

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI BEL-ABBES
FACULTE DE SCIENCES ET DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE



Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de

Master en Hydraulique

Option : *Hydraulique Urbaine* Présenté par :

Présenté par :

M^{elle}. MEHIMDA Imane & M^{elle}. MERZOUG Hafida

Intitulé du mémoire :

*Utilisation du SIG dans l'analyse des paramètres
morphométriques et hydrographiques*

Présenté devant le jury composé de :

Mr. CHIOUKH Nadji	Prof.	UDL-SBA	Président
Mr. BAAHMED Djelloul	MCA	UDL-SBA	Examineur
Mr. DJOUKBALA Omar	MAB	UDL-SBA	Encadreur

Année universitaire : 2020/2021

RESUME :

La problématique des risques est un sujet d'actualité qui marque une section mémorable dans le monde et spécifiquement en Algérie.

On a effectué une étude du bassin versant d'Oued GHAZOUANA qui est situé dans une zone semi-aride, souffrant des changements climatique et d'une forte pression anthropique d'autre page.

L'étude aussi pour un objet de caractérisé quelques facteurs en particulier physique, morphométrie, géologie et climatique selon les précipitations saisonnières.

الملخص:

ان مسألة استخدام علامة سيج في تحليل البارامترات المورفومترية والهيدروغرافية لمستجمعات المياه هي قضية موضوعية تمثل قسماً لا يُنسى في العالم وتحديداً في الجزائر.
نقوم بدراسة مستجمعات المياه في واد غزوانه التي تقع في منطقة شبه قاحلة، وتعاني من تغير المناخ كما استهدفت الدراسة توصيف بعض العوامل خاصة الفيزياء والقياس التشكل والجيولوجيا والمناخ حسب هطول الأمطار الموسمية.



Nous remercions tous d'abord Allah tous puisant d'avoir exaucé notre vœu le plus cher et qui nous a donné la santé, le courage et la patience afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.

Ce mémoire est l'aboutissement d'un parcours accompli en cinq années que nous n'aurons pas pu réaliser seules.

Nous tenons à remercier chaleureusement :

- ❖ *Mr. Korichi Khaled notre chef département*
- ❖ *Mr. Djoukhal Omar notre encadreur pour son aide, sa disponibilité et pour ses efforts fournis afin d'obtenir ce travail.*
- ❖ *Tous nos enseignants et nos enseignantes.*

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'accomplissement de notre cheminement d'étude et de la réalisation de notre mémoire.

Nous exprimons nos profondes gratitude à :

- ❖ *M^{elle} Lamis Benaddane pour son aide.*

Enfin, notre reconnaissance à Mrs les membres de jury.



Je remercie Dieu tout puissant qui m'a donné le courage et la patience afin d'accomplir ce mémoire.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à :

*La femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences : ma chère mère **Samira MAÏFA**.*

*L'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père **Mohamed**.*

*Mon chère frère **Mehdi** et ma chère sœur **Fadwa**, mon chère **dadi MAÏFA Abd el kader** qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et lui offre la chance et le bonheur.*

*Mon binôme **MERZOUG Hafida**, avec laquelle j'ai partagé les meilleurs moments durant toute la période de réalisation de ce mémoire.*

Mes chères amis et toute ma famille.

Imane Mehimda



Je remercie Dieu tout puissant qui m'a donné la force et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour à :

*Ma mère **Yamina KRAMELISH**, qui m'a toujours soutenue dans tous les étapes de ma vie, avec ses sacrifices et ses précieux conseils.*

*Mon père **Mohamed**, qui n'a pas cessé de m'encourager, et m'a toujours donné l'espoir et la volonté de réussir.*

*Mes sœurs **Wafaa, Wahiba et Aicha**, pour leur grand amour et leur soutien qu'elles trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.*

*Mon binôme, **Imane MEHIMDA** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de réalisation de ce mémoire.*

Hafida MERZOUG

Liste des figures :

CHAPITRE I : **PRESENTATION DU LA REGION D'ETUDE**

Figure I.1 : Station du bassin versant de GHAZAOUET.

Figure I.2 : Bassin versant d'Oued GHAZOUANA.

Figure I.3 : Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued GHAZOUANA.

Figure I.4 : Carte hypsométrique l'Oued GHAZOUANA établi par logiciel ArcGis.

Figure I.5 : Rectangle équivalent du bassin versant d'Oued GHAZOUANA.

CHAPITRE II : **ETUDE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE**

Figure II.1 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued GHAZOUANA.

Figure II.2 : Classification du réseau hydrographique selon STRAHLER (1957).

Figure II.3 : Cours d'eau principal de bassin versant d'Oued GHAZOUANA.

CHAPITRE III : **ETUDE CLIMATOLOGIQUE**

Figure III.1 : Représentation graphique de la variation des précipitations en fonction des saisons.

Figure III.2 : Représentation graphique des précipitations moyennes mensuelles.

Figure III.3 : Représentation graphique des précipitations moyennes annuelles.

Figure III.4 : Représentation graphique des précipitations moyennes annuelles.

Figure III.5 : Découpage de la surface du bassin versant de GHAZOUANA selon la méthode isohyète (en utilisant le logiciel ArcGis).

Figure III.6 : Découpage de la surface du bassin versant de GHAZOUANA selon la méthode de THEISSEN (en utilisant le logiciel ArcGis).

Figure III.7 : Présentation graphique des températures maximales, moyennes et minimales mensuelles.

Figure III.8 : Représentation graphique de la variation de l'intensité d'insolation moyenne mensuelle.

Figure III.9 : Représentation graphique de la variation de l'humidité relative moyenne mensuelle en fonction de la température moyenne.

Figure III.10 : Représentation graphique de la variation de vitesse moyenne annuelle mensuelle du vent.

Figure III.11 : Représentation graphique de la variation des précipitations moyennes mensuelles en fonction de la température moyenne.

Figure III.12 : Abaque de l'indice de MARTONNE.

Figure III.13 : Abaque de L'indice d'EMBERGIE.

Figure III.14 : Abaque de l'indice de P.VERDEIL.

Figure III.15 : Abaque de l'indice de WUNDT.

Liste des tableaux :

CHAPITRE I : **PRESENTATION DU LA REGION D'ETUDE**

- Tableau I.1 : Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued GHAZOUANA.
- Tableau I.1 : Répartition altimétrique du bassin versant d'Oued GHAZOUANA.
- Tableau I.3 : Classification du relief selon Ig par O.R.S.T.O.M.
- Tableau I.4 : Deuxième classification d'après l'O.R.S.T.O.M.
- Tableau I.5 : Caractéristiques morpho-métriques du bassin versant du l'Oued GHAZOUANA

CHAPITRE II : **ETUDE DE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**

- Tableau II.1 : Classification des Talwegs (ArcGis).
- Tableau II.2 : Classification du rapport de confluence.
- Tableau II.3 : Classification des rapports de longueur.
- Tableau II.4 : Résultat de calcul de coefficient de torrencialité.
- Tableau II.5 : Récapitulation des paramètres hydrographique du bassin de l'Oued GHAZOUANA

CHAPITRE III : **ETUDE CLIMATOLOGIQUE**

- Tableau III.1 : Caractéristiques de la station [station météorologique-Oued GHAZOUANA].
- Tableau III.2 : Variation des précipitations en fonction des saisons.
- Tableau III.3 : Précipitations moyennes mensuelles.
- Tableau III.4 : Précipitations moyennes annuelles des stations.
- Tableau III.5 : Les différents paramètres statistiques des séries pluviométriques.
- Tableau III.6 : Précipitations moyennes annuelles de station de GHAZAOUET BATTERIE.
- Tableau III.7 : Paramètres statistiques de la série pluviométrique.
- Tableau III.8 : Résultat de calcul de X^2 de la station de GHAZAOUET BATTERIE.
- Tableau III.9 : Valeurs des précipitations pour des périodes récurrence donnée.
- Tableau III.10 : Récapitulation des données pluviométriques des stations de B.V GHAZOUANA.
- Tableau III.11 : Représentation la précipitation moyenne annuelle par la méthode de THEISSEN.
- Tableau III.12 : Température moyennes mensuelles et annuelles.
- Tableau III.13 : Intensité de l'énergie solaire mensuelle.
- Tableau III.14 : Variation de l'humidité moyenne mensuelle.
- Tableau III.15 : Variation de vitesse du vent moyenne mensuelle.
- Tableau III.16 : Paramètre de calcul de l'évaporation.
- Tableau III.17 : Représente les températures et précipitations moyennes mensuelles.
- Tableau III.18 : Les valeurs de λ .
- Tableau III.19 : Les valeurs d'ETR.
- Tableau III.20 : Paramètres mensuels interannuels de l'ETR (THORNTHWAITE).
- Tableau III.21 : Différentes valeurs mensuelles d'ETP, ETR, Ex, Da, Ru, P, T .

Sommaire :

Remerciement :	
Dédicace :	
INTRODUCTION GENERALE :	<u>1</u>
I-1 : Cadre géographique du bassin versant d'oued GHAZOUANA :	<u>3</u>
I-2 : Géologie du bassin versant :	<u>4</u>
I-3 : Etude stratégraphique :	<u>5</u>
I.4 : Morphologie du bassin :	<u>5</u>
I.4.1 : Méthodologie, données et matériels utilisés :	<u>6</u>
I.4.2 : Modèles numériques de terrain :	<u>6</u>
I.4.3 : Source et résolution ASTER GDEM :	<u>6</u>
I-5 : Caractéristiques physiques et leur influence sur l'écoulement des eaux :	<u>7</u>
I-5-1 : la surface et périmètre du bassin versant :	<u>7</u>
I-5-2 : Paramètres du relief:	<u>7</u>
I-5-3 : La forme du bassin versant :	<u>11</u>
I-5-4 : Notion du rectangle équivalent :	<u>12</u>
I-5-4-1 : Longueur du rectangle équivalent :	<u>12</u>
I-5-4-2 : Largeur du rectangle équivalent :	<u>12</u>
I-5-5 : Altitudes caractéristiques du bassin :	<u>13</u>
I-5-5-1 : Les altitudes maximale et minimale :	<u>13</u>
I-5-5-2 : L'altitude moyenne :	<u>13</u>
I-5-6 : Indice de pente :	<u>14</u>
I-5-7 : Indice de pente de ROCHE :	<u>15</u>
I-5-8 : Dénivelée spécifique :	<u>15</u>
I-6 : Conclusion	<u>16</u>
II.1 : INTRODUCTION :	<u>18</u>
II.2 : Classification des Talwegs :	<u>19</u>
➤ Longueur du Cours d'eau principal	<u>21</u>
II.3 : Densité de drainage (Dd) :	<u>22</u>
II.4 : Fréquence des cours d'eau (F) :	<u>22</u>
II.5 : Rapport de confluence (Rc) :	<u>22</u>
II.6 : Rapport des longueurs (RL) :	<u>23</u>
II.7 : Coefficient de torrentialité :	<u>23</u>
II.8 : Temps de consentration Tc :	<u>24</u>
II.9 : Commentaires et analyse des résultats :	<u>24</u>

II.10 : Conclusion.....	<u>25</u>
III.1 : INTRODUCTION :	<u>27</u>
III.2 : Données climatiques :	<u>27</u>
III.2.1 : Précipitations saisonnières :	<u>27</u>
III.2.2 : Etude des précipitations :	<u>28</u>
III.2.3 : Calcul des différents paramètres statistiques de la série :	<u>29</u>
III.2.4 : Précipitations moyennes annuelles de station de GHAZAOUET BATTERIE :	<u>30</u>
III.3 : Analyse statistique des séries pluviométriques :	<u>31</u>
III.3.1 : Ajustement des précipitations annuelles :	<u>31</u>
III.3.2 : Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée :	<u>32</u>
III.3.3 : Évaluation de la pluie moyenne annuelle précipitée sur le bassin :	<u>33</u>
III.4 : Caractéristiques climatologiques du bassin	<u>35</u>
III.4.1 : Etude des températures :	<u>35</u>
III.4.2 : Rayonnement solaire :	<u>36</u>
III.4.3 : L'humidité relative :	<u>37</u>
III.4.4 : Le vent :	<u>38</u>
III.4.5 : Evaporation :	<u>39</u>
III.5 : Classification et paramètre climatique :	<u>40</u>
III.5.1 : La méthode pluviométrie :	<u>40</u>
III.6 : Les indices climatiques généraux :	<u>41</u>
III.6.1 : L'indice de MARTONNE :	<u>41</u>
III.6.2 : L'indice d'EMBERGER :	<u>42</u>
III.7 : L'évapotranspiration réelle (ETR) :	<u>44</u>
III.7.1 : La formule de L.TURC :	<u>44</u>
III.7.2 : La formule de COUTAGNE :	<u>44</u>
III.7.3 : La formule de P.VERDEIL :	<u>45</u>
III.7.4 : La formule de WUNDT :	<u>46</u>
III.8 : L'évapotranspiration potentielle (ETP) :	<u>48</u>
III.9 : Les différents paramètres du bilan hydrologique :	<u>49</u>
III.10 : Conclusion :	<u>52</u>
CONCLUSION GENERALE.....	<u>53</u>

INTRODUCTION GENERALE :

Tout régime hydrologique ne peut être catégoriquement perçu, sont avoir besoin d'effectuer une étude avec plus possible de minutie des circonstances physio géographique du bassin versant, dont l'interaction et la complémentarité de ses éléments déterminent la variabilité et l'intensité du comportement des phénomènes hydrologiques dans le temps et dans l'espace.

