYEN ANNUELLE..... | 38 |
| TABLE 12 LE COEFFICIENT DE VARIATION DES APPORTS EN EAU..... | 39 |
| TABLE 13 PLUIE DE COURTE DUREE EN (MM)..... | 40 |
| TABLE 14 L'INTENSITE DE PLUIES FREQUENTIELLES | 41 |
| TABLE 15 DEBIT DE CRUE FREQUENTIEL OBTENU PAR LA METHODE DE TURRAZA | 41 |

Liste des figures :

| | |
|---|----|
| FIGURE 1 CARTE DE SITUATION GEOGRAPHIQUE DE CHEMORA | 10 |
| FIGURE 2 CARTE HYSOMETRIQUE DU SOUS BASSIN VERSANT CHEMORA..... | 27 |
| FIGURE 3 COURBE HYSOMETRIQUE DU SOUS BASSIN VERSANT DE CHEMORA | 28 |
| FIGURE 4 CARTE DE PENTE LE SOUS BASSIN VERSANT DE CHEMORA | 30 |
| FIGURE 5 CARTE DE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU SOUS BASSIN VERSANT DE CHEMORA | 31 |
| FIGURE 6 PRECIPITATION MOYENNE MENSUELLE DE LA WILLAYA DE BATNA..... | 32 |
| FIGURE 7 PRECIPITATION ANNUELLE A LA STATION DE BATNA..... | 32 |
| FIGURE 8 TEMPERATURE MOYENNES MENSUELLES..... | 33 |
| FIGURE 9 TEMPERATURE ANNUELLE MOYENNE | 33 |
| FIGURE 10 DIAGRAMME OMBRO-THERMIQUE | 34 |
| FIGURE 11 REPRESENTATION DE L'ETAGE CLIMATIQUE DE BATNA SELON LE CLIMAGRAPHE D'EMBERGER..... | 35 |
| FIGURE 12 VARIATION MENSUELLES DES RESULTATS DU BILAN HYDRIQUE..... | 37 |
| FIGURE 13 VITESSE MOYENNE DES VENTS DURANT LA PERIODE (2003-2022) | 38 |
| FIGURE 14 HYDROGRAMME DR CRUES D'UN DE SOUS BASIN VERSANT CHEMORA..... | 42 |

INTRODUCTION GENERALE

Les précipitations sont la principale source de cette eau, mais ces phénomènes font parfois courir de grands risques aux populations tel que les inondations ce problème n'est pas nouveau car il touche la plupart des pays et révèle un grand danger dans la plupart des régions du monde (Abdeddaïme, 2018).

Le changement climatique que le monde a connu ce dernier siècle, à comme conséquences l'augmentation de la fréquence des pluies extrêmes et rares, ces dernières génèrent des crues et des inondations dévastatrices. Des crues éclair peuvent également se produire après une période de sécheresse, lorsque de fortes pluies tombent sur un sol très sec et compact dans lequel l'eau ne parvient pas à pénétrer (OMM, 2011).

L'Algérie par sa vaste superficie, sa diversité et sa variabilité de climat de méditerranéen au nord, à semi-aride à l'intérieur jusqu'à saharien aride au sud, est fortement exposée aux risques d'inondations, (à Bab-El-Oued, 2001 on a recensé 752 morts, une centaine de disparus et des dégâts matériels estimés à 33 milliards de dinars ; à Ghardaïa, 2008 plus de 30 morts et plusieurs milliards de dinars).

La meilleure façon pour faire face à ce phénomène, c'est de réaliser des études de prédiction et de prédétermination des débits de crue de différentes périodes de récurrence, tels études exigent une connaissance solide des composantes morphologiques, hydrographiques et hydro-climatiques des bassins. Afin de mieux comprendre la genèse et la dynamique des processus induits par la structure du réseau hydrographique dans le cas des inondations, il est impératif de raisonner à une échelle spatiale, plus intégrée, prenant en compte tout le bassin versant, où on accorde un intérêt particulier à la composante morfo-structurale des bassins-versants et leurs effets sur la réponse hydrologique (Abdeddaïme & Benkhaled, 2016)

La notion débit de projet concerne dans la plupart des cas dans les études hydrologiques (barrage, routes et ponts, réseaux d'assainissement ...) un débit de crue d'un temps de retour bien défini, l'étude hydrologique s'appuie donc sur des mesures hydrométriques (débit des rivières,) de longues durées.

Considérant que l'Algérie fait partie des pays en voie de développement, elle souffre d'un déficit important en termes de mesure hydrologique, de lacunes dans les séries des données, des périodes d'observation très courtes ou carrément l'absence des stations de jaugeage dans les bassins versants. Ce qui rend le recours à des approches d'études qui basent sur des méthodes analogiques, des formules empiriques ou des modèles pluies-débits s'avère indispensable. Un modèle pluie-débit permet de

concevoir, à partir des chroniques de pluies observées, des débits qui soient les plus proches possibles des débits réels, c'est à dire à partir des observations de pluie tombée, on peut arriver à prédire la réponse en débit du bassin. L'objectif principal de ce travail est d'appuyer sur des méthodes hydrologiques capables de nous rendre compte de l'écoulement et estimer les débits de crues de différentes périodes de récurrence dans les sous-bassins de l'Oued Chemora, suivant le plan de travail suivant :

Étape 1 : Étudier formellement le sous-bassin et déterminer les caractéristiques morphologiques à l'aide de l'outil SIG (ARC GIS 10.8).

Étape 2 : Étudier les caractéristiques hydrologiques et climatiques de notre sous-bassin.

Étape 3 : Estimer les apports liquides et solides et déterminer les débits de crue par des méthodes empiriques basées sur les relations pluie-débit.

Notre étude se termine enfin par une conclusion générale.

MATERIELS ET METHODES

I. Description de la zone d'étude

1. Définition de sous bassin versant :

Laborde en 2000 définissent un bassin versant dans une section d'un cours d'eau comme la superficie drainée par le cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Toute exécution provenant de l'intérieur de cette surface, doit traverser le tronçon considéré, que l'on appelle l'exutoire poursuivant son parcours vers l'aval.

2. La situation géographique :

Le sous bassin versant de la plaine de Chemora est situé au cœur des hautes plaines de Constantine ; à mi-chemin entre les hauteurs du tell Constantinois et celles de l'Aurès. Cette plaine est à Cheval sur les Wilayets de Batna (Communes de Chemora et Boulhilet), Et Oum El Bouaghi (Communes de Ain-Kercha et Boughrara Saoudi). Cette zone se trouve à 54 Km au Nord-est de la wilaya de Batna, à 108 Km au Sud-Ouest de Constantine et 448 Km au Sud-est d'Alger.

Cette région limitée au Nord par les communes d'Oued Zaouïa, El-Harmalia, Ain Kercha et Ain Fakroun, au Nord-Est (Wilaya d'Oum El- Bouaghi), à l'Est par les communes de Ain- zitoune (Wilaya d'Oum el-Bouaghi) et commune de R'Mila (Wilaya de Khenchela), au Sud par les communes de Ouled fadhel (Toufana) et Timgad et à l'Ouest par les communes d'El-Madher et Boumia.

Le sous bassin versant de la plaine de Chemora fait partie du bassin versant des « Hauts Palataux Constantinois » code 0307 par l'ANRH. Le secteur d'étude est situé entre les longitudes 6°15' et 6°40' Est et les latitudes 35°20' et 35°40' Nord (Fig.1).

Naturellement le sous-bassin de Chemora est limité au Nord par Djebel Djebel Marhsel, et Djebel Annk Djemel, à l'Est par la Chaîne de Montagnes formée par Djebel Fedjoudj et Merzeklal, au Sud par les Hautes plaines bateneennes et Djebel Amrane et à l'Ouest par Djebel Bouarif (Bourirhsène) et Djebel Sidi Ahmed Ben Bouzid (Ghodbane, 2009).

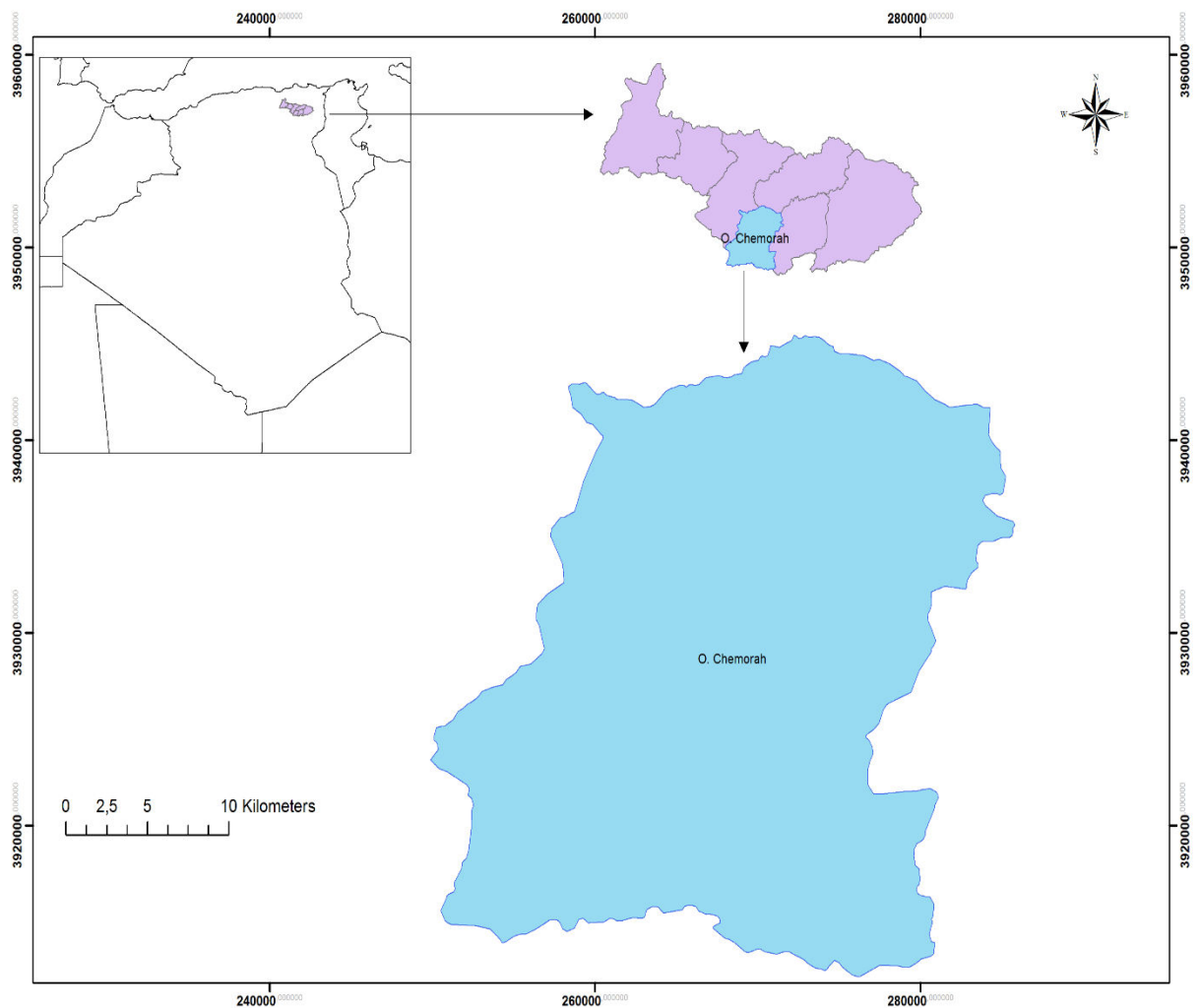


Figure 1 Carte de situation géographique de Chemora

3. Les ressources en eau :

La ressource en eau de la région de Chemora est d'origine souterraine de deux aquifères différents :

L'un superficiel jusqu'à 50 m de profondeur exploité par plus de 95 puits dont 25% sont utilisés pour A.E.P et l'irrigation et 75% sont utilisés purement pour l'irrigation.