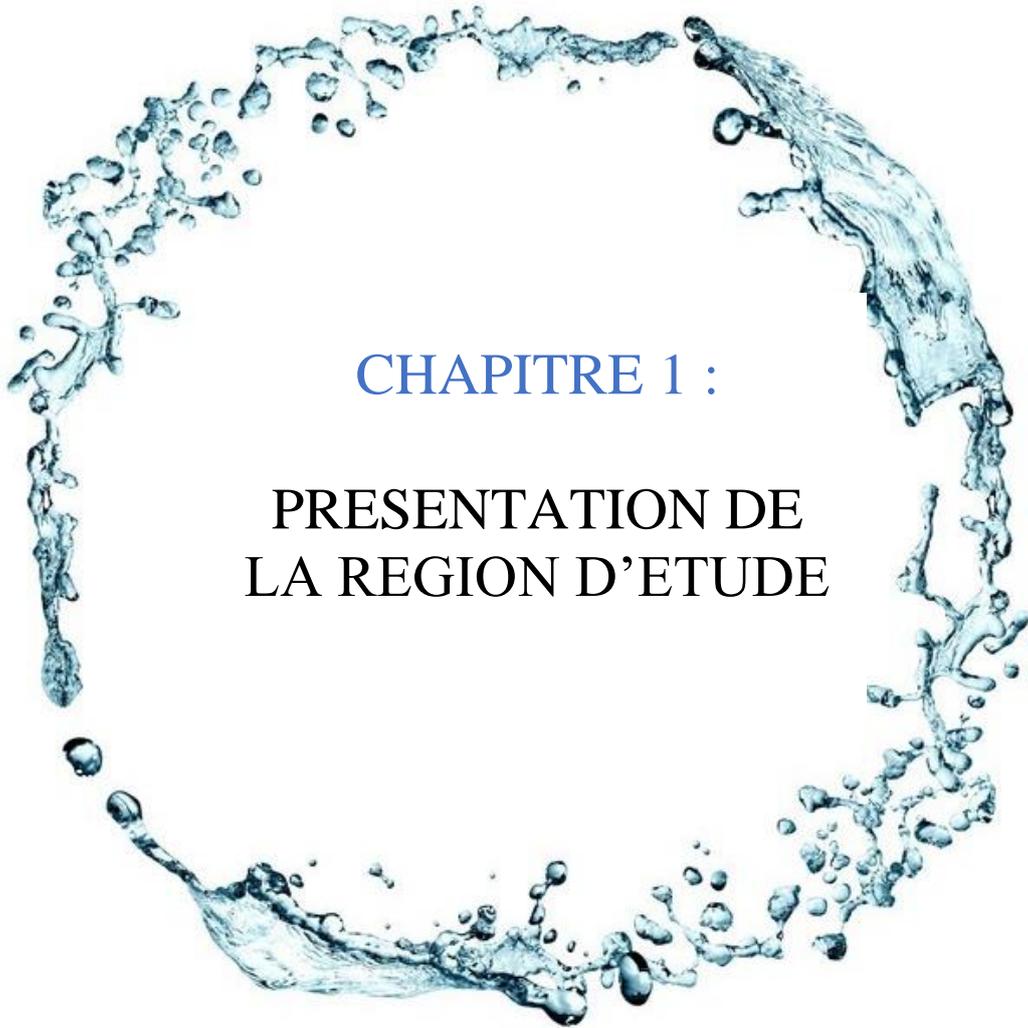
Nous avant choisit le bassin versant d'oued GHAZOUANA comme site d'application. Ce choix est basé sur les critères suivants :

- La taille relativement réduite du bassin versant, ce qui nous donne l'avantage de minimiser l'erreur de régionalisation des paramètres morphométrie et hydrologie.
- La position d'oued GHAZOUANA qui scinde la ville de GHAZAOUET.
- La disponibilité relative des données sur une partie du bassin versant.

Donc on a présenté notre travail comme suit :

- ❖ Le premier et le deuxième chapitre sont basés sur l'étude à travers l'identification et la quantification des paramètres liés au bassin versant. En particulier le réseau hydrographique et la morphométrie de la région et leur influence sur l'écoulement.
- ❖ Dans le troisième chapitre nous présentons une étude climatologique de la région ayant pour but de mieux comprendre les caractéristiques et d'établir le bilan hydrologique et d'estimer les réserves d'eau à l'exutoire de l'oued.

Enfin une conclusion générale est donnée à la fin du travail.



CHAPITRE 1 :

PRESENTATION DE
LA REGION D'ETUDE

I-1 : Cadre géographique du bassin versant d'oued GHAZOUANA :

La commune de GHAZAOUET est attachée administrativement à la wilaya de TLEMCCEN, elle prend sa position dans la bande côtière ouest de l'ALGERIE sur la mer méditerranée, traversée par l'oued GHAZOUANA issu de la confluence des deux oueds, oued TAIMA qui draine la zone accidentelle de la commune de DJEBALA et oued TLATA qui draine une grande partie de la commune de NEDROUMA.

Le bassin versant de la région de GHAZAOUET appartient au bassin hydrographique côtier oranais.

Classé par l'ANRH sous code 04. Ce dernier est limité au Nord par la mer méditerranée ; au Sud et au Sud Est par le bassin de la TAFNA.

L'exutoire du bassin versant d'oued GHAZOUANA est situé à l'ouest du port de GHAZAOUET aux coordonnées suivantes :

- 1°52'00''W (longitude).
- 35°06'00''N (latitude).

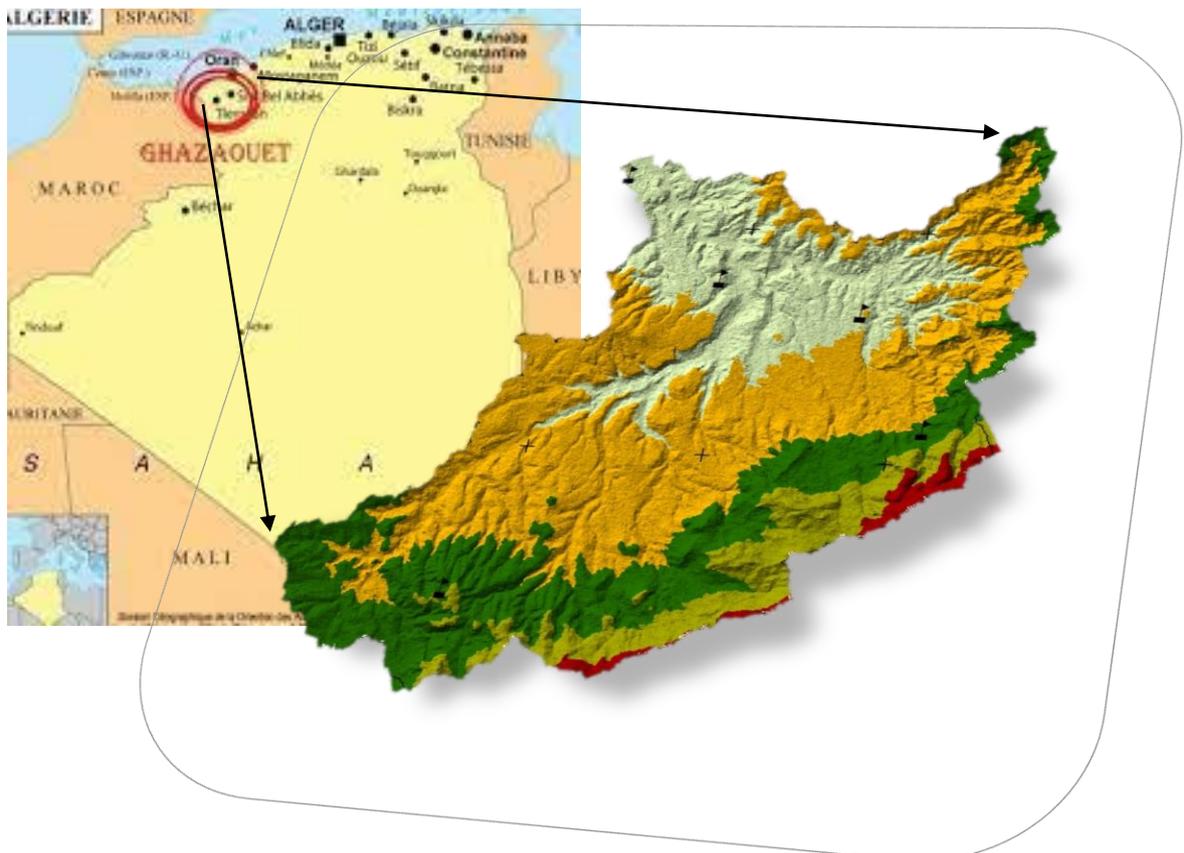


Figure I.1 : situation du bassin versant de GHAZAOUET.

I-2 : Géologie du bassin versant :

Les travaux géologiques menées sur la région et en particulier ceux permettent de définir les grands traits de cette région que l'on peut diviser en 03 zones, orientées Est-Ouest.

- La zone Sud comprend la chaîne de Fllaoucène, qui présente une série stratigraphique à peu près complète des schistes primères aux calcaires du jurassique supérieur. Les épaisseurs des formations calcaires secondaires en font un petit château d'eau régional.
- La zone centrale s'appuie à l'Est sur un petit batholite de granite dit <<de NEDROUMA>> ayant servi de matériau de base à une formation de poudingue d'âge permotriasique (des Beni Mounir). C'est une roche très dure dans laquelle il est particulièrement difficile d'effectuer des captages. Quelques petites sources en sont issues. Cette formation disparaît ensuite sous des épanchements basaltiques. Vers l'Ouest se trouve un bassin miocène dans lequel seul le centre est susceptible de contenir une petite nappe (de Sidi Brahim à Bebb El Assa).
- Une zone cotière, qui est en fait le déplacement vers le Sud et par chevauchement sur la zone précédente, de formations originellement situées à l'emplacement de la mer actuelle. (marne, gypse, dolomie et roche verte) ayant servi de plan de glissement. Ils sont surmontés de lias calcaire (calcaires massifs parfois entrecoupés de schistes), puis de formations schisteuses attribuées au jurassique supérieur et au crétacé. De plus, quelques grès tertiaires transgressifs subsistent au voisinage même de la côte.