L'autre profond exploité par plus de 112 forages (de 50m à 250m); dont 15% sont utilisés pour l'A.E.P et 85% sont utilisés pour l'irrigation.

La ressource mobilisable est de l'ordre de : 7.169.000 m³/an (Ghodbane, 2009).

4. Le climat

La région a un climat continental avec des hivers secs et pluvieux Étés secs, chauds et semi-arides. Les températures sont variables d'une saison à l'autre, avec une température moyenne de 15,4° avec des dilatations parfois très importantes. Les précipitations sont faibles et irrégulières d'année en année, avec une moyenne de 307 mm. Les vents sont dirigés par les massifs montagneux voisins comme les Aurès et Bellezma. Les vents de Khamaseen soufflent durant le mois de mai et durent entre 20 et 40 jours (Ghodbane, 2009).

II. Caractéristiques morpho métriques du sous bassin versant :

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement global et en particulier le temps de réponse du bassin versant car divers paramètres morphologiques du bassin (superficie, altitude, formes des unités hydrologiques, pente, topographie, etc.) sont inclus, et souvent combinés, dans les modèles d'écoulement.

Dans notre étude, le logiciel ArcGis 10.8 avec des cartes MNT a été utilisé pour tracer les différentes cartes et pouvoir calculer les paramètres suivants :

1. Périmètre :

Le périmètre est tracé sous forme de courbe sur une carte cartographique, mais selon l'échelle de la carte, les détails sont plus ou moins nombreux ce qui entraîne des différences de mesures.

Où il est considéré comme une caractéristique plus importante. Elle est obtenue en mesurant des surfaces planes sur une carte topographique après avoir tracé des limites topographiques et éventuellement des limites hydrogéologiques. Différentes caractéristiques des pannes.

2. La surface :

La surface topographique est le paramètre le plus important, elle permet de contrôler l'intensité de certains phénomènes hydrologiques (écoulement, précipitation ou infiltration...).

3. Indice de compacité de GRAVELUS :

Le coefficient « Gravelius » K_G ou l'indice de compression K_c (c'est-à-dire qu'à la sortie des eaux de ruissellement des différentes parties du bassin au moment de la concentration, on tient compte de la vitesse de la plus grande et de la plus petite concentration) tel que défini par M. Roche, 1963 comme le rapport de la circonférence du bassin versant à la circonférence du cercle qu'ont la même surface, elles déterminent dans une certaine mesure la forme de l'hydrogramme de crue.

Il est calculé par la formule suivante :

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

Avec :

K_G : indice de compacité de GRAVELIUS

A : surface du bassin versant (km^2)

P : Périmètre du bassin versant (km)

1. Le rectangle équivalent :

On suppose que le débit sur un bassin donné est le même que sur un rectangle de même superficie, le même indice de Gravelius, la même distribution altimétrique, les mêmes répartitions de sol et de végétation de matériau et la même densité de drainage. Soit L et I la longueur et la largeur du rectangle, respectivement, et soit A le périmètre et l'aire du bassin versant.

On a:

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

$$I = \frac{Kc \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

2. Le relief :

L'effet du relief sur l'hydrologie est encore plus évident, car de nombreux paramètres Modifications hydrométéorologiques en fonction de l'altitude et de la

morphologie du bassin versant. Sur la carte, le relief est indiqué par des courbes de niveau reliant des points d'égale élévation. Il est nécessaire déterminer la répartition des bassins versants selon des tranches d'élévation afin de pouvoir effectuer des calculs divers paramètres de relief (Akka, 2019).

1.1. Les altitudes caractéristiques :

1.1.1. Les Altitudes maximale, minimales, H5%, H50% et H95% :

Altitude limite maximale est le point le plus élevé atteint par le bassin tandis que le point le plus bas est considéré comme la corrélation minimale, H5% , H50% (médiane) et H95% représentent les altitudes correspondantes aux surfaces cumulées 5%, 50% et 95% sur la courbe hypsométrique.

1.1.2. Altitude moyenne :

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

$$H_{moy} = \frac{\sum A_i \times h_i}{A}$$

Avec :

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin (m) ;

A_i : Aire comprise entre deux courbes de niveau (km²) ;

h_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m) ;

A : Superficie totale du bassin versant (km²).

1.2. Les pentes :

L'un des principaux facteurs pour l'étude de la géomorphologie et de l'écoulement dans un bassin versant est l'analyse des pentes.

1.2.1. Indice de pente globale :

Représente le rapport entre l'altitude comprise entre les altitudes H5% -H95% et la longueur de rectangle équivalente entre 95% et 5% de surface du bassin. La formule suivante fourni indice de pente globale :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

Avec :

$D = H_{5\%} - H_{95\%}$

I_g : l'indice de pente globale % ;

L : 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 du bassin versant :

Le calcul de la pente moyenne nous fournit un ensemble d'informations sur la topographie du bassin versant afin qu'il nous donne une indication du temps de trajet de l'écoulement direct et donc du temps de concentration, en cas de pluie lente le débit de pointe est directement affecté (Akka, 2019).

Elle est déterminée par la formule suivante :

$$P_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Avec :

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

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

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

L : La longueur du rectangle équivalent (Km).

1.2.3. Indice de pente de M. Roche :

Cet indicateur montre l'influence du facteur pente sur le régime hydrologique du bassin versant. Où il est exprimé comme suit :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{a_i \cdot d_i}$$

Avec :

I_p : Indice de pente de roche (%);

L : longueur du rectangle équivalent (m);

A_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 (D_s) :

L'indice I_g diminue pour un même bassin, car il est difficile de comparer des bassins de tailles différentes lorsque la surface augmente, d'où la nécessité d'introduire la notion de dénivelé spécifique (Ghodbane, 2009).

Qui s'exprime dans la formule suivante :

$$D_s = I_g * \sqrt{A}$$

Avec :

I_g : indice de pente globale (%);

A : Surface du bassin versant (km^2).

2. Caractéristiques du réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est l'une des caractéristiques les plus importantes d'un bassin et se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires qui participent à l'écoulement. Cela peut prendre plusieurs formes. La différenciation du réseau hydrographique du bassin est due à quatre facteurs principaux : la structure géologique prédominante dans le bassin, le climat qui règne dans la région, la pente du terrain et l'influence de l'action humaine sur le tracé du réseau à travers l'emplacement des différentes installations hydraulique.

3. Densité de drainage (D_d)

Chaque réseau de drainage à une densité de drainage et elle est définie comme étant la somme des longueurs de tous les systèmes fluviaux à la superficie du bassin versant, elle est calculée selon la formule suivante :

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Avec :

Dd : densité du drainage (km/km²) ;

L : longueur totale des cours d'eau (km) ;

A : superficie totale du bassin (km²).

4. Dénivelée simple (D)

Sur la courbe de mesure du déficit de traceur, on prend la distance verticale en (m), qui sépare les dénivelés contenant 5% et 95% de la surface totale du sous bassin versant, le dénivelé simple est :

$$D = H_{5\%} - H_{95}$$

D : Dénivelée simple (m) ;

H_{5%} : altitude correspondante à 5% du surface (m) ;

H_{95%} : altitude correspondante à 95% du surface (m).

5. Temps de concentration

Le temps de concentration est défini comme le temps nécessaire à une goutte d'eau pour tomber le plus loin du bassin versant pour atteindre l'exutoire, et est exprimé par la formule de GIANDOTTI (S.ET.HY.CO., 1985) qui a la forme suivante :

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5Lp}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec :

Tc : temps de concentration (heure) ;

A : superficie totale du bassin (km²) ;

H_{moy} : Altitude moyenne (m) ;

H_{min} : Altitude minimale (m) ;

Lp : longueur du talweg principale (km).

III - Etude de climatologie

1. Données et Méthodes

1.1 Données

Notre étude climatologique se base sur les données climatiques pour la période (2003_2022) station de l'office national de météorologie (ONM) de Batna.

1.2 Station retenue

Nous avons choisi la station la plus proche de l'emplacement, qui est Batna, dont les caractéristiques sont indiquées dans le tableau suivant :

Table 1 Station climatique de Batna

| Démontions | Latitude | Longitude | Altitude (m) | Période d'observation |
|------------|----------|-----------|--------------|-----------------------|
| Batna | 35.55°N | 6.18°E | 1052 | 2003-2022 |

2. Les Paramètres climatiques

2.1 Précipitations

L'un des éléments fondamentaux du cycle de l'eau est la pluviométrie (Soltani, 2020).

Dans cette étude, nous nous concentrerons uniquement sur les précipitations liquides (pluie), qui sont le facteur principal du comportement hydrologie de la région. elles sont relativement insignifiantes, variables et peu fréquentes d'année en année (Ghodbane, 2009).

2.2 Températures

L'un des principaux facteurs pour caractériser le type de climat de la zone d'étude, il entre dans le calcul des différents indices climatiques.

3. Indice climatique

3.1 L'indice d'aridité de De Martonne

L'indice d'aridité annuelle de De Martonne est défini comme

Suit :

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

Avec :

T : Température moyenne annuelle en (°C) ;

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

Cet indice, parfois appelé indice de sécheresse de De Martonne, peut être calculé également mensuelle et donne une indication du degré de sécheresse associé à la demande moyenne d'évaporation de l'atmosphère est approximativement égale à la température (Serai & Dellidj, 2021).