Enfin des épanchements basaltiques sont venus couronner l'ensemble à la suite des mouvements tectoniques.

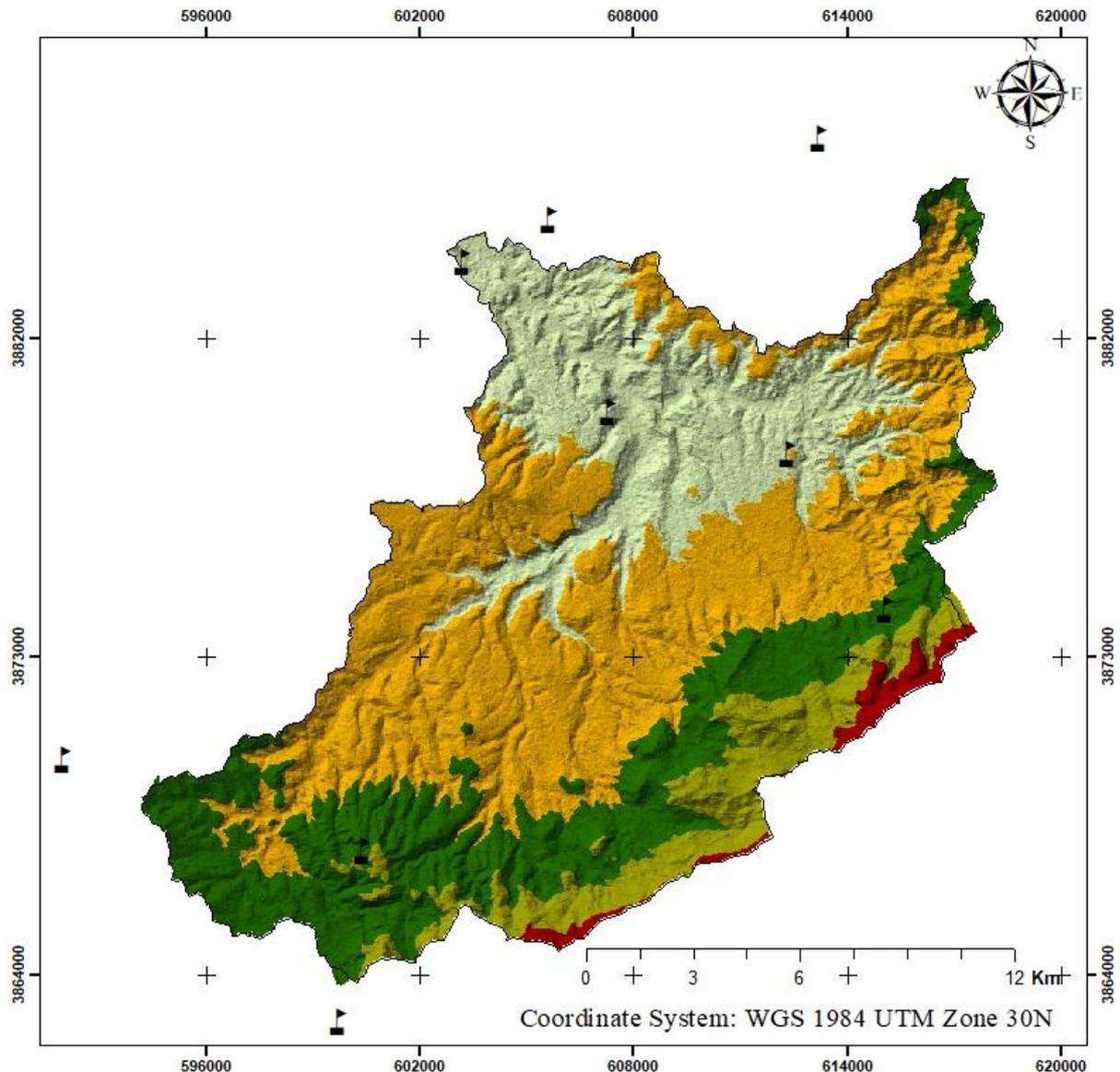


Figure I.2 : bassin versant d'oued GHAZOUANA.

I-3 : Etude stratégraphique :

La région de GHAZAOUET est située à l'extrémité occidentale du tell méridional constitué par le massif des Traras. Les monts de Traras et la bande cotière de GHAZAOUET font partie du domaine externe de l'orogénèse Nord magrébin.

I.4 : Morphologie du bassin

La réponse du bassin versant à une sollicitation des précipitations, est influencée par diverses caractéristiques morphologiques, particulièrement sa surface, sa forme, son élévation, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir des modèles numériques d'élévation.

I.4.1 : Méthodologie, données et matériels utilisés

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé un modèle numérique d'élévation ASTER GLOBAL DEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Réflexion Radiomètre Global Digital Elévation Model*) prise le 11 Octobre 2017 d'une résolution de 30 x 30 m, leur utilisation est nécessaire pour élaborer une mise à jour du chevelu hydrographique.

La cartographie du réseau hydrographique nécessite d'une part l'analyse des paramètres telle que la couleur, la texture, la structure et enfin la forme d'un cours d'eau, et d'autre part la correction de ce chevelu avec celui digitalisé à partir des cartes topographiques à 1/25.000.

L'intérêt d'un MNT est de limiter le bassin d'étude et l'extraction automatique des paramètres caractérisant le relief.

Dans ce cas, l'utilisation du logiciel ArcGIS 10.4 est très nécessaire pour développer cette démarche.

I.4.2 : Modèles numériques de terrain

Un modèle numérique de terrain fournit une représentation numérique d'une partie du terrain de la terre. Il est normalement produit en échantillonnant un ensemble régulier de valeurs d'altitude, dérivé à partir de cartes topographiques, de photographies aériennes ou d'images satellitaires. Le terme Modèle Numérique du Terrain tient son origine du professeur Charles L. Miller, de l'institut Technologique du Massachusetts dans les années 1955-1960. Miller donna en 1958 la première définition du MNT. Il a précisé que le MNT est une représentation statistique d'une surface continue du terrain par un grand nombre de points choisis et dont les coordonnées X, Y et sont connues.

Depuis les années 1990, la puissance des micros ordinateurs a permis le large développement des Modèles Numériques de Terrain. Sous ce vocable on confond souvent l'ensemble des programmes permettant de traiter la topographie d'une zone (le M.N.T. au sens strict) et les altitudes aux nœuds d'un maillage régulier couvrant la zone d'étude (le Modèle Numérique d'Altitude M.N.A.). A partir d'un MNA, le MNT permet de calculer automatiquement tous les paramètres classiques telles que la pente, l'orientation des versants, la topographie, le réseau hydrographique etc.

I.4.3 : Source et résolution ASTER GDEM

Partie intégrante du programme ASTER ("Advanced Spaceborne Thermal Emission and Réflexion Radiomètre"), le GDEM (Global Digital Elévation Model) ASTER est un Modèle Numérique d'Elévation (MNE) qui couvre le monde entier (entre 83° Nord et 83° Sud). Il est coproduit par le MITI (ministère de la recherche japonais) et la NASA.

Ce MNE gratuit a une résolution de 1 seconde d'arc soit environ 30 mètres. Sa distribution est faite en GeoTiff de 1° x 1° en WGS84.

I-5 : Caractéristiques physiques et leur influence sur l'écoulement des eaux :

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage.

Le temps de concentration t_c , caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à une sollicitation des précipitations, est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : en premier lieu, la taille du bassin (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques.

I-5-1 : la surface et périmètre du bassin versant :

a) La surface :

La surface du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques. Ses limites dans un bassin sont formées par les lignes de partage des eaux qui le séparent des autres bassins adjacents. Elles sont facilement repérables dans les régions où le relief est bien marqué.

Elle s'obtient par planimétrie sur une carte topographique ou par des techniques de digitalisation et limitation après que l'on y ait tracé les limites topographiques et éventuellement hydrogéologiques. La surface A d'un bassin s'exprime généralement en km^2 .

Dans notre cas, la surface du bassin versant de l'Oued El-Ham est déterminée automatiquement par l'utilisation des images satellitaires à l'aide du logiciel ArcGIS et égal à **285.08 km^2** , Le bassin versant d'oued GHAZOUANA répartie en deux sous bassins principaux celui d'oued Tlata et d'oued Taima.

b) Le périmètre :

Le périmètre du bassin versant est la longueur de la ligne de partage des eaux, il représente le contour limitant la surface du bassin versant. Le périmètre peut être mesuré à l'aide d'un curvimètre ou automatiquement par logiciel ArcGIS. Le Périmètre du Bassin versant d'oued GHAZOUANA est égal à **103.51 Km**.

I-5-2 : Paramètres du relief:

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car un nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement.

➤ Courbe hypsométrique

L'hypsométrie caractérise la répartition de l'altitude en fonction de la surface du bassin versant exprimée en pourcentage. La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus, (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée.

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux, ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage. La courbe hypsométrique du bassin versant d'oued GHAZOUANA est représentée sur le graphique n°4.1 De forme concave, elle indique que le bassin est en état de maturité.

Tableau I-1 : Répartition hypsométrique du bassin d'oued GHAZOUANA

Altitudes	Bornes supérieurs	Surface partielle (km)	Surface cumule (Km)	Surface partielle %	Surface cumule %
0-100	100	10,148002	10,148002	3,550638824	3,550638824
100-200	200	36,806143	46,954145	12,877936	16,42857483
200-300	300	69,239073	69,239073	24,22574816	40,65432299
300-400	400	52,387604	121,626677	18,32966338	58,98398637
400-500	500	41,294624	41,294624	14,44839045	73,43237682
500-600	600	30,209223	71,503847	10,5697693	84,00214613
600-700	700	21,736694	21,736694	7,6053542	91,60750033
700-800	800	12,62036	34,357054	4,415681057	96,02318138
800-900	900	6,724001	6,724001	2,352630499	98,37581188
900-1000	1000	3,805786	10,529787	1,331589364	99,70740125
1000-1120	1120	0,83627	0,83627	0,292598753	100
		285,80778		100	

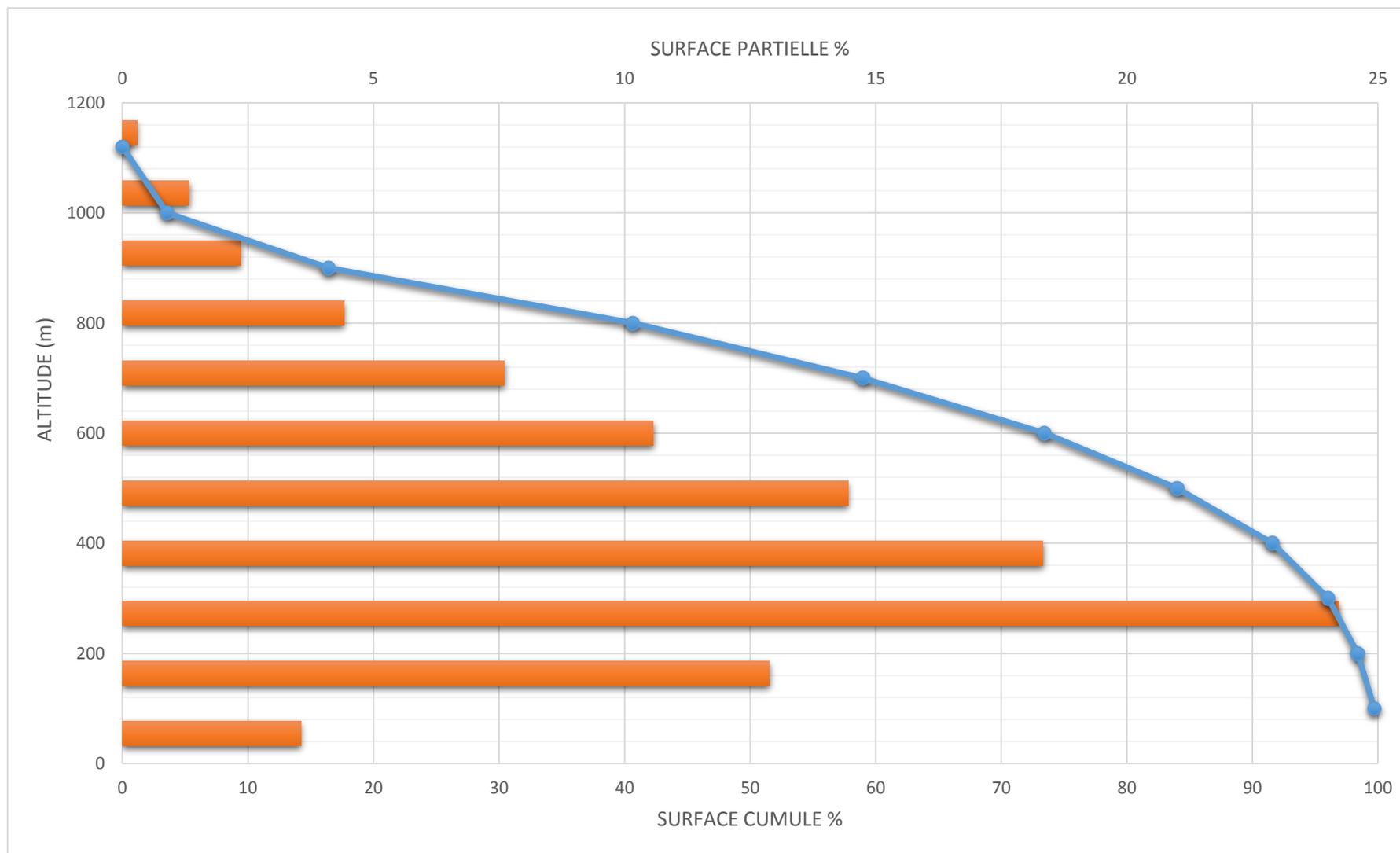


Figure I.3 : Courbe hypsométrique du bassin d'oued GHAZOUANA

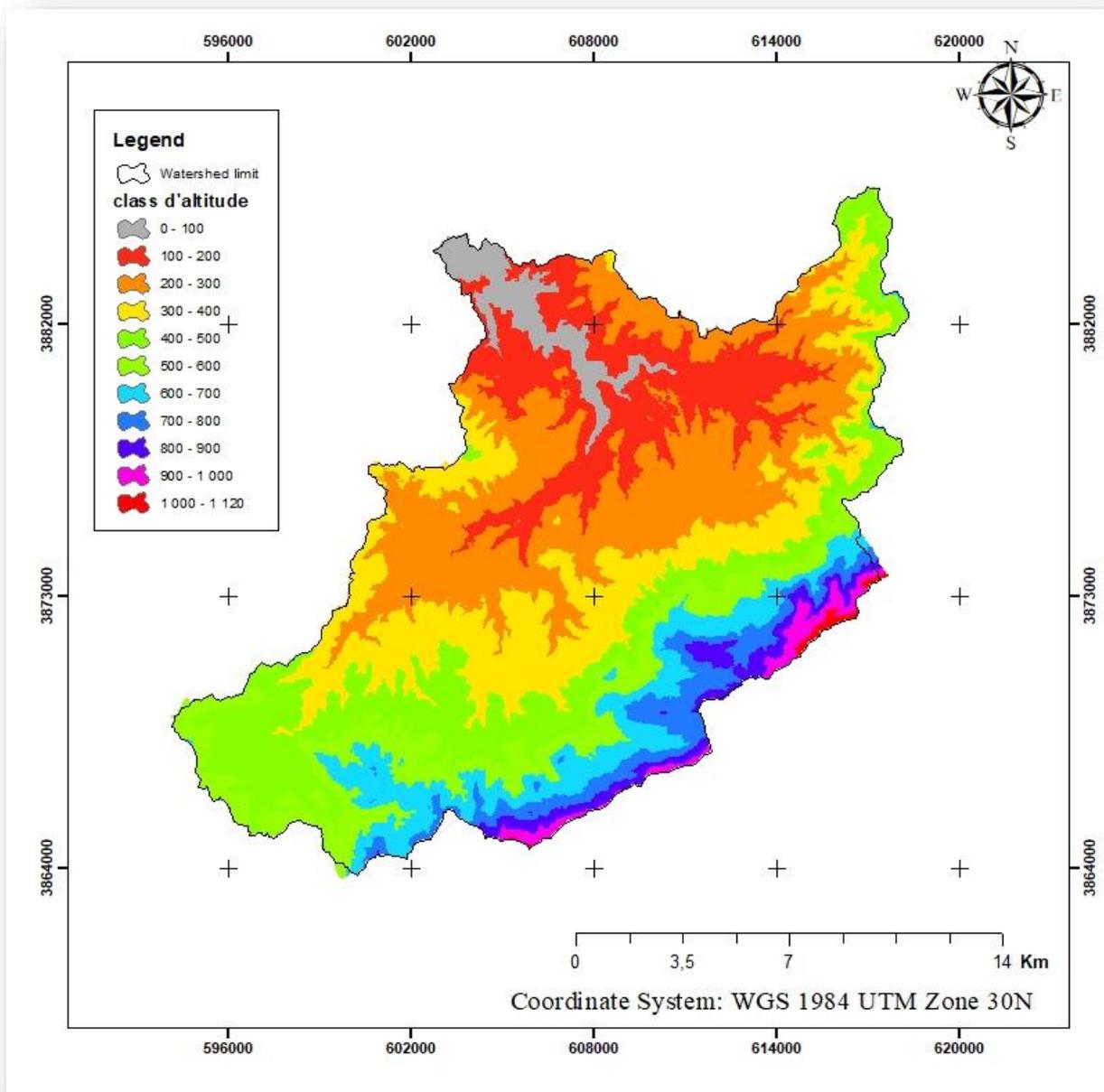


Figure I.4 : Carte hypsométrique l'oued GHAZOUANA établi par logiciel ArcGis

I-5-3 : La forme du bassin versant :

La forme du bassin versant peut avoir des conséquences hydrologiques importantes, notamment sur la relation pluie-débit et l'évolution des écoulements en période de crue. Autrement dit, outre la nature de l'averse, ce sont les caractéristiques morphologiques du bassin qui conditionnent l'allure de l'hydrogramme observé à l'exutoire, plusieurs formules et indices permettent de chiffrer ces caractéristiques.

➤ **Coefficient de compacité KC :**

Défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface. Cet indice qui caractérise la forme du bassin versant est donné par la relation suivante :

$$KC = \frac{P}{2\sqrt{\pi*S}} \cong 0.28*\frac{P}{\sqrt{S}} = 1.71$$

KC : Indice de compacité de Gravelius.

P : Périmètre du bassin versant (Km).

S : Surface du bassin versant (Km²).

I-5-4 : Notion du rectangle équivalent :

La notion du rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius, introduite par Roche (1963), permet de comparer facilement des bassins versants entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux petits cotés du rectangle.

Plus un rectangle équivalent est allongé moins il sera drainé. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes :

Soit L et l la longueur et la largeur du rectangle, et P et A le périmètre et l'aire du bassin versant.

I-5-4-1 : Longueur du rectangle équivalent :

La longueur du rectangle est déduite à partir de la relation suivante :

$$L = \frac{KC}{1.12} * \sqrt{S} * \{1 + \sqrt{(1 - (\frac{1.12}{KC})^2)}\} = \mathbf{45.31 \text{ Km.}}$$

I-5-4-2 : Largeur du rectangle équivalent :

Elle est donnée par :

$$l = \frac{KC}{1.12} * \sqrt{S} * \{1 - \sqrt{(1 - (\frac{1.12}{KC})^2)}\} = \mathbf{6.30 \text{ Km.}}$$

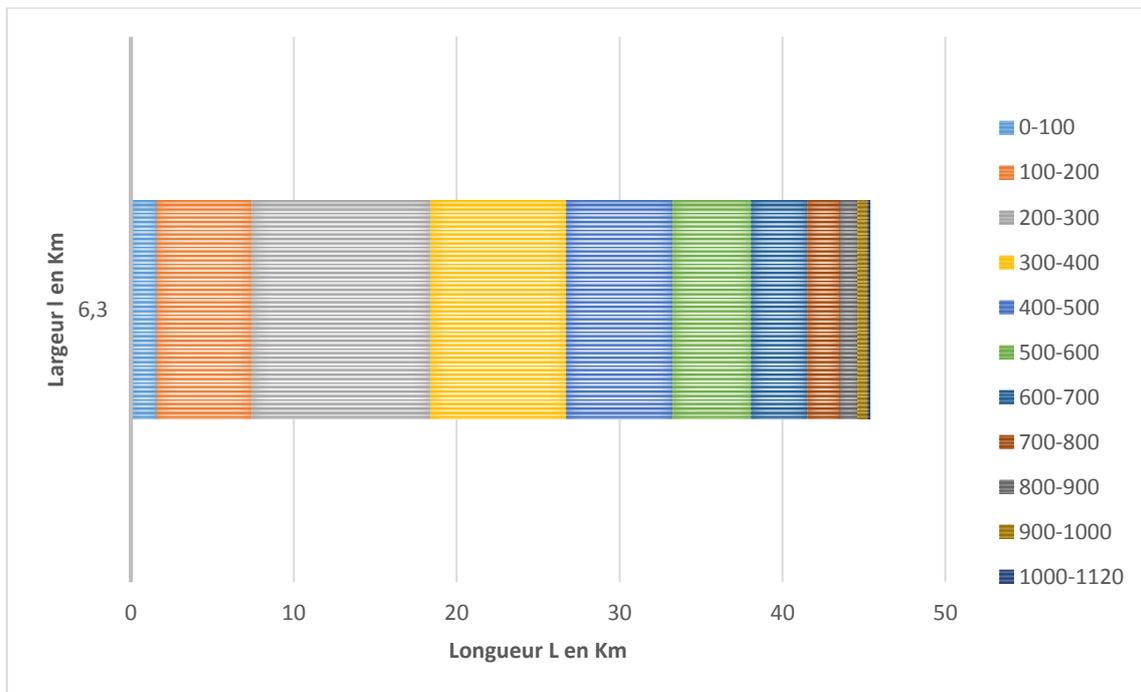


Figure I.5 : Réctangle équivalent du bassin versant d'Oued GHAZOUANA.

I-5-5 : Altitudes caractéristiques du bassin :

I-5-5-1 : Les altitudes maximale et minimale :

Elles sont obtenues directement à partir d'un MNT. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

Ces deux données déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente. Pour le cas de notre bassin :

Hmax = 1120 m ;

Hmin = 0 m.

I-5-5-2 : L'altitude moyenne :

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. En peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \frac{\sum(H_i * S_i)}{S_t} = 387.27 \text{ m.}$$

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

Si : aire comprise entre deux courbes de niveau (Km²).

St : Superficie totale du bassin versant (Km²).

Tableau I.2: Répartition altimétrique du bassin versant d'oued
GHAZOUANA.