4. L'Évapotranspiration

On appelle évapotranspiration réelle (notée par la suite ETR), la quantité d'eau, généralement exprimée en millimètres, évaporée ou transpirée par le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant. L'évapotranspiration potentielle (notée par la suite ETP) est la quantité d'eau qui serait évaporée ou transpirée à partir d'un bassin versant si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était pas un facteur limitant (Laborde, 2000).

4.1. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

Elle correspond à la volatilité maximale de l'air, plusieurs formules ont été développées pour évaluer l'ETP, dans notre mémoire on a opté deux méthodes :

4.1.1. Formule de Turc

Cette formule ne nécessite que la connaissance des températures de l'air et de la radiation globale ou de la durée d'insolation. Cette formule est la suivante :

$$ETP = 0.4 \times \frac{t}{t + 15} \times (I_g + 50) \times K$$

Avec :

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

t : 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 proposée par THORNTHWAITE basée essentiellement sur les températures de l'air :

$$ETP = 16 \times \left(10 \times \frac{t}{I}\right)^a \times K \text{ avec } i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}, \quad I = \sum_1^{12} i$$

$$\text{et } a = \frac{1.6}{100} \times I + 0.5$$

4.2. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

De même, plusieurs formules sont proposées, dans notre cas on a choisi les méthodes simples suivantes :

4.2.1. Formule de TURC

Cette relation est en fonction des précipitations et des températures moyennes mensuelles, la forme 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 du bilan simplifier de Thornthwaite

Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (notée par la suite RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU) ; cette eau peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes. La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100 mm). On admet que la satisfaction de l'ETP a priorité sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant (ETP = ETR). Par

ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement (Laborde, 2000).

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

5. Le vent

Cette section traite du vecteur vent moyen horaire soutenu (vitesse et direction) à 10 mètres au-dessus du sol. Le vent observé à un endroit donné dépend fortement de la vitesse et de la direction instantanée du vent qui varie plus que la moyenne horaire. Et vent chaud), en été il peut souffler pendant 20 jours en juillet (Bitam, 2012).

IV Etude de l'écoulement dans le sous bassin versant

Cette partie essentielle de notre travail, basée sur les résultats obtenus dans les parties précédentes (caractéristiques du bassin et paramètres climatiques), les calculs sont faits par des formules purement empiriques et des modèles pluie-débit à l'aide d'une application sur Excel (Caractéristiques BV) téléchargeable sur le Web.

1. Etude des apports liquides

1.1 Apport moyen annuel

L'identification de ces apports est mieux dirigée vers les observations hydrologiques, lorsqu'elles existent dans le bassin versant spécifique du site d'étude ou par analogie avec un bassin versant voisin. En l'absence de ces derniers, il faudrait appliquer des modèles empiriques et des formules basées sur les précipitations, qui dépendent des précipitations et des déficits.

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

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 :

Table 2 Formules empiriques utilisée dans le calcul de l'apport moyen annuel en eau

| Auteur | Formule |
|---------------------|---|
| Formule de SAMIE | $Le = P_0(293 - 2.2) \quad A_0 = Le \cdot S$ |
| Formule de COUTAGNE | $\lambda P^2 - P^2 = D$ $\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$ $Le = P - D$ $A_0 = Le \cdot S$ |
| Formule de DERY II | $A_0 = 0.513 \cdot P_{moy}^{2.683} \cdot D_d^{0.5} \cdot S^{0.842}$ |
| Formule de l'ANRH | $A_0 = 0.915 \cdot P_{moy}^{2.684} \cdot S^{0.842}$ |
| Formule de MEDINGER | $Le = 1.024 (P_{moy} - 0.26)^2$ |
| Formule de TURC | $Le = P_{moy} - D$ |

P_{moy}, P, P_0 : Pluie moyenne annuelle (mm) ;

D : Déficit de l'écoulement (mm) ;

S : surface du bassin versant en (Km^2) ;

D_d : Densité de drainage (Km/Km^2) ;

L : Variable théorique ; $L = 300 + 25 T_{moy} + 0.05 (T_{moy})^3$

T_{moy} : Température moyenne annuelle ($^{\circ}C$).

1.2.Coefficient de variation

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 | $Cv = 0.78 - 0.29 \log M_0 - 0.063 \log (S + 1)$ |
| Formule d'OURKGUIPROVODKHOZ | $Cv = 0.7/(M_0)^{0.125}$ |
| Formule d'ANTONOV | $Cv = 0.7/(S+1000)^{0.097}$ |
| Formule de KRISTEKLY MENKEL | $CV = 0.83 / (S^{0.06} \cdot M_0^{0.23})$ |
| formule d'Algérienne de N.N PADOUN | $Cv = 0.93 K / M_0^{0.23}$ |
| | |

Avec :

M_0 : Module de l'écoulement relatif ;

S : Superficie du bassin (Km^2) ;

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

1.3.Distribution mensuelle des apports liquides

L'expérience confirme complètement la règle selon laquelle la distribution des écoulements dans un bassin soumis à un régime méditerranéen unique est ordonnée selon les mêmes lois statistiques que la distribution des précipitations dans le bassin correspondant (Benaini, 2011).

2. Etude des apports solides

L'estimation des apports de matières en suspension est faite à partir du débit moyen journalier liquide, du débit total d'une crue et de la dissociation de la crue (augmentation et diminution) (Bouchelkia & Reminib, 2003).

3. Etude de crue

Étant donné que nous ne disposons pas d'observations hydrologiques évaluables, pour déterminer l'hydrologie des crues avec une certaine fréquence, il faut utiliser des méthodes basées sur formule empirique, formule avec paramètres estimés pour le bassin pente apprise (Mecibah & Zouini, 2008).

Comme il est indiqué auparavant, les débits de crues probables vont être calculés par des formules de types rationnelles.

3.1. Calcule des débits maximums de crue

Deux formules empiriques sont retenues dans notre étude.

3.1.1. Formule de TURRAZA

Cette formule utilise les précipitations en tenant compte du temps de concentration de la zone d'étude

Exprimée par :

$$Q_{\max} T\% = . I (tc.T).S / 3.6$$

Avec :

$Q_{\max} (\%)$: débit maximum de crue en m^3/s de même fréquence que celle de la pluie de courte durée ;

S : superficie du bassin versant (Km^2) ;

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 tient compte des lois d'écoulement basées sur caractéristiques morphologiques du bassin versant ainsi que le temps concentration. Cette recette a donné des résultats positifs en Algérie.

$$Q_{\max} \% = C.S. (H_{moy} - H_{min})^{1/2} / 4.(S)^{1/2+1.5.L} . P_{tc}\%$$

Avec :

$Q_{\max} (\%)$: débit maximum de crue en m^3/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. Hydrogramme de crue

Un hydrogramme est une courbe qui représente l'évolution du débit de la crue dans le temps en un point donné d'un cours d'eau. La forme générale de l'hydrogramme de crue est en forme de cloche Asymétrique. La courbe hydrologique de crue est composée de :

Courbe de concentration : C'est la courbe de montée de la crue.

Débit de pointe : C'est le pic hydrographique de la crue.

Courbe de décrue : la partie de descente de la courbe de crue.

3.2.1. Temps de concentration :

Le temps de concentration est défini comme le temps nécessaire à une goutte d'eau pour tomber le plus loin du bassin versant pour atteindre l'exutoire, et est exprimé par la formule de GIONDOTTI.

3.2.2. Temps de montée

Correspond à la durée de la montée (courbe de crue) ou le temps que met le débit depuis le début de l'écoulement de surface jusqu'à son maximum. Ce temps, qui est une caractéristique des cartes hydrographiques, peut être mesuré lors d'épisodes pluviométriques relativement brefs qui produisent des cartes hydrographiques typiques (Nestor, 2014). Pendant la montée le débit est calculé par la formules suivante :

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

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

Représente la contribution des aires de stockage après la fin des excès de pluie. Cette partie de l'hydrogramme illustre la diminution naturelle du ruissellement due au ruissellement de surface (Nestor, 2014), et le débit instantané peut être calculé comme suit :

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

Avec :

Q_i descente : Débit de la décrue à un instant donné (m^3/s) ;

Q_{\max} : Débit maximal fréquentiel de la crue (m^3/s) ;

T_d : le temps de décrue $T_d=2T_c$;

T : Intervalle de temps (heure).

RESULTATS ET DISCUSSION

I - Etude morphométrique du sous bassin versant

1. La Surface et Périmètre

La Surface du sous bassin versant 765.45 Km², Le périmètre du sous bassin versant 145.13 Km.

2. Indice de Compacité de GRAVELIUS

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

$$K_G = 1.47$$

Le sous bassin versant est donc de forme allongé cette forme induit de faibles débits de pointe lors des crues.

3. Le Rectangle équivalent

La longueur équivalente **L** est égale à **59.76 km** et la largeur équivalente **I** a été déduite **I=12.81km**

4. Les Altitudes

La carte suivante représente l'hypsométrie de la zone d'étude, les altitudes sont classées en sept tranches d'une équidistance de 200(m). On constate que les plus hautes altitudes se trouvent en Sud-Ouest de la zone avec des altitudes qui dépassent les 2300 (m), le Nord-Est du bassin caractérisé par des altitudes varies de 800 à 1100 (m).