Tranche d'altitude (m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Hi * Si	Hmoy (m)
0 – 100	50	10,148002	507.40	387.27
100 – 200	150	36,806143	5520.92	
200 – 300	250	69,239073	17309.77	
300 – 400	350	52,387604	18335.66	
400 – 500	450	41,294624	18582.58	
500 – 600	550	30,209223	16615.07	
600 – 700	650	21,736694	14128.85	
700 – 800	750	12,62036	9465.27	
800 – 900	850	6,724001	5715.40	
900 – 1000	950	3,805786	3615.49	
1000 – 1120		0,83627	886.44	
		285,80	110682.9	

➤ **Altitude médiane :**

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne, dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

L'altitude médiane dans le bassin de d'oued GHAZOUANA est égale à.

$$H_{\text{médiane}} = 661 \text{ m}$$

➤ **Dénivelée Simple :**

Bien souvent, on définit la "dénivelée D" comme étant la différence de cote entre H_{5%} et H_{95%}

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

$$D = 210$$

I-5-6 : Indice de pente :

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global < **I_g** > :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} = 0.0145 = \mathbf{1.45 \%}.$$

A partir de la courbe hypsométrique qui déjà tracée on prend les points :

$$H_{5\%} = 870 \text{ m} \quad \text{et} \quad H_{95\%} = \mathbf{210 \text{ m}}.$$

I-5-7 : Indice de pente de ROCHE :

L'indice de pente de ROCHE sert à déterminer la pente moyenne à partir des données du bassin versant. Il tient compte du facteur de ruissellement et de l'influence du facteur de pente sur le régime hydrologique du bassin. M. ROCHE a introduit cet indice qui se calcule directement à partir du rectangle équivalent, l'indice de pente **Imoy** défini par la relation suivante :

$$Imoy = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} = 0.0247 = \mathbf{2.47\%}.$$

Hmax : L'altitude maximal = 1120 m.

Hmin : L'altitude minimal = 0

Tableau I.3 : Classification du relief selon **Ig** par **O.R.S.T.O.M**

Relief très faible	$Ig < 0.002$
Relief faible	$0.002 < Ig < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < Ig < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < Ig < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < Ig < 0.05$
Relief fort	$0.05 < Ig < 0.1$
Relief très fort	$0.1 < Ig$

I-5-8 : Dénivelée spécifique :

La dénivelée spécifique apparaît donc comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin, ce qui donne la possibilité de comparaison entre ses valeurs pour de différents bassins. La dénivelée spécifique se calcule alors par la relation suivante :

$$DS = I_{pg} * \sqrt{S} = \mathbf{246.14 \text{ m}}.$$

I_{pg} : Indice de pente globale en (m/km) : I_{pg} = 14.56 (m/km).

S = 285.8 (km²).

La dénivellation spécifique permet de se prononcer sur le relief suivant la classification de l'Office de Recherche Scientifique d'Outre-Mer (ORSTOM).

Tableau I.4 : Deuxième classification d'après l'**O.R.S.T.O.M**.

R 1	Relief très faible	D s < 10 m
R 2	Relief faible	10 m < D s < 25 m
R 3	Relief assez faible	25 m < D s < 50 m
R 4	Relief modéré	50 m < D s < 100 m
R 5	Relief assez fort	100 m < D s < 250 m
R 6	Relief fort	250 m < D s < 500 m
R 7	Relief très fort	500 m < D s

Le bassin versant d'oued GHAZOUANA présente **un relief assez fort**.

Tableau I.5 : Caractéristiques morpho-métriques du bassin versant de l'oued GHAZOUANA.

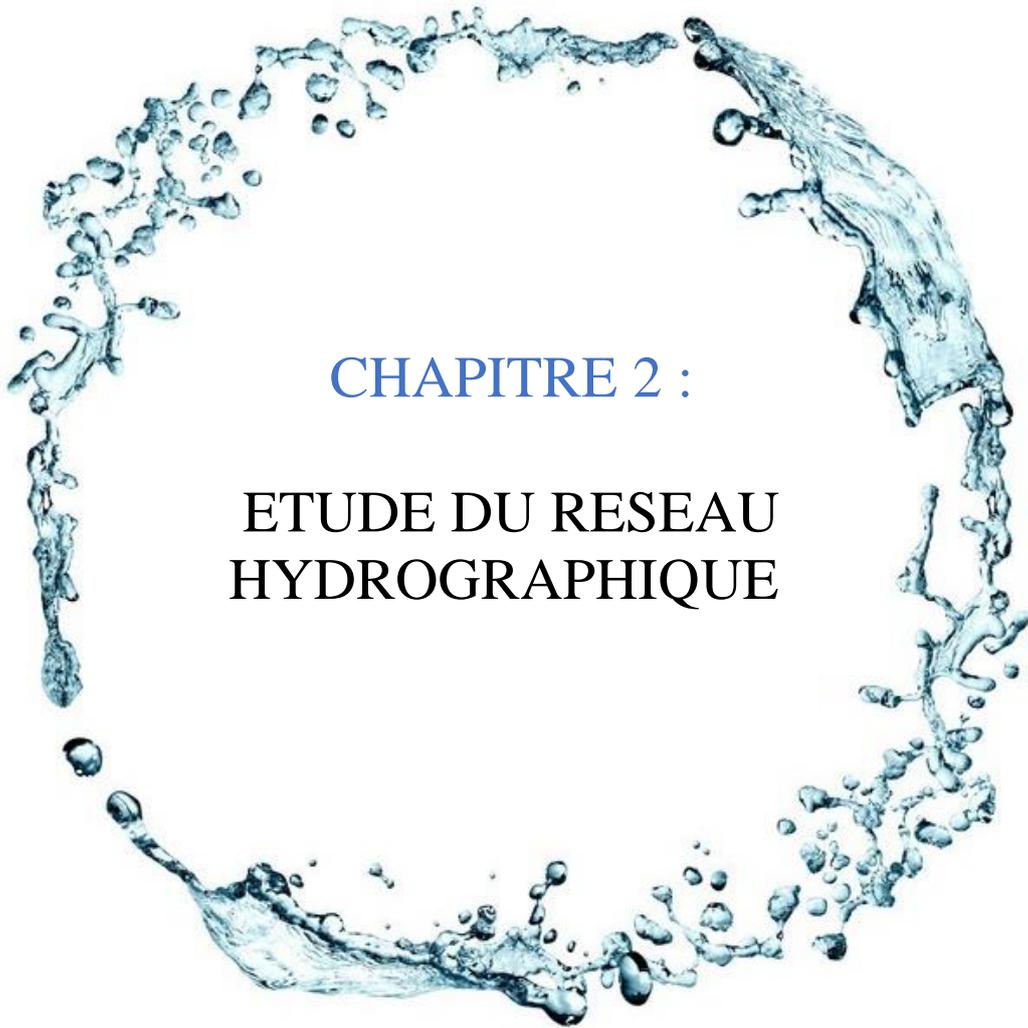
Caractéristiques morpho-métriques	Symbole	Unités	Valeurs
Surface	S	Km ²	285.8
Périmètre	P	Km	103.51
Coefficient de Gravellius	KC	-	1.71
Longueur du rectangle équivalent	L	Km	45.31
Largeur du rectangle équivalent	L	Km	6.30
Altitude maximale	Hmax	M	1120
Altitude moyenne	Hmoy	M	387.27
Altitude minimale	Hmin	M	0
Altitude à 95%	H95%	M	210
Altitude à 50%	H50%	M	430
Altitude à 5%	H5%	M	870
Dénivelée Simple	D	M	210
Pente globale	Ig	%	1.45
Pente de Roche	Imoy	%	2.47
Dénivelée spécifique	Ds	M	246.14

Conclusion

Nous avons été amenés à extraire le bassin versant en question, et à déduire ses caractéristiques géomorphologiques, à partir d'un modèle numérique de terrain.

L'évaluation de ces paramètres qui intervenant dans le comportement hydrologique du bassin versant de l'oued GHAZOUANA nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

Oued GHAZOUANA draine un bassin d'une superficie de 285.8 (km²) et un périmètre de 103.51 (km). Sa forme allongée avec un relief assez fort, pour une altitude moyenne de 387.27 (m).



CHAPITRE 2 :

ETUDE DU RESEAU
HYDROGRAPHIQUE

II.1 : INTRODUCTION :

Le réseau hydrographique peut être définie de trois manières, selon le contexte :

- ✓ L'étude et la description des cours d'eau et des étendues d'eau.
- ✓ Le terme désigne aussi l'ensemble des cours d'eau d'une région donnée, organisés en bassins hydrographiques.
- ✓ La topographie maritime ou lacustre qui a pour objet de lever le plan du fond des mers et des fleuves.

Le réseau hydrographique est l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. La définition d'un cours d'eau est difficile à donner avec précision, en particulier pour les cours d'eau temporaires. Selon le support cartographique utilisé, on étudie le réseau avec plus ou moins de détails : en photographie aérienne, on pourra déceler des thalwegs de très faibles extensions, par contre, on ne verra que les cours d'eau pérennes et importants sur une carte au 1/500000.

Afin de caractériser le réseau hydrographique, il est souvent utile de reporter son tracé en plan sur une carte à une échelle adéquate. L'utilisation de l'imagerie spatiale est utile à cette identification. Divers paramètres descriptifs sont utilisés pour définir le réseau hydrographique.

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et dans une certaine mesure, des conditions climatiques et anthropiques. En pratique, les valeurs de densité de drainage varient de trois à quatre pour des régions où l'écoulement n'a atteint qu'un développement très limité et se trouve centralisé ; elles dépassent 1000 pour certaines zones où l'écoulement est très ramifié avec peu d'infiltration selon Schumm, la valeur inverse de densité de drainage s'appelle « constante de stabilité du cours d'eau » physiquement des conditions hydrologiques stable dans un vecteur hydrographique unitaire (section du réseau).

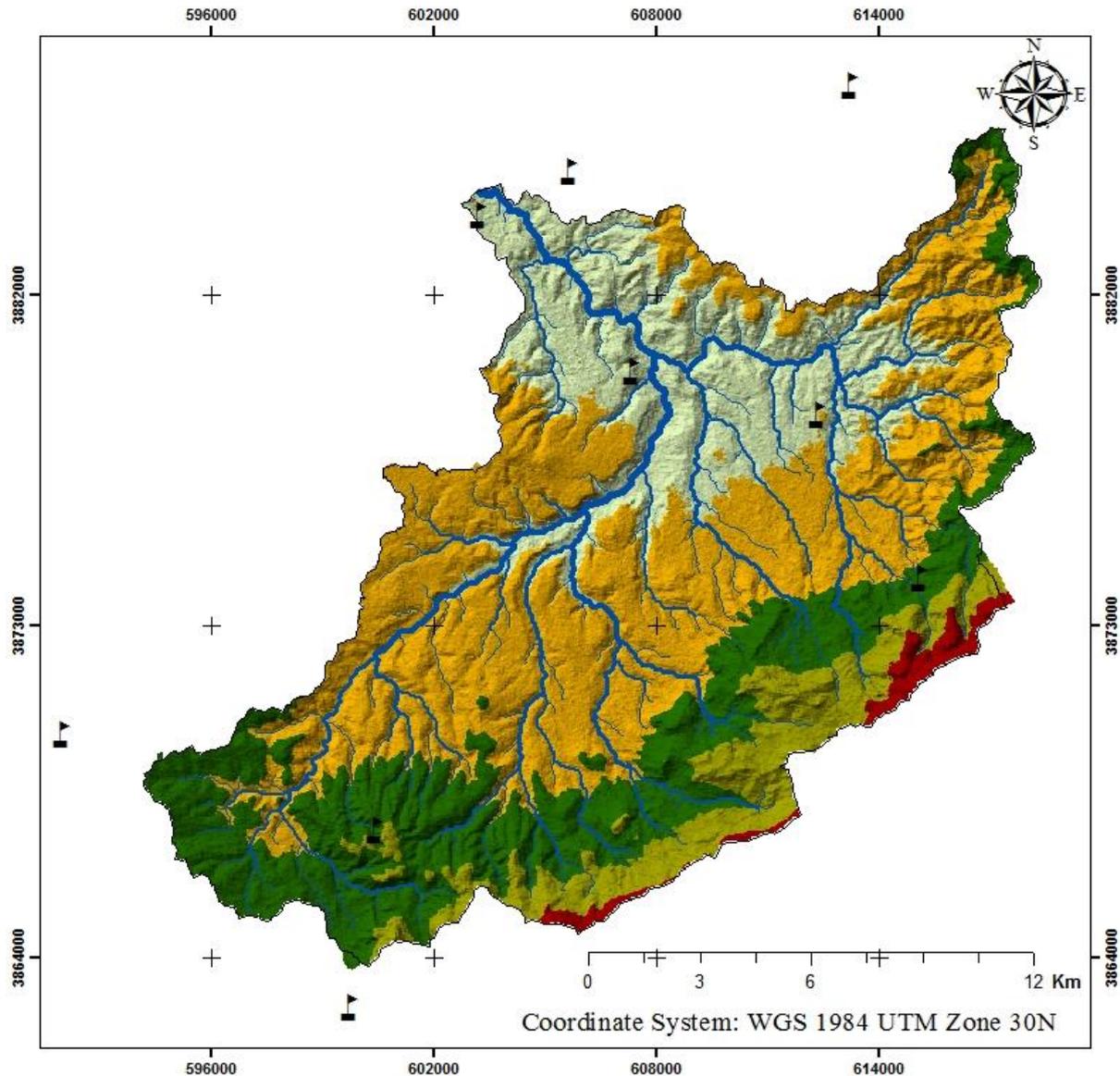


Figure II.1. Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued GHAZOUANA.