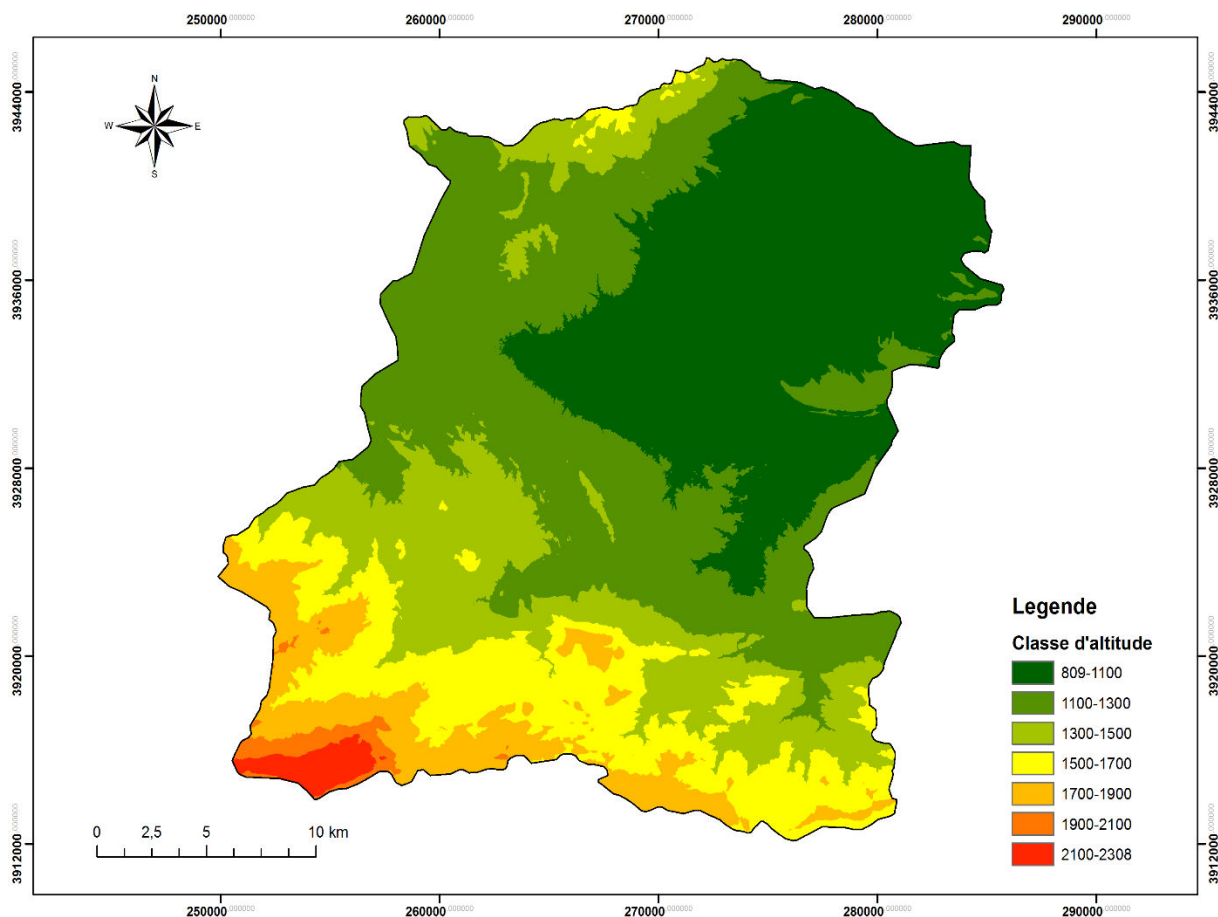


Figure 2 Carte hypsométrique du sous bassin versant Chemora

Le tableau suivant présente les surfaces partielles et cumulées en (Km²) et en (%) en fonction des tranches d'altitude.

Table 4 Les altitudes et les surfaces de sous bassin versant Chemora

| Classe | Tranches d'altitude | Superficies partielles (km ²) | Superficies partielles (%) | Superficies cumules (%) |
|--------|---------------------|---|----------------------------|-------------------------|
| 1 | 803-1100 | 234.53 | 30.64 | 30.64 |
| 2 | 1100-1300 | 225.99 | 29.52 | 60.16 |
| 3 | 1300-1500 | 130.54 | 17.06 | 77.22 |
| 4 | 1500-1700 | 102.91 | 13.45 | 90.67 |
| 5 | 1700-1900 | 55.33 | 7.22 | 97.89 |
| 6 | 1900-2100 | 7.87 | 1.02 | 98.91 |
| 7 | 2100-2308 | 8.24 | 1.07 | 99.98 |

A partir du tableau, on constate que plus de 60% de la surface du bassin caractérisé par des altitudes comprises entre 800 et 1300 m d'altitude.

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

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i \times h_i}{A}$$

$$H_{moy} = 1274.15 \text{ m}$$

Altitude max 2308 m

Altitude min 809 m

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

$H_{5\%} = 850 \text{ m}$; $H_{95\%} = 1800 \text{ m}$; $H_{50\%} = 1274.15 \text{ m}$ (médiane).

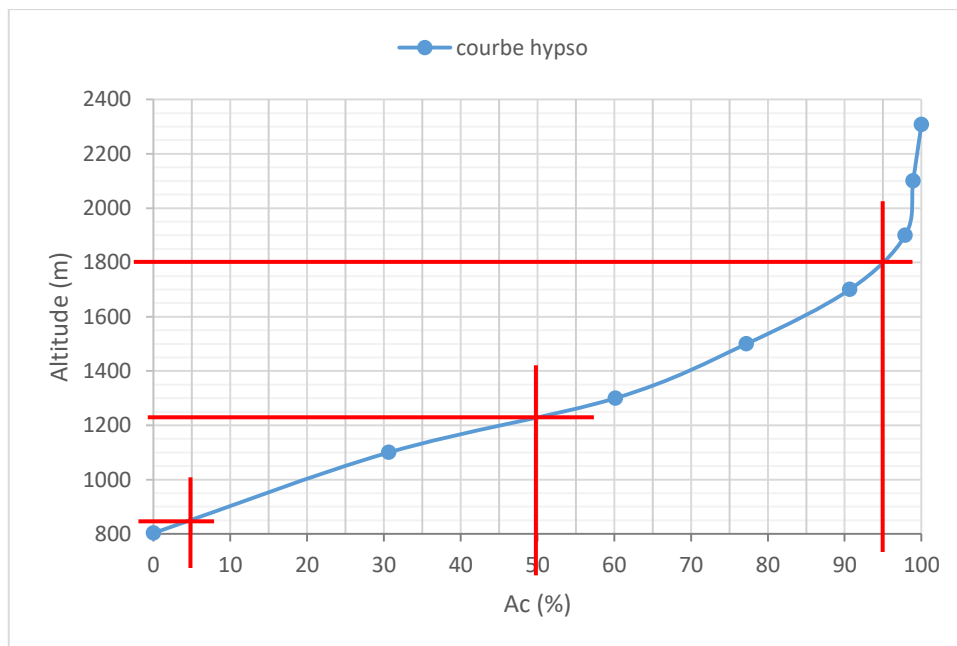


Figure 3 Courbe hypsométrique du sous bassin versant de Chemora

5. Les pentes

Afin de calculer des indices de pente dans le bassin versant,

5.1.L'indice de pente de roche I_p

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{a_i \cdot d_i}$$

$I_p = 4.52 \%$

Table 5 Les pentes et les surfaces de sous bassin versant Chemora

| Elévation courbe de niveau m | Superficie entre les courbes km² | a_i | d_i Différence d'altitude | a_id_i | Racine de a_id_i |
|---|--|----------------------|--|-----------------------------------|---|
| 803-1100 | 234.35 | 0.3064 | 297 | 91.001 | 9.53 |
| 1100-1300 | 225.99 | 0.2952 | 200 | 59.000 | 7.68 |
| 1300-1500 | 130.54 | 0.1706 | 200 | 34.120 | 5.84 |
| 1500-1700 | 102.91 | 0.1345 | 200 | 26.800 | 5.17 |
| 1700-1900 | 55.33 | 0.0722 | 200 | 14.400 | 3.79 |
| 1900-2100 | 7.87 | 0.0102 | 200 | 2.040 | 1.42 |
| 2100-2308 | 8.24 | 0.0107 | 208 | 2.220 | 1.48 |
| Σ | | | | | 34.91 |

5.2.L'indice de pente moyenne

C'est le rapport entre la dénivelée et la longueur du rectangle équivalent :

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

$$I_{pm} = 23.43 \text{ m/km}$$

5.3.L'indice de pente global Ig

$$I_g = \frac{D}{L}$$

$$H_{5\%} = 850\text{m}$$

$$H_{95\%} = 1800\text{m}$$

$$D = 950 \text{ m} \quad \text{donc } I_g = 15.90 \text{ m/km}$$

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

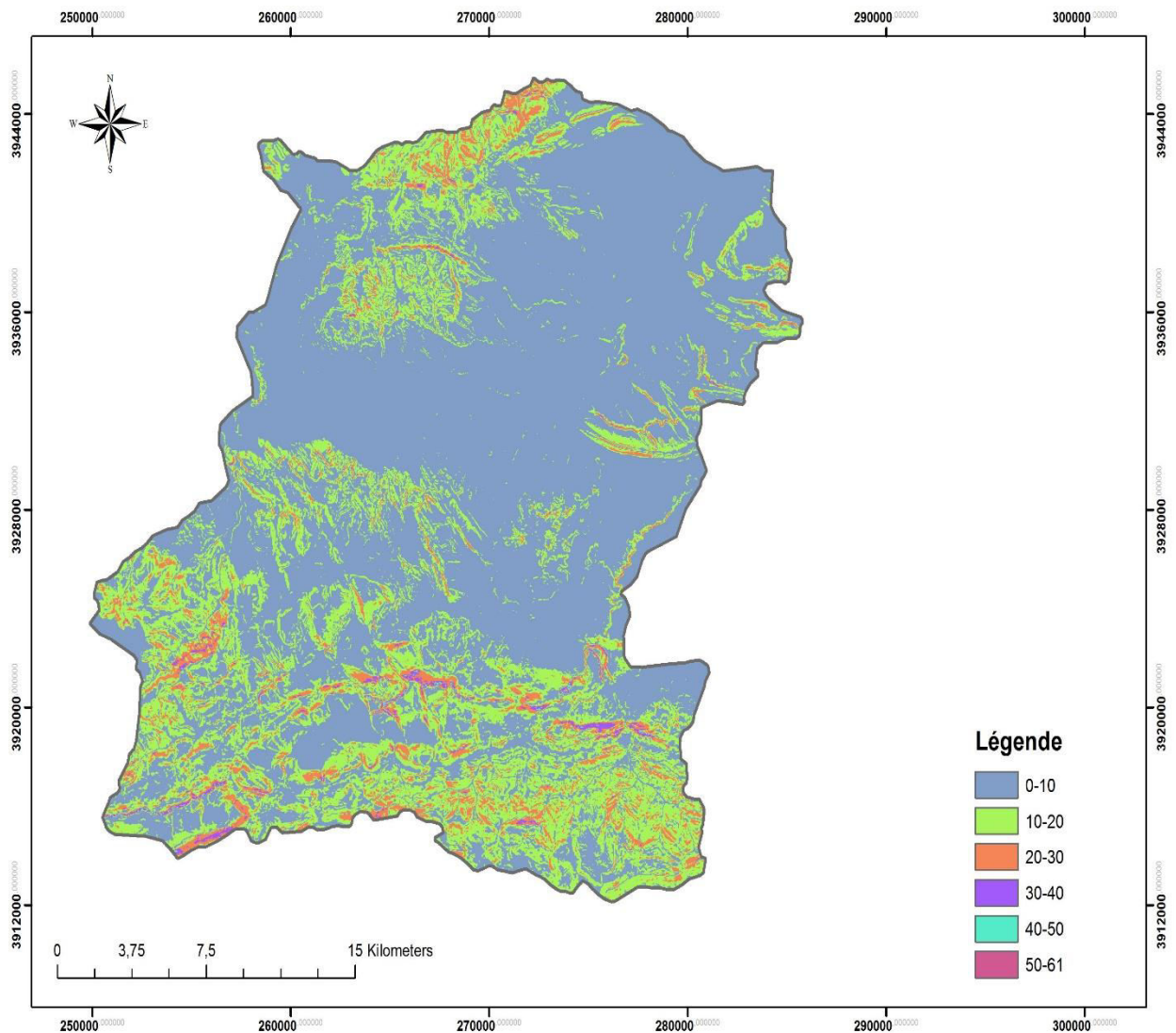


Figure 4 Carte de pente le sous bassin versant de Chemora

La grande part du bassin est caractérisée par de faibles pentes entre (0-10 km) soit environ 68% de la superficie du bassin.