II.2 : Classification des Talwegs :

Pour bien étudier le réseau hydrographique de la région, on fait la classification des thalwegs (cours d'eau) et des affluents; pour chaque ordre on détermine le nombre de talwegs et la longueur totale de ceux-ci. La classification topologique du réseau hydrographique est basée sur une méthode proposée initialement par HORTON en 1945 puis modifiée par STRAHLER en 1947. Elle est la plus utilisée aujourd'hui, son principe est comme suit.

- Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1.
- Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $(n + 1)$.
- Un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre

Tableau II.1 : Classification des Talwegs (Arc gis).

Ordre	Nombre de Talwegs	Longueur cumulé
1	258	165,58
2	135	90,26
3	71	48,04
4	39	19,56
5	32	14,04
Totale	525	337.5

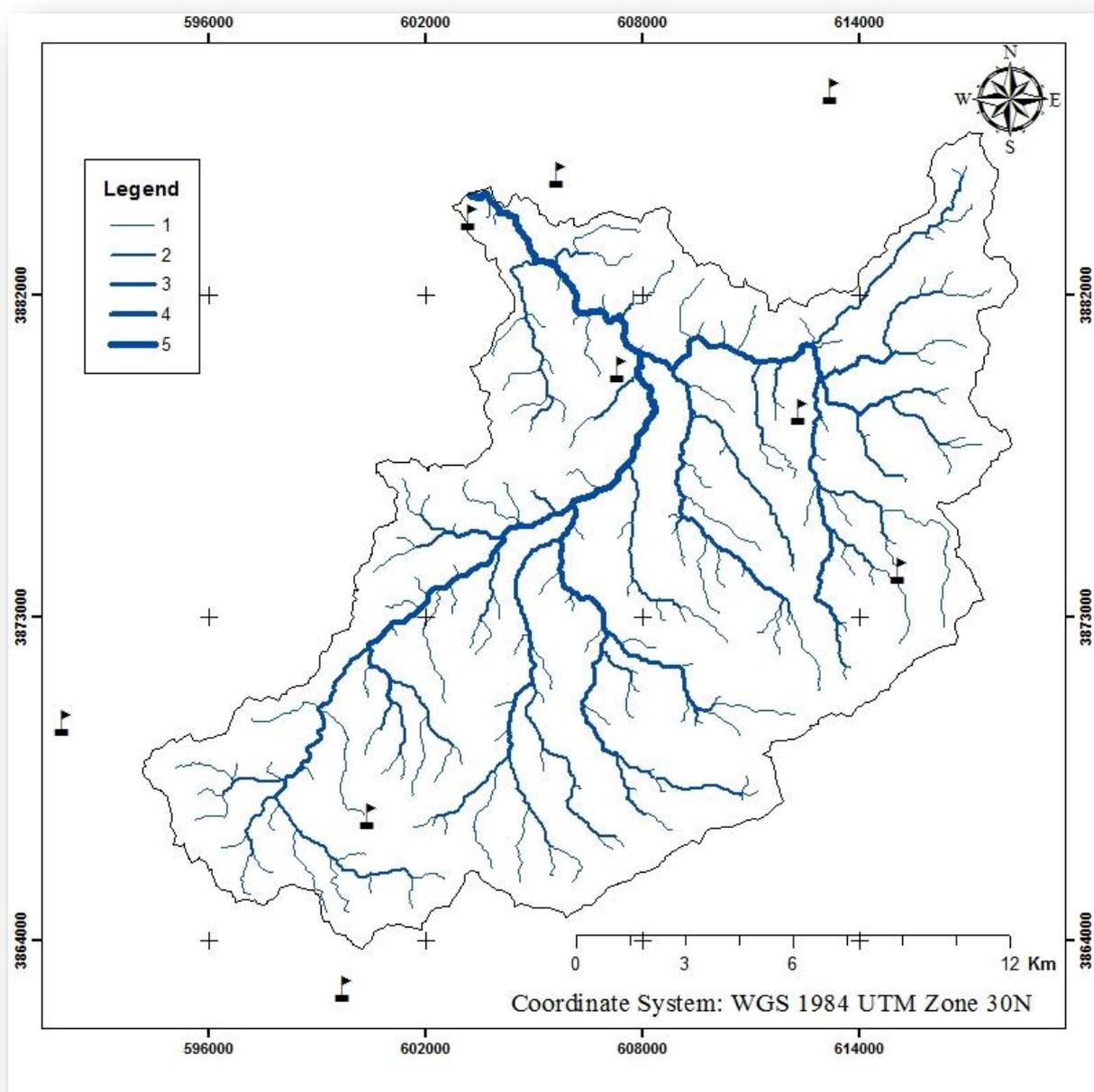


Figure II.2. Classification du réseau hydrographique selon STRAHLER (1957)

✓ Longueur du Cours d'eau principal

Un bassin versant se caractérise principalement par la longueur suivante :

La longueur du cours d'eau principal (L) est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant.

Si les deux segments à l'embranchement sont de même ordre, on suit celui qui draine la plus grande surface.

$$L = 25.37 \text{ km}$$

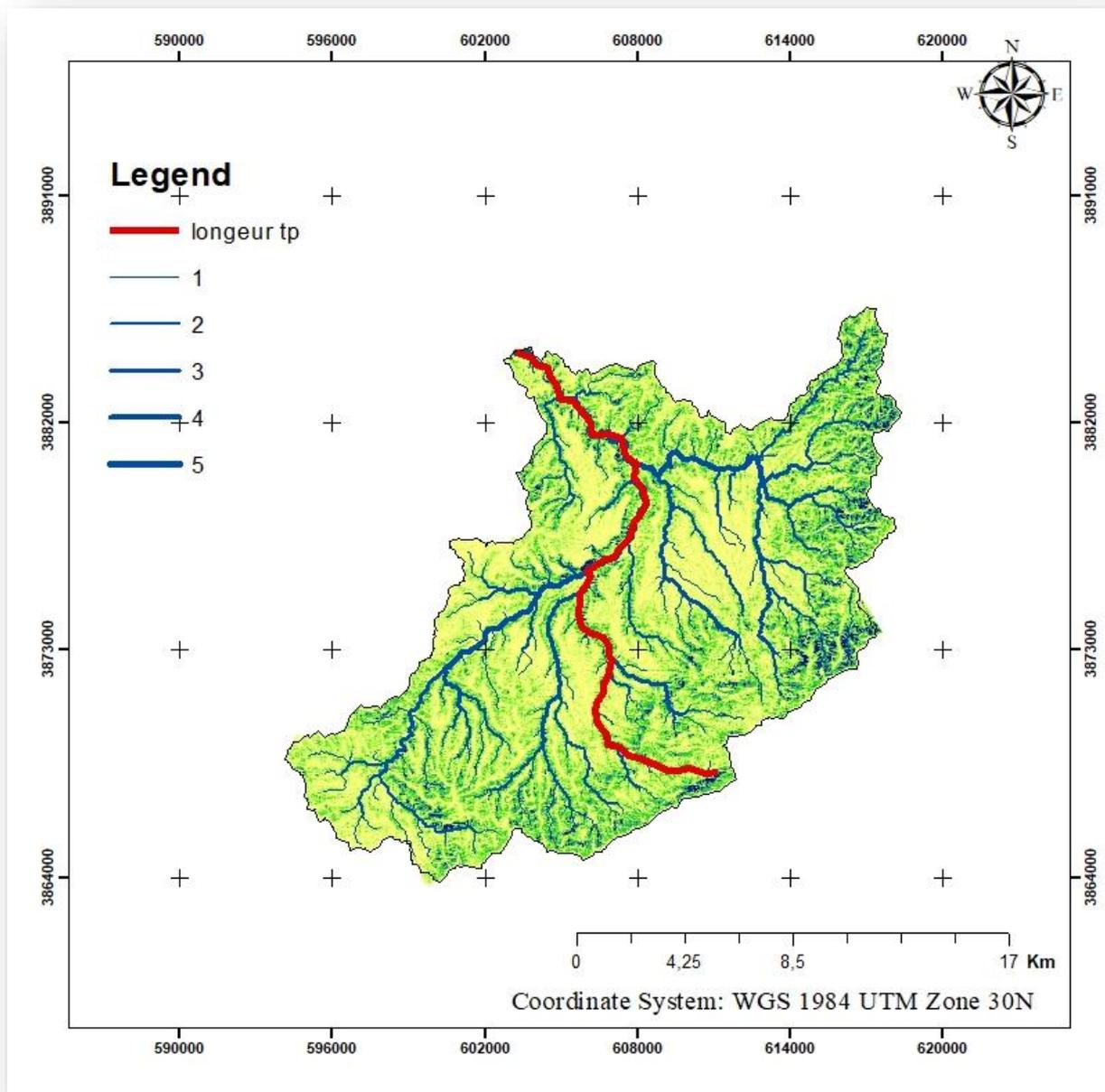


Figure II.3. Cours d'eau principal du bassin versant de l'Oued GHAZOUANA.

II.3 : Densité de drainage (Dd) :

C'est le paramètre le plus important qui caractérise le chevelu hydrographique, il correspond au rapport entre la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin:

$$Dd = \frac{\sum Li}{S} = 1.18 \text{ Km}^{-1}$$

Avec :

- ✓ Dd : densité de drainage (km/km²) ;
- ✓ Li : longueur des cours d'eau (km) ;
- ✓ S : surface du bassin versant égale à 285.8 (km²).

Constante de Stabilité du cours d'eau :

Selon SHUMM, la valeur inverse de la densité de drainage est une constante de stabilité du cours d'eau.

$$C = \frac{1}{Dd}$$

$$C = 0.84 \text{ Km}^{-1}$$

II.4 : Fréquence des cours d'eau (F) :

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

$$F = \frac{\sum Ni}{S} = 1.83 \text{ km}^{-2}$$

Avec :

- ✓ F : fréquence des cours d'eau (km²) ;
- ✓ Ni : nombre des cours d'eau = 525

S : superficie du bassin = 285.8 km²

II.5 : Rapport de confluence (Rc) :

C'est un nombre sans dimension exprimant le développement du réseau de drainage. Il est défini comme étant le quotient du nombre de thalwegs d'ordre n par celui des thalwegs d'ordre supérieur (n+1).

$$Rc = \frac{Ni}{Ni+1} = 1.71.$$

Avec :

- ✓ Rc : rapport de confluence des cours d'eau ;
- ✓ I : ordre d'un cours d'eau u varie entre 1 et n ;
- ✓ Ni : nombre des cours d'eau d'ordre i ;
- ✓ Ni+1 : nombre des cours d'eau d'ordre suivant ;

Tableau II.2 : Classification du rapport de confluence.