Constitution du réseau hydrographique

La carte suivante montre le réseau hydrologique du bassin de CHEMORA, établi par ArcGis à partir d'un MNT du sous bassin versant, une classification du réseau par la méthode de Strahler a été également utilisée.

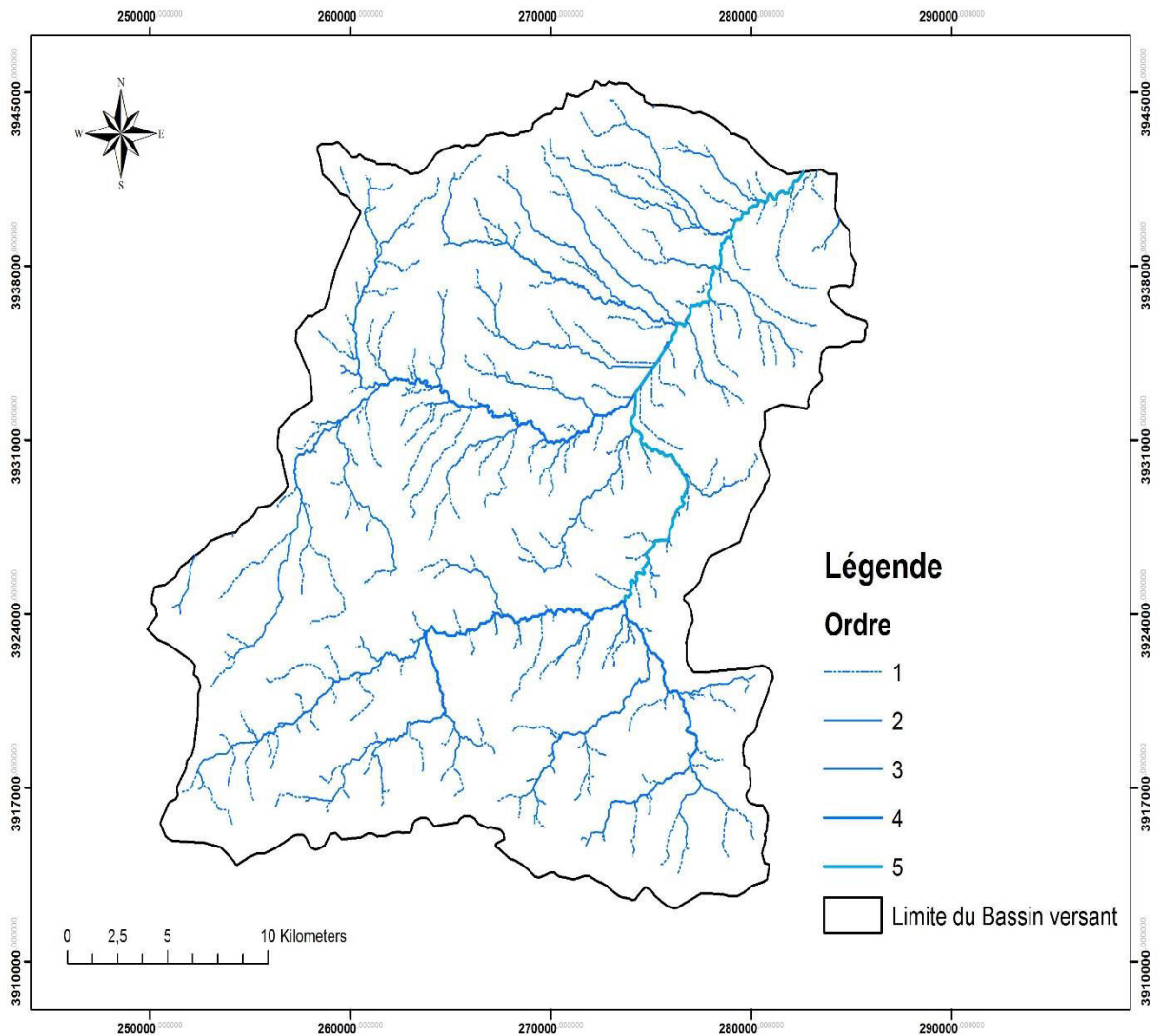


Figure 5 Carte de réseau hydrographique du sous bassin versant de Chemora

D'après cette carte, notre bassin est d'ordre 5. La longueur du talweg principale est estimée à 58 km.

6. Le temps de concentration (Tc)

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5Lp}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Tc= 6.72 heures

Le temps de concentration dans le bassin et de l'ordre de 6.72 heures.

II Etude de Climatologie

1. Les Paramètres climatologie

1.1 Précipitations

Les données pluviométriques que nous allons traiter relevées à la station météorologique de Batna sont réparties sur une période de (2003-2022).

1.1.1. Précipitation moyenne mensuelle

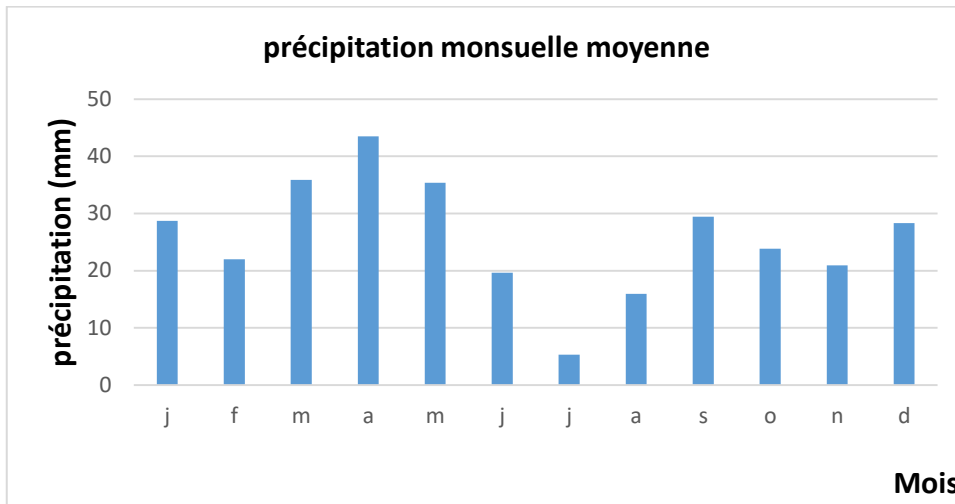


Figure 6 Précipitation moyenne mensuelle de la willaya de Batna

On constate que :

Le printemps est la saison la plus pluvieuse, tandis qu'Avril est le mois le plus pluvieux, avec une moyenne de 43.48 mm. Par contre, la saison d'irrigation la plus basse est l'été, où elle atteint 5 mm pour Juillet.

1.1.2. Précipitation annuelle moyenne

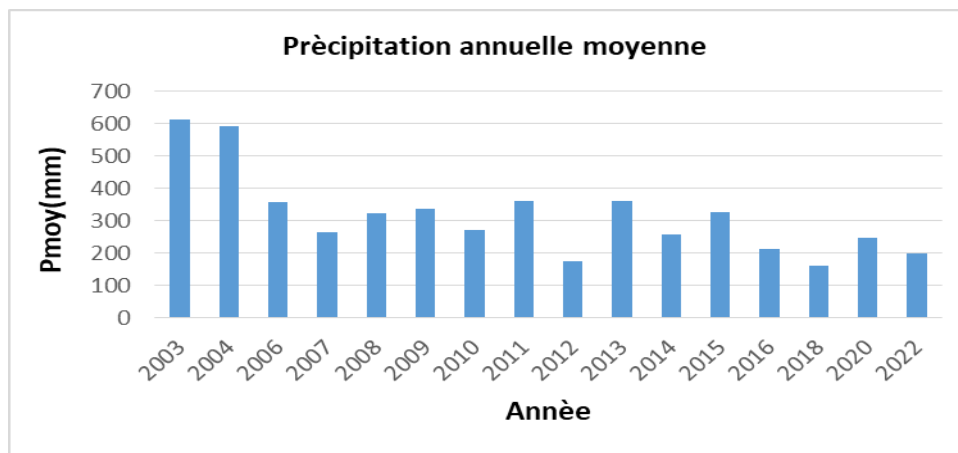


Figure 7 Précipitation annuelle à la station de Batna

- La courbe des variations moyennes annuelles des précipitations montre que :
- L'année la plus pluvieuse 2003 avec une moyenne annuelle 610.86mm
- L'année la plus sèche est 2018 avec une moyenne annuelle 162.82mm

Il est noté que la pluie moyenne interannuelle sur la période d'observation est de l'ordre de 308.7 mm.

1.2 Températures :

1.2.1. Température moyennes mensuelles

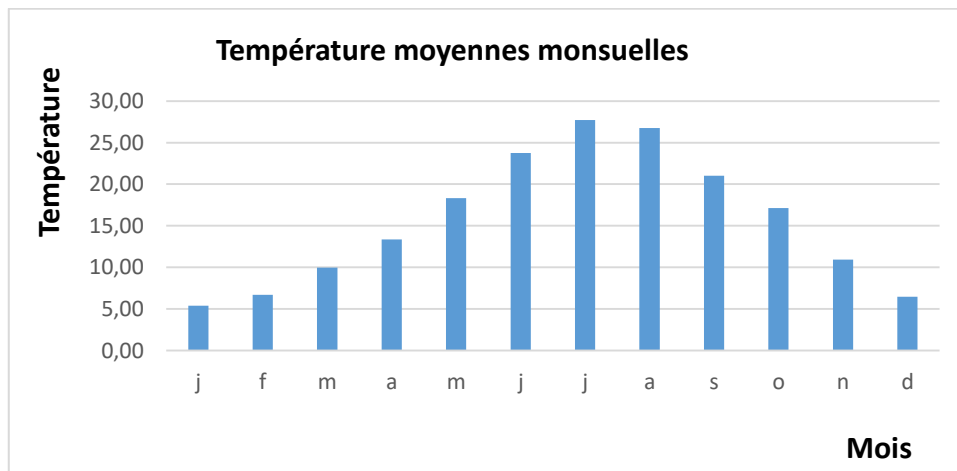


Figure 8 Température moyennes mensuelles

L'examen des valeurs du tableau montre que le mois le plus froids est Janvier avec 5.39°C, tandis que le mois le plus chaud est juillet avec 27.73 °C.

1.2.2. Température annuelle moyenne

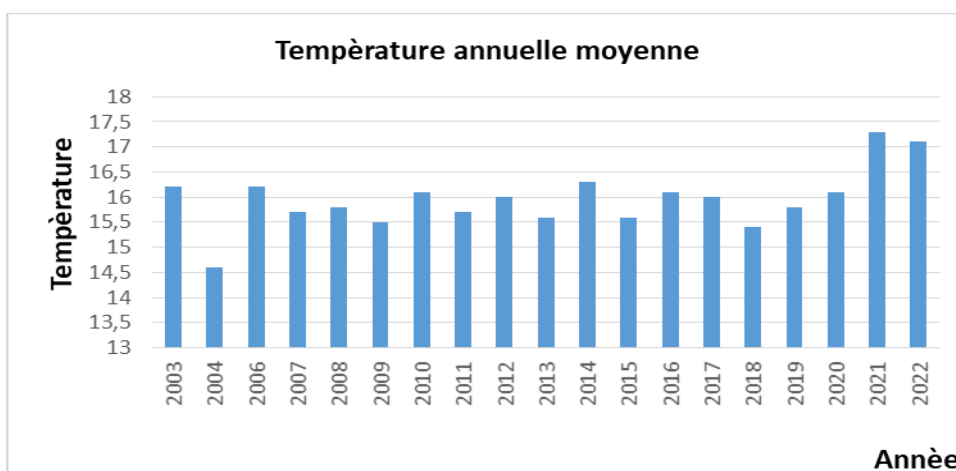


Figure 9 Température annuelle moyenne

On constate :

Au cours de la période de 2003 à 2022, les températures ont varié de sorte que la température la plus basse a été enregistrée en 2004 et la température la plus élevée en 2021.

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

La courbe OMBRO-thermique distinguer la période humide et la période sèche.

Table 6 Relation entre précipitation températures Batna (2003-2022)

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P (mm) | 28,70 | 21,97 | 35,89 | 43,48 | 35,36 | 19,61 | 5,28 | 15,93 | 29,43 | 23,86 | 20,91 | 28,31 |
| T (°C) | 5,39 | 6,69 | 9,97 | 13,37 | 18,31 | 23,74 | 27,73 | 26,77 | 21,01 | 17,13 | 10,94 | 6,47 |

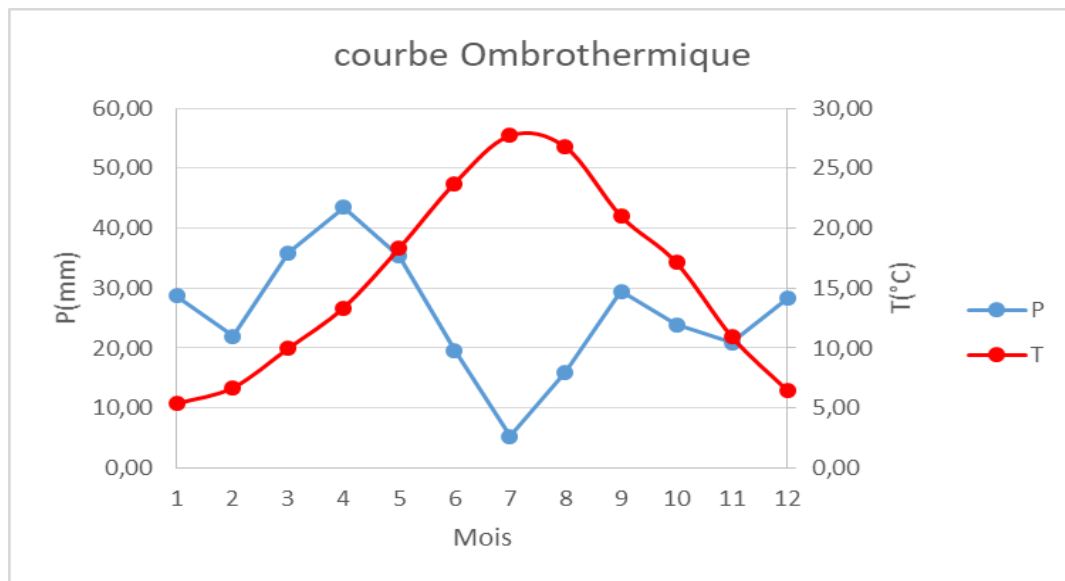


Figure 10 Diagramme OMBRO-THERMIQUE

Interprétation de la courbe

On constate que la région de Batna présente une période sèche compte 7 mois et en période humide comporte 5 mois (janvier, février, mars, avril, décembre).

1.4. La formule du quotient d'EMBERGER (EMBERGER, 1955)

Cet indice s'exprime comme suit :

$$Q = \frac{p}{\left(\frac{M+m}{2}\right) \times (M-m)} \times 100$$

Ce quotient a été simplifié par STEWART en 1969 :

$$Q_2 = 3.43 \times P / (M-m)$$

Q₂ : Quotient d'EMBERGER

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

M : Moyenne des maximums du mois le plus chaud ;

m : Moyenne des minimums du mois le plus froid.

T= 15.63°C P= 308.73 mm M=36.83 m=-0.12 Donc : Q₂ = 28.65

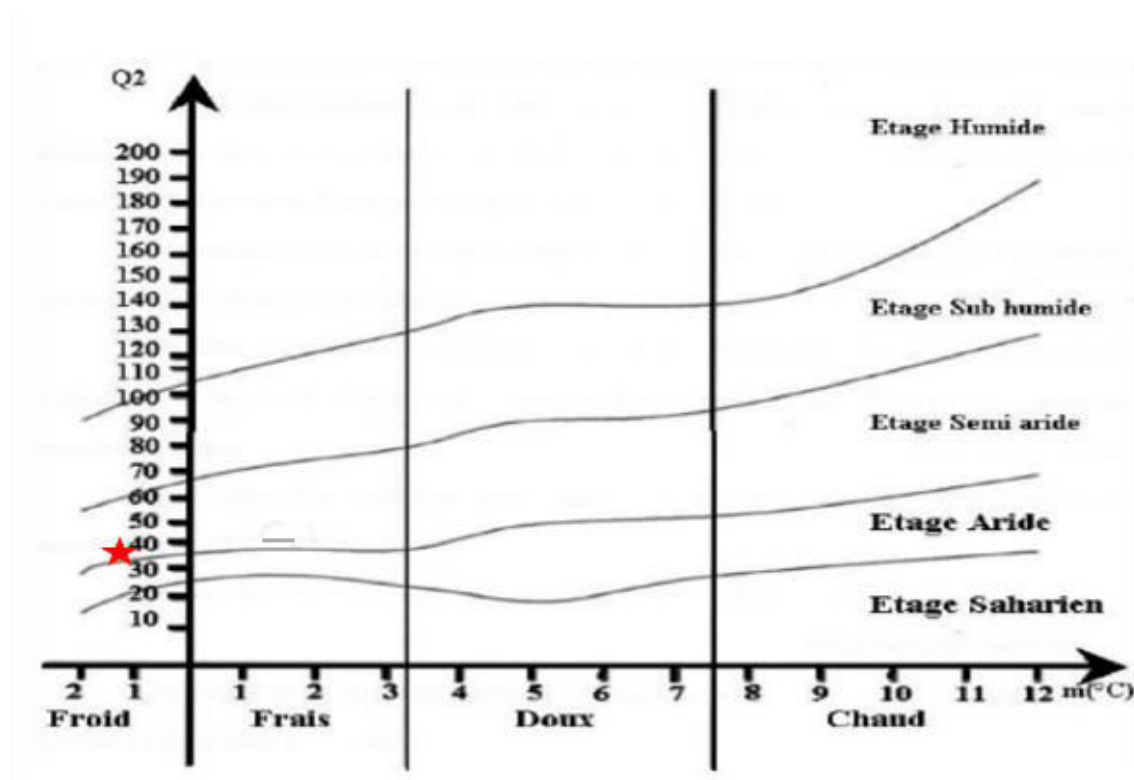


Figure 11 Représentation de l'étage climatique de Batna selon le climagraphe d'EMBERGER

Cette valeur indique que notre zone se trouve dans l'étage semi-aride.

1.5. Indice d'aridité de MARTONE

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

Ainsi suivant la valeur d'IM :

- ▶ 20<IM<30 climat tempéré
- ▶ 10<IM<20 climat semi- aride
- ▶ 7, 5<IM<10 climat steppique
- ▶ 5<IM< 7, 5 climat aride
- ▶ IM<10 climat hyper aride

Table 7 Valeur de l'indice d'aridités de la wilaya de Batna

| Station | P (mm) | T (°C) | IM |
|---------|-----------|---------|--------------|
| Batna | 308.73 mm | 15.63°C | 12.07 |

Le climat de Batna est de type semi- aride (IM=12.07)

1.6.L'évapotranspiration

Table 8 Valeur l'évaporation mensuelle

| mois | s | o | n | d | j | F | m | a | m | j | j | a | année |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|
| ETR (mm) | 29,4 | 23,9 | 20,9 | 14,1 | 11,6 | 16,7 | 33,2 | 50,9 | 67,1 | 19,6 | 5,3 | 15,9 | 308,7 |

Table 9 Bilan hydrique calculé par la méthode de THORNTHWAITE (2003-2022)

| Période | T _p (°C) | i | K | ETP _C (mm) | Pr (mm) | BH (mm) | CH | VR (mm) | RFU (mm) | ETR (mm) | DEF (mm) | EXC (mm) |
|---------|---------------------|------|------|-----------------------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|----------|
| S | 21,01 | 8,8 | 0,85 | 79,0 | 29,43 | -49,5 | -0,6 | 0,0 | 0,0 | 29,4 | 49,5 | 0,0 |
| O | 17,13 | 6,5 | 0,84 | 55,4 | 23,86 | -31,5 | -0,6 | 0,0 | 0,0 | 23,9 | 31,5 | 0,0 |
| N | 10,94 | 3,3 | 1,03 | 32,0 | 20,91 | -11,1 | -0,3 | 0,0 | 0,0 | 20,9 | 11,1 | 0,0 |
| D | 6,47 | 1,5 | 1,10 | 14,1 | 28,31 | 14,2 | 1,0 | 14,2 | 14,2 | 14,1 | 0,0 | 0,0 |
| J | 5,39 | 1,1 | 1,23 | 11,6 | 28,70 | 17,1 | 1,5 | 17,1 | 31,2 | 11,6 | 0,0 | 0,0 |
| F | 6,69 | 1,6 | 1,23 | 16,7 | 21,97 | 5,2 | 0,3 | 5,2 | 36,5 | 16,7 | 0,0 | 0,0 |
| M | 9,97 | 2,8 | 1,25 | 33,2 | 35,89 | 2,7 | 0,1 | 2,7 | 39,2 | 33,2 | 0,0 | 0,0 |
| A | 13,37 | 4,4 | 1,17 | 50,9 | 43,48 | -7,4 | -0,1 | -7,4 | 31,8 | 50,9 | 0,0 | 0,0 |
| M | 18,31 | 7,1 | 1,04 | 76,7 | 35,36 | -41,3 | -0,5 | -31,8 | 0,0 | 67,1 | 9,6 | 0,0 |
| J | 23,74 | 10,6 | 0,97 | 110,6 | 19,61 | -91,0 | -0,8 | 0,0 | 0,0 | 19,6 | 91,0 | 0,0 |
| J | 27,73 | 13,4 | 0,84 | 124,4 | 5,28 | -119,1 | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 5,3 | 119,1 | 0,0 |
| A | 26,77 | 12,7 | 0,83 | 115,8 | 15,93 | -99,9 | -0,9 | 0,0 | 0,0 | 15,9 | 99,9 | 0,0 |
| Année | 15,6 | 73,7 | | 720,5 | 308,7 | -411,8 | | | | 308,7 | 411,8 | 0,0 |