Ordre	1	2	3	4	5	Moyenne
Rc	1.91	1.90	1.82	1.21		1.71

II.6 : Rapport des longueurs (RL) :

Il est défini comme le rapport entre la longueur moyenne des thalwegs d'ordre (n+1) par celui des thalwegs d'ordre (n)

$$RL = \frac{Li}{Li + 1} = 1.89$$

Avec :

- ✓ R_L : rapport des longueurs des cours d'eau ;
- ✓ I : ordre d'un cours d'eau u varie entre 1 et n ;
- ✓ L_i : longueur moyenne des cours d'eau d'ordre i ;
- ✓ L_{i+1} : longueur des cours d'eau d'ordre suivant ;

Tableau II.3 : Classification des rapports de longueur.

Ordre	1	2	3	4	5	Moyenne
RL	1.83	1.87	2.45	1.39		1.88

II.7 : Coefficient de torrentialité :

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité de drainage et celle des thalwegs élémentaires d'ordre 1 :

$$Ct = Fi * Dd = 0.44$$

Avec :

- ✓ C_t : Coefficient de torrentialité ;
- ✓ D_d : Densité de drainage ;
- ✓ F_i : La fréquence des talwegs d'ordre 1 :

$$F_i = \frac{N_i}{S}$$

Ce paramètre permet l'estimation de la grandeur de l'énergie érosive du cours d'eau.

S : Surface du bassin en km^2 : $S = 285.8 km^2$.

N_i : Nombre de talweg d'ordre i.

Tableau II.4 : resultats de calcule de coefficient de torrentialité.

Ordre	Nombre de Talwegs	F_i	C_t	C_t moyenne
1	258	0.9	1.06	0.44
2	135	0.47	0.55	
3	71	0.25	0.29	
4	39	0.14	0.16	
5	32	0.11	0.12	

II.8 : Temps de concentration Tc :

Le temps de concentration, c'est le temps que met la particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour arriver à l'exutoire, il se calcule par la formule de GIONDOTTI

$$Tc = \frac{4*\sqrt{S+1.5*L}}{0.8*\sqrt{Hmoy-Hmin}} = 5 \text{ h}$$

Avec :

TC : temps de concentration (heure) ;

S : superficie du bassin (km²) ;

L : longueur du talweg principal l (km) ;

Hmoy: altitude moyenne (m) ;

Hmin: altitude minimal

Tableau II.5 : Récapitulation des paramètres hydrographiques du bassin de l'Oued

GHAZOUANA

Paramètres caractéristiques		Symbole	Unités	Valeurs
Réseau hydrographique	Densité de drainage	Dd	Km /km ²	1.18
	Temps de Concentration	Tc	Heure	5
	Fréquence des Cours d'eau	F	–	1.83
	Rapport des confluence	Rc	–	1.71
	Rapport des longueurs	RL	–	1.89
	Coefficient de torrentialité	Ct	–	0.44

II.9 : Commentaires et analyse des résultats :

L'exploration du tableau II.5, montre que la valeur du coefficient de torrentialité Ct est relativement faible (0.44). Ceci est dû essentiellement à la faiblesse des précipitations, où encore à la forte perméabilité des structures lithologiques. D'autre part, le temps de concentration s'avère assez important (5h), en raison de la forme et du relief qui caractérise le bassin. La valeur de densité de drainage (1,18 Km/Km²) et la fréquence des cours d'eau (1.83) indiquent que le bassin versant est assez bien drainé. L'importance du drainage est due principalement à la nature des formations qui forment le bassin (présence de faille qui favorisent la genèse des cours d'eau), ainsi qu'aux pentes assez fortes des versants d'une part et d'autre

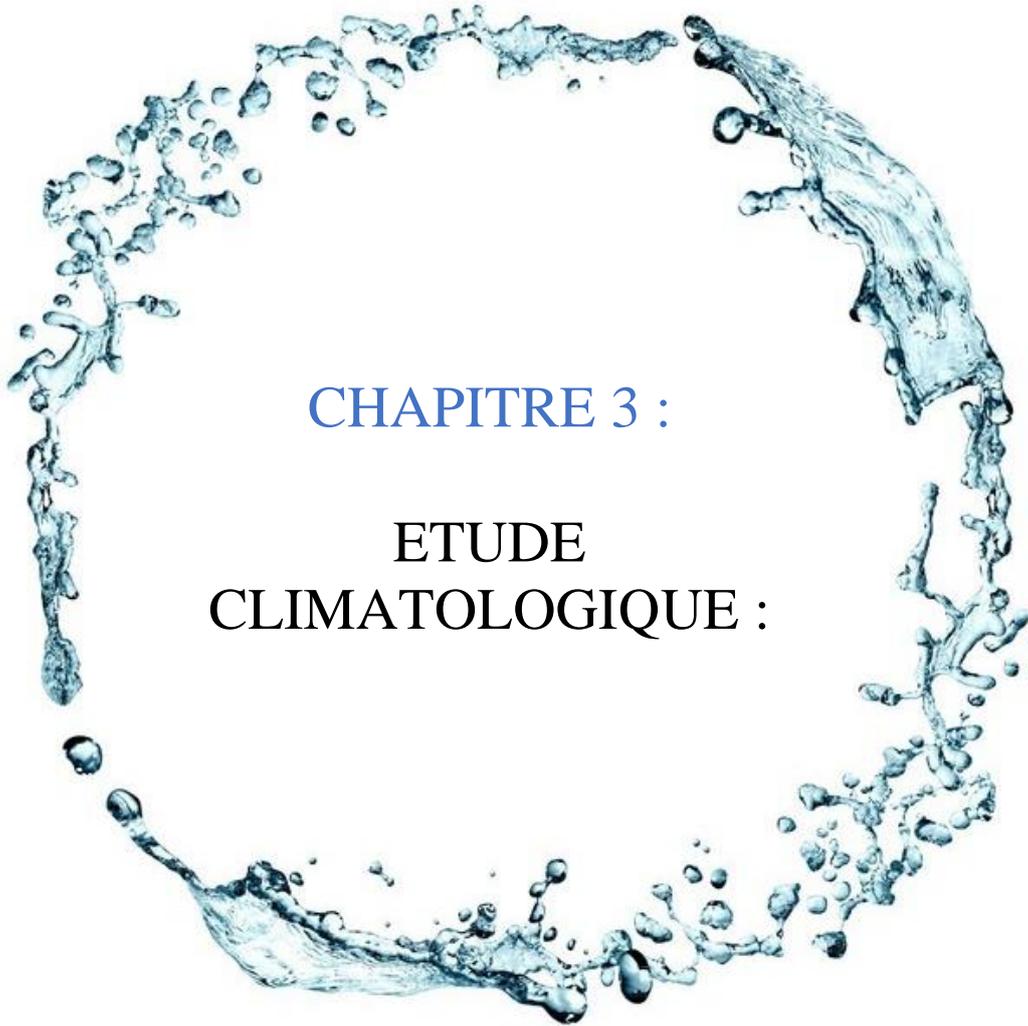
part au régime climatique, caractérisé par des pluies irrégulières et violentes. Le rapport de confluence de (1,71), indique que le réseau hydrographique est bien organisé. On considère alors, que le réseau hydrographique, de notre bassin témoignent d'un chevelu hydrographique bien hiérarchisé moyennement dense, mais assez ramifié.

Conclusion

Nous avons été amenés à extraire le bassin versant en question, et à déduire ses caractéristiques géomorphologiques et hydrométriques, à partir d'un modèle numérique de terrain.

L'évaluation de ces paramètres qui intervenant dans le comportement hydrologique du bassin versant nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

Le réseau hydrographique de l'Oued GHAZOUANA est caractérisé par un cours d'eau principal long de 25.37 (km) correspondant à un ordre 5 avec une densité de drainage de 1.18 et un temps de concentration de 5 (heure).



CHAPITRE 3 :

ETUDE
CLIMATOLOGIQUE :

III.1 : INTRODUCTION :

L'étude du climat est nécessaire, elle nous informe sur la pluviométrie de la région, les températures et les vents. La région de GHAZAOUET fait partie de la zone climatique méditerranée. Son climat oscille entre le semi-aride et le humide, caractérisé par l'irrégularité de pluies et la sécheresse d'été prolongée.

III.2 : Données climatiques :

Tableau III.1 : Caractéristiques de la station [station météorologique-Oued GHAZOUANA].

Station	Longitude	Latitude	Altitude
GHAZOUANA	1°52'00''W	35°06'00''N	76

III.2.1 : Précipitations saisonnières :

Tableau III.2 : Variation des précipitations en fonction des saisons.

Saison		Hiver	Printemps	Eté	Automne	Année
Saisonniers	mm	45.12	179.88	152.83	37.67	415.55
	%	10.86	43.29	36.78	9.07	100%

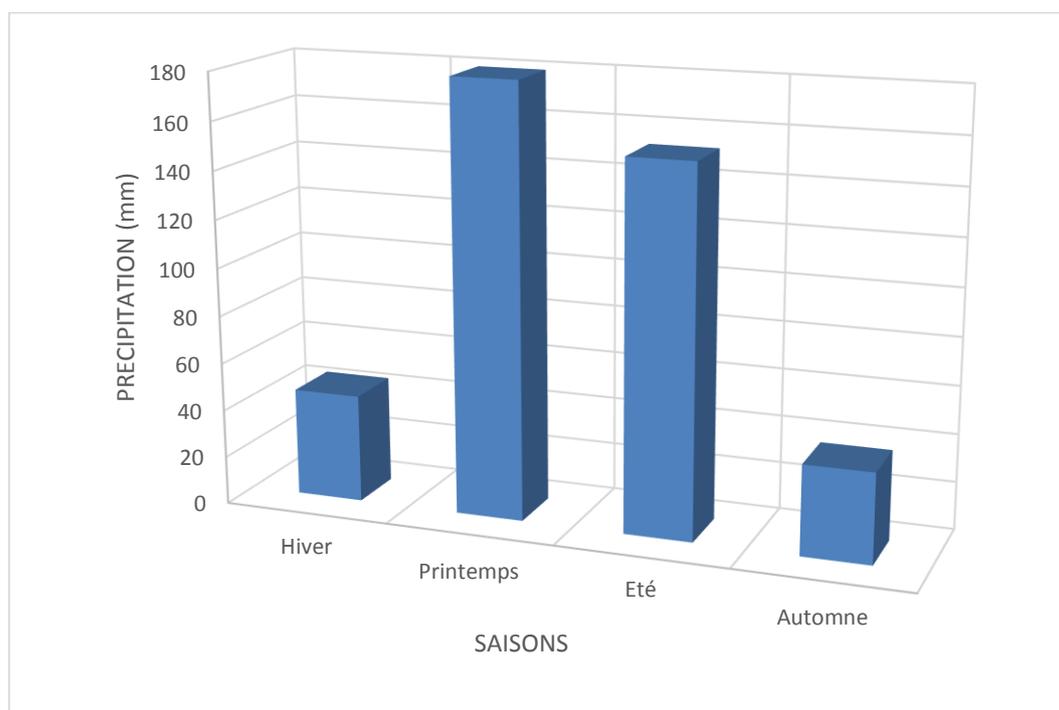


Figure III.1 : Représentation graphique de la variation des précipitations en fonction des saisons.

III.2.2 : Etude des précipitations :

La quantité d'eau reçue par le bassin versant de GHAZAOUET est un élément de base important pour caractériser son climat.

❖ Dans le tableau III.3 est représentée les précipitations moyennes mensuelles.