Sur la base de ce tableau, on remarque que le l'évapotranspiration potentielle est très élevée et dépasse largement l'apport pluviale à partir d'Avril jusqu'à le mois de Novembre, ce qui rend le sol vide à 100%, il est à noter aussi que ce dernier n'a jamais atteint son maximum même dans le mois le plus pluvieux, et ce c'est à cause de faibles pluies. À l'échelle annuelle, la totalité des eaux pluviales sont perdues par évapotranspiration, et aucun écoulement n'est enregistré. La figure 12 montre que le déficit agricole est important (411.8 mm annuellement) et atteint son maximum le mois de Juillet (119.1 mm).

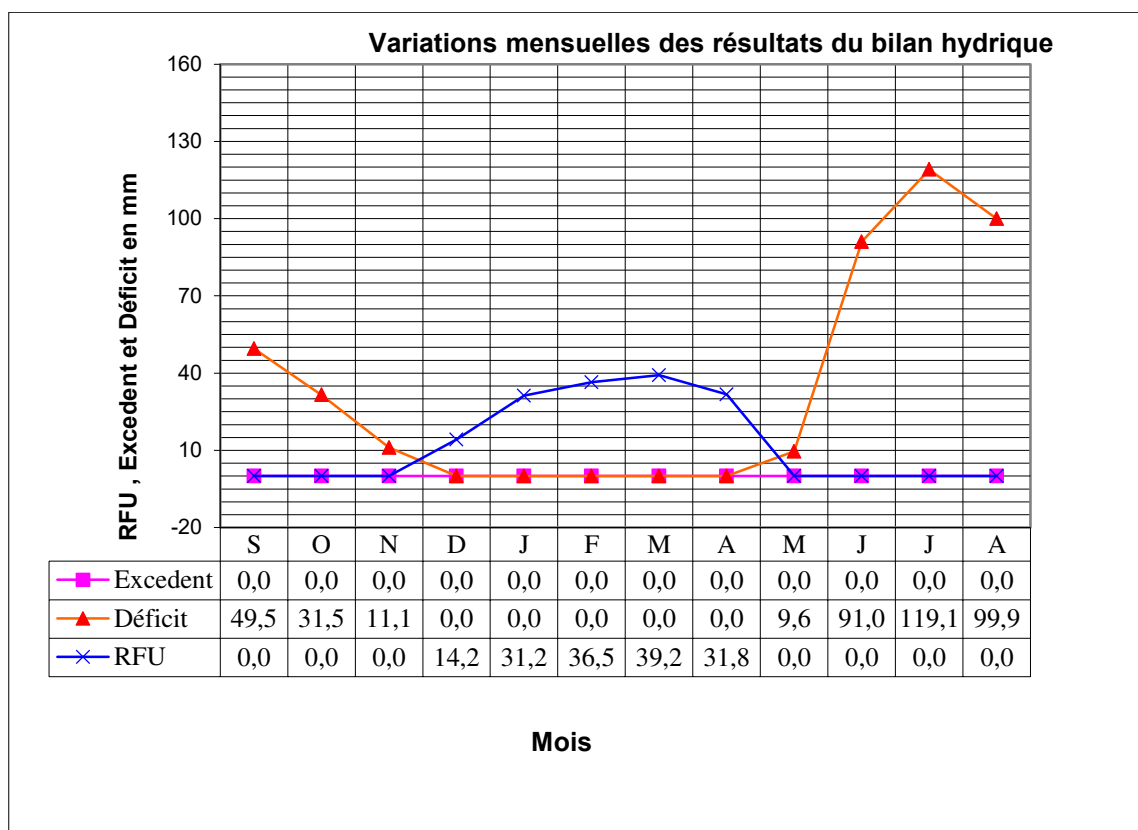


Figure 12 Variation mensuelles des résultats du bilan hydrique

1.7.Le vent

La caractéristique des vents est donnée d'après les résultats des observations sur la station météorologique de Batna.

Tableau 10 vitesse des vents moyens mensuels

| mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Vents | 3.3 | 3.0 | 3.1 | 2.8 | 3.0 | 3.6 | 3.5 | 3.5 | 3.2 | 3.6 | 3.6 | 3.4 |

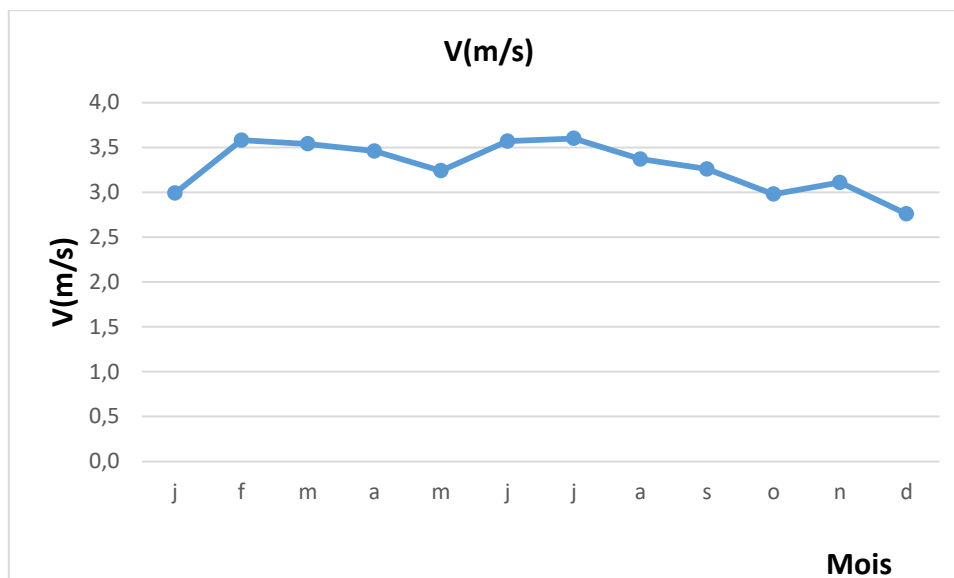


Figure 13 Vitesse moyenne des vents durant la période (2003-2022)

La vitesse moyenne des vents varie entre 2.8 et 3.6 m/s.

III 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 11.

Table 11 formules et apports moyen annuelle

| Formule | A moy (Mm ³) |
|---------------------|--------------------------|
| formule de SAMIE : | 16.93 |
| Formule de COUTAGNE | 24.48 |
| Formule de DERY II | 6.61 |
| Formule de l'ANRH | 10.45 |
| Formule de MEDINGER | 1.85 |
| Formule de TURC | 1.90 |
| Valeur moyenne | 10.37 |

Les formules donnent des valeurs très différentes, allant de 1.9 Mm³ (Turc) à 24.48 selon Coutagne, la formule de l'ANRH a donné une valeur moyenne de 10.45 Mm³.

1.2. Coefficient de variation :

Le coefficient de variation des apports en eau est varié entre 0.34 et 1.48 (voir tableau 12) selon la formule utilisée, la formule algérienne a donné une valeur de 1.28.

Table 12 Le coefficient de variation des apports en eau

| Formule | Cv |
|------------------------------------|------|
| formule de SOKOLVSKY | 1.05 |
| formule d'OURKGUIPROVODKHOZ | 1.10 |
| formule d'ANTONOV | 0.34 |
| formule de KRISTEKLY MENKEL | 1.48 |
| formule d'Algérienne de N.N PADOUN | 1.28 |
| Cv moy | 1.05 |

2. Etude des apports solides

L'érosion hydrique du sol est un processus au cours duquel des particules du sol sont détachées et déplacées par l'eau. Des quantités de matières solides peuvent être charriées chaque année, Dans cette partie, on va quantifier par deux méthodes empiriques simples.

2.1. Formule de TIXERANT 1960

Cette formule base sur la lame d'eau ruisselée et la perméabilité moyenne du bassin.

$$Es = 350.L00^{-15}$$

$$As = Es.S = 440197.38 \text{ t/an.}$$

Sur la période d'étude, l'érosion dans le bassin est estimée à 440 .10³ tonne chaque année.

2.2. Formule de SOGREAH

Cette formule prend en compte la perméabilité moyenne au niveau du bassin et l'écoulement moyen annuel en mm/an.

$$Ta = 350.R_0^{0.15}$$

$$Vs = Ta/S = 275123.36 \text{ m}^3/\text{an}$$

Le volume transporté annuellement est de l'ordre de 275000 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 :

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

cv : coefficient de variation de la pluie.

u : variable de Gauss centrée et réduite

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

$$P_{tc} = P_{jmax\%}(T_c/24)^{0.39}$$

Avec :

P tc : Pluie de courte durée en (mm) ;

Tc : Temps de concentration en heure.

Table 13 Pluie de courte durée en (mm)

| période de r | Pmaxj% | Tc | Ptc |
|--------------|---------------|-------------|---------------|
| 5 | 8,47 | 6,72 | 5,63 |
| 10 | 83,17 | 6,72 | 55,35 |
| 50 | 190,92 | 6,72 | 127,04 |
| 100 | 256,12 | 6,72 | 170,44 |
| 1000 | 587,90 | 6,72 | 391,21 |

Les pluies journalières maximales probables estimées passent de 8.47 mm pour une période de retour de 5 ans à 83.17 mm pour un temps de récurrence de 10 ans, la pluie centennale dépasse 256 mm par jour.

Le temps de concentration du bassin versant est de l'ordre de 6.72 heures, l'estimation donc des pluies maximale d'une durée égale à 6.72 h aboutie à des valeurs allant de 5.63 mm pour un temps de retour de 5 ans à 170.44 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

$$I = P_{tc}/T_c$$

I : Intensité de pluie en (mm/h).