Tableau III.3 : précipitations moyennes mensuelles

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Pmoy (mm)	14,45	30,22	38,58	71,90	69,4	39,05	53,49	60,29	24,22	12,99	0,46	0,45	415,55

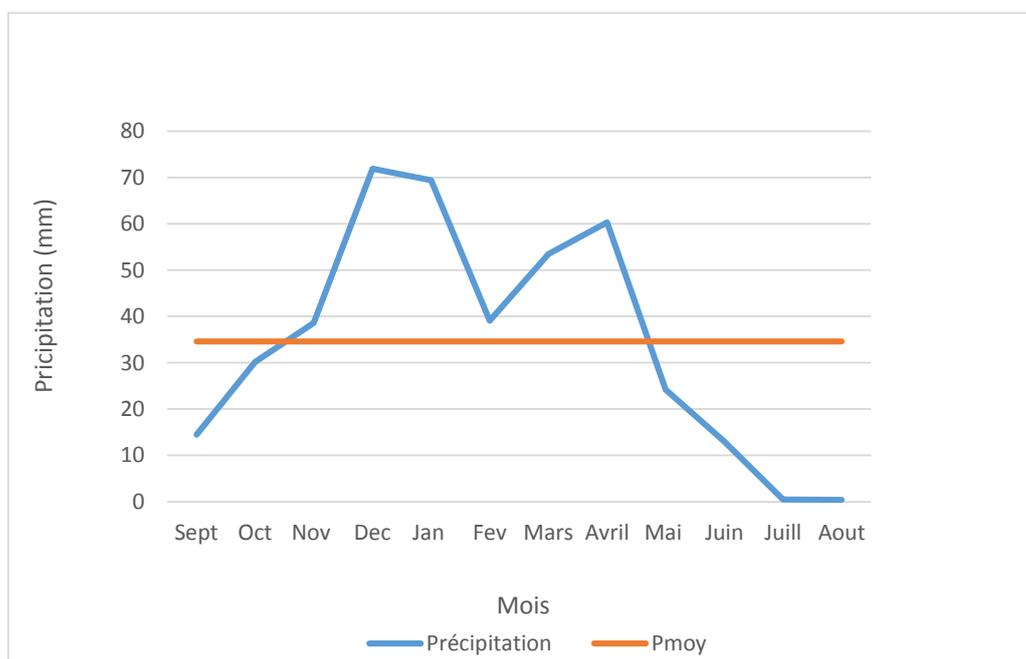


Figure III.2 : représentation graphique des précipitations moyennes mensuelles.

❖ Dans le tableau III.4 est représentée les précipitations moyennes annuelles :

Tableau III.4 : Précipitations moyennes annuelles des stations

Les stations	Années	P moyennes
GHAZAOUET BOR	1971 – 2011	377.54
GHAZOUET PHARE	1901 – 1979	406.26
GHAZAOUET BATTERIE	1953 – 1970	428.023
DAR BENCHARKI	1974 – 2011	359.04
NEDROMA FORET	1924 – 1969	511.71
SIDI BOUDJNANE	1952 – 2011	412.72

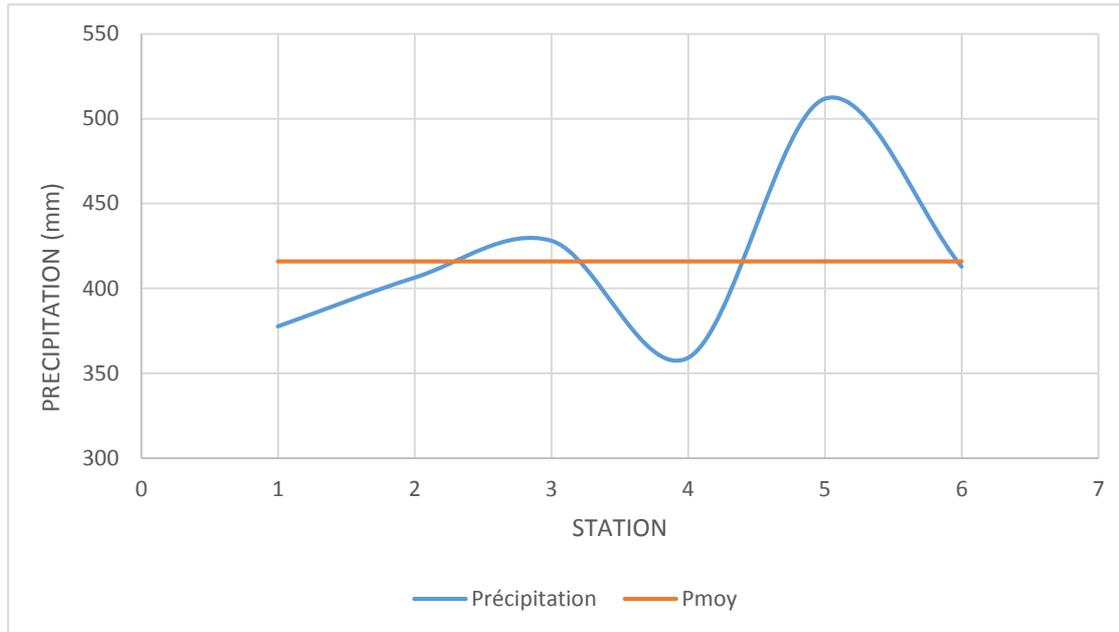


Figure III.3 : Représentation graphique des précipitations moyennes annuelles.

III.2.3 : Calcul des différents paramètres statistiques de la série :

D’après la série pluviométrique, on calcule les différents paramètres statistiques de celle-ci qui sont représentées dans le tableau III.5 :

Tableau III.5 : Les différents paramètres statistiques des séries pluviométriques

Les différents paramètres	Les formules	Résultats	Unités
La somme des pluies (la somme arithmétique mensuelle)	$P = \frac{\sum P_i}{n}$	415.88	mm
Ecart type	$\delta = \sqrt{\frac{\sum (P - P_i)^2}{n}}$	48.53	Mm
Coefficient de variation	$C_v = \frac{\delta}{P}$	0.11	-

Le résultat de $C_v=0.11$ est inférieure à 0.5 donc on peut dire que la distribution représentée par la **loi normale**.

III.2.4 : Précipitations moyennes annuelles de station de GHAZAOUET BATTERIE :

Tableau III.6 : Précipitations moyennes annuelles de station de GHAZAOUET BATTERIE.

Année	P (mm)
1953	513,2
1954	452,8
1955	392,5
1956	409,5
1957	293
1958	350,4
1959	358,4
1960	300,9
1961	323,4
1963	320,1
1964	751,9
1965	171,7
1969	372,3
1970	490
1971	624,9
1972	523,8
Moyenne	415.55

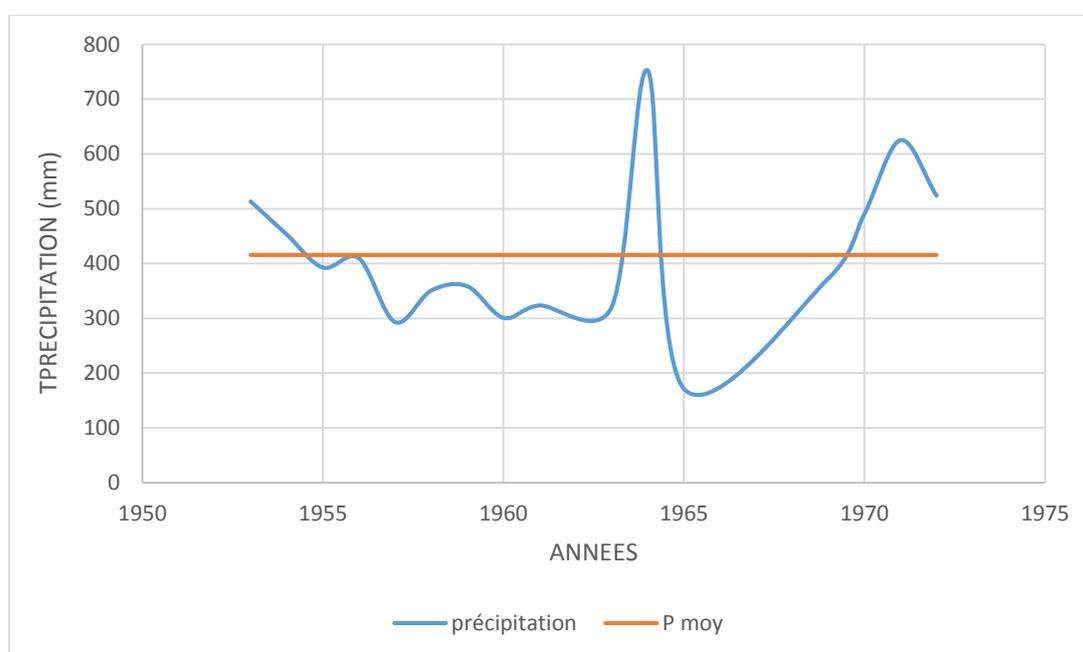


Figure III.4 : Représentation graphiques des précipitations moyennes annuelles.

D'après la série pluviométrique, en calcule les différents paramètres statistiques de celle-ci qui sont représentées dans le tableau III.7 :

Tableau III.7 : Paramètres statistiques de la série pluviométrique

Les différents paramètres	Les formules	Résultats	Unités
La somme des pluies (la somme arithmétique mensuelle)	$P = \frac{\sum P_i}{n}$	415.55	mm
Ecart type	$\delta = \sqrt{\frac{\sum (P - P_i)^2}{n}}$	137	Mm
Coefficient de variation	$C_v = \frac{\delta}{P}$	0.32	-

Le résultat de $C_v=0.32$ est inférieure a 0.5 donc on peut dire que la distribution représente par la **loi normale**.

III.3 : Analyse statistique des séries pluviométriques :

III.3.1 : Ajustement des précipitations annuelles :

Les séries pluviométriques utilisées dans cette analyse, sont ceux de la station de GHAZAOUET BATTERIE. L'analyse port sur les précipitations allant de 1953 à 1972 soit 16 années d'observations.

Temps que le coefficient de variation $C_v < 0.5$ ce résultat indique que l'ajustement suit une loi normale. Pour confirmer cela suffit en passe au test du X^2 de K.

$$X^2 = \sum_{l=1}^K \frac{(n_i - n_{pi})^2}{n_{pi}}$$

Avec :

- K : Nombre de classe ($K > 4$).
- n_i : Effective observé.
- n_{pi} : Effective théorique.

Tableau III.8 : Résultat de calcul de X^2 de la station de GHAZAOUET BATTERIE.

Classe	Effective observé (n_i)	Effective théorique (n_{pi})	$\frac{(n_i - n_{pi})^2}{n_{pi}}$
1	1	3.84	1.07
2	1	2.77	1.13
3	7	6.35	0.06
4	3	4.11	0.29
5	2	4.61	1.4
6	2	9.21	5.64

III.3.2 : Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée :

A partir de l'équation $P = P_{moy} + \delta * \mu$ on détermine les périodes de récurrence donnée dans le tableau III.9, nous avons représenté les valeurs des précipitations pour les périodes considérés.

Tableau III.9 : Valeurs des précipitations pour des périodes récurrence donnée.

Station	GHAZAOUET BATTERIE
P ₁₀ ans (mm), ($\mu = 1,26$)	588,17
P ₅₀ ans (mm), ($\mu = 2,06$)	697,77
P ₁₀₀ ans (mm), ($\mu = 2,33$)	734,76

III.3.3 : Évaluation de la pluie moyenne annuelle précipitée sur le bassin :

a) Moyenne arithmétique :

La méthode la plus simple pour calculer la moyenne des pluies à partir de l'ensemble des mesures ponctuelles obtenues à plusieurs stations pluviométriques sur le bassin ou à proximité consiste à calculer la moyenne arithmétique des valeurs obtenues aux