Les résultats sont présentés dans le tableau 12, l'intensité varie de 0.84 mm/h pour la pluie de 5 ans à 25.36 mm/h pour la pluie centennale.

Table 14 L'intensité de pluies fréquentielles

| période de r | P _{tc} | T _c | I (mm/h) |
|--------------|-----------------|----------------|----------|
| 5 | 5,63 | 6,72 | 0,84 |
| 10 | 55,35 | 6,72 | 8,24 |
| 50 | 127,04 | 6,72 | 18,90 |
| 100 | 170,44 | 6,72 | 25,36 |

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.

Table 15 Débits de crue fréquents obtenus

| période de retour T (an) | C _e | I (tc) | Q _{max} | Q _{max} TURRAZA | Q _{max} GIANDOTTI |
|-----------------------------|----------------|--------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 5 | 0.8 | 0.84 | 113.85 | 99.64 | 47.43 |
| 10 | 0.8 | 8.24 | 1118.59 | 978.96 | 465.99 |
| 50 | 0.8 | 18.90 | 2567.60 | 2247.09 | 1069.62 |
| 100 | 0.8 | 25.36 | 3444.57 | 3014.60 | 1434.96 |

D'après les résultats présentés dans le tableau précédent, on constate que la formule de Turraza surestime le débit maximum probable par rapport à la formule de Giandotti. Cette différence dépend des paramètres utilisés par chaque méthode.

Boutoutaou et al (2011) ont analysé statistiquement les données des débits max instantanés de la station de Chemora sur une période de 26 ans (1968 -1994), les débits fréquents obtenues pour des périodes de retour de 10, 20, 50 et 100 an sont respectivement 157, 195, 260 et 323 m³/s.

Cette variabilité des résultats indique la sensibilité des méthodes empiriques aux caractéristiques des bassins étudiés et aux longueur de la période de retour, il est à noter aussi que chaque méthode a son domaine de validité.

4.3.Hydro gramme de crue :

L'évolution du débit de crue est clairement identifiée dans les courbes hydrologiques suivants, changeant progressivement la concentration du débit jusqu'à atteindre un maximum, la baisse se produit très rapidement.

L'hydrogramme de crue est réalisé suivant la méthode de Sokolovsky, d'où :

Pour le temps de montée : $Q(t) = Q_{max} \cdot (T/T_m)^2$

Pour le temps la décrue : $Q(t) = Q_{max} \cdot ((T_d - T)/T_d)^3$

Ou :

$Q(t)$: Débit courant en m^3 / s ;

Q_{max} : Ordonnée maximale de l'hydrogramme;

t_m : Temps de montée en heure ; $t_m = t_c$

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

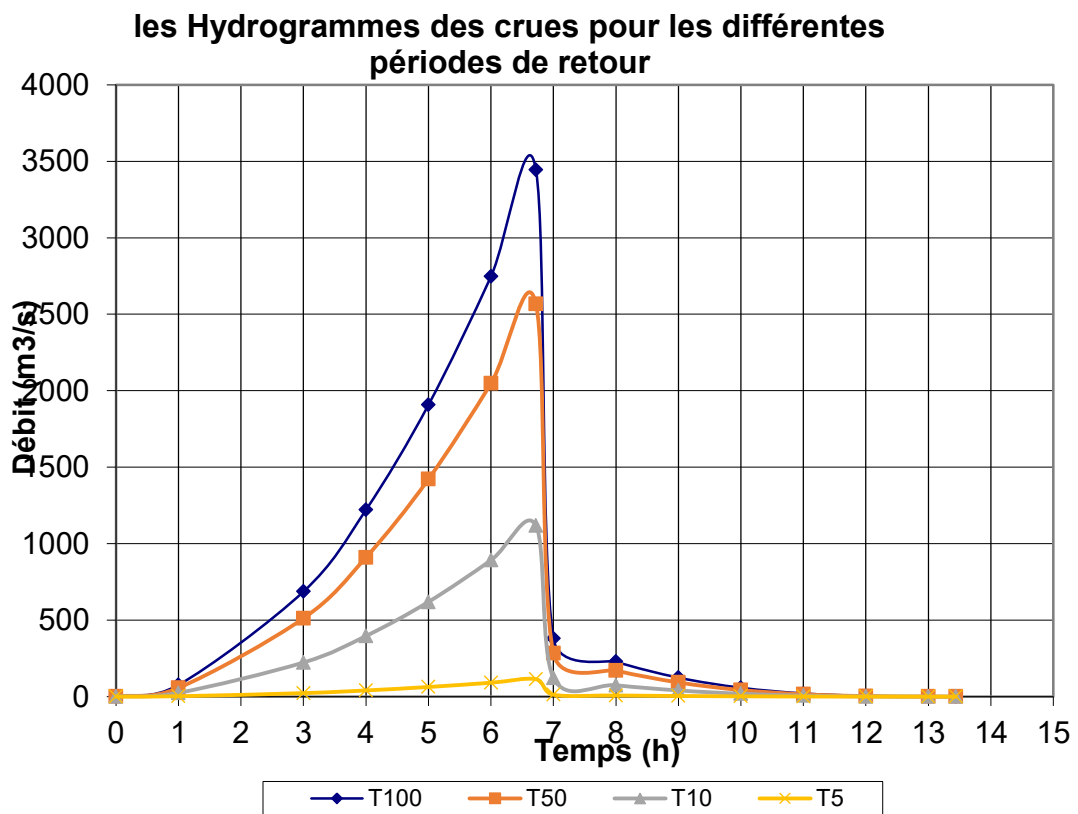


Figure 14 Hydrogramme de crues d'un de sous bassin versant Chemora

Le débit maximum de la crue est atteint dans 6.72 heures et diffère selon la période de retour, plus que le temps de retour augmente plus que le débit augmente, de 96.78 pour

5 ans à environ 4300 m³/s pour une période de récurrence de 100 ans. Puis en quelques minutes l'oued reviens à son écoulement de base.

CONCLUSION GENERALE

Au cours de l'étude des paramètres morphométriques du bassin versant de CHEMORA, à l'aide du logiciel ArcGis 10.8 et basant sur des cartes MNT de L'Algérie, on a obtenu les résultats suivants : la superficie est de 765.45 km², le périmètre 145.13km, la forme de sous bassin versant CHEMORA allongé à partir de calculer l'indice de GRAVILUS ($Kc = 1.47$), un temps de concentration est estimé à 6.72 heure avec une vitesse d'écoulement de l'eau 0.53 km/h la densité de drainage ($Dd= 0.74$)

Qui appartient aux hauts plateaux constantinois et caractérisé par un climat semi-aride. Le travail exposé dans ce mémoire utiliser logiciel Arc Gis ont obtenue les résultats suivant :

Le sous bassin versant de CHEMORA a une surface de 765.45 km² et un périmètre de 145.13 km et

La région étudiée a un climat semi-aride. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 308.73 mm pour une température moyenne annuelle de 15.63 °C. L'évolution annuelle de ces deux paramètres permet de distinguer les périodes chaudes, sèches, froides et humides avec une évaporation moyenne réelle estimée à 308.7 mm.

Les pluies journalières maximales fréquentielles allant de 8.47 mm pour $T=5$ ans à 256.12 mm par jour pour une période de retour de 100 ans.

Les différentes formules utilisées donnent des apports en eau varient entre 1.85 Mm³ et 24.68 Mm³, et des apports solides de 440197.38 (t/ans) à 275123.36 (m³/ans).

L'utilisation des formules TURAZZ et GIANDOTTI nous a donné une estimation des débits de crue pour les périodes 5, 10, 50,100 ans ont données des valeurs proches, avec un débit centennal successivement de 3014.60 m³/s et 1434.96 m³/s dans un période de retour de $T= 100$ ans.

L'estimation des débits des crues dans des bassins versants non jaugés est difficile, malgré l'existence d'un nombre important des méthodes empiriques.

Références

- Abdeddaime, 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, Algérie.
- Abdeddaime, H., & Benkhaled, A. (2016). Influence de la structure du réseau hydrographique sur la réponse hydrologique cas des bassins du nord-est de l'Algérie. *LARHYSS Journal*, 50-62.
- Akka, H. (2019). Etude de bassin versant D'oued Amter , Nord du Maroc. *Memoire de fin d'étude*. Maroc: Université Abdelmalek Essaadi. Maroc.
- Benaini, A. D. (2011). Etude statistique des apports liquides et optimisation d'un réseau pluviométrique par analyse multidimensionnelle: le cas du bassin hydrographique de la Tafna.
- Bitam, R. (2012). Inventaire des ressources médicinales et aromatiques dans la région de Djerma-Batna par la méthode systématique. *Mémoire de Master* . Université El Hadj Lakhdar Batna Algérie.
- Bouchelkia, H., & Reminib, B. (2003). Quantification du transport solide dans le bassin versant Algérien du Chellif. *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, 45-56.
- Boutoutaou, D., Belagoune, F., & Saggai, S. (2011). Etude des crues des bassins versants arides et semi-arides de l'Algérie. Bassins, d'El Honda, de Chott Melghir et des Hauts plateaux (Bassins : 05-06-07) . *Annales des Sciences et Technologie Vol. 3, N° 1*, 46-53.
- Ghodbane, M. (2009). Etude de la contamination des eaux souterraines de la zone nord de Chemora par les nitrates (Est algérien). *Memoire de Magister*. Université de Batna, Algérie.
- Laborde, J. (2000). Elément d'hydrologie de Surface . *Polycopie de cours* . Université de Nice, France.
- Mecibah, i., & Zouini, D. (2008). Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'Oued Gubli (NORD-EST ALGERIEN). *Mémoire de Magister* . Université d'Annaba , Algérie .
- Nestor, R. R. (2014). Débits de crue et analyse hydrologique de petits bassins versants. *Mémoire de Maîtrise* . Québec, Canada.
- OMM. (2011). *Manuel sur la prévision et l'annonce des crues*. Genève, Suisse: OMM-N° 1072.
- S.ET.HY.CO. (1985). Méthodologie pour les études des barrages et de retenues collinaires. Algérie.
- Serai, A., & Dellidj, M. (2021). Changement Climatique en zone méditerranéenne et méthode d'estimation de la vulnérabilité des cultures par le biais de la modélisation et des indices d'aridité. *Memoire de Master*. Université Mohamed El Ibrahimy-B.B.A, Algérie.
- Soltani, F. (2020). La télédétection approche de calcul des paramètres spectraux : cas du bassin versant de la sybouse (NORD-EST ALGERIEN). *mémoire de master*. Algeria: Université de 8 mai 1945 GUELMA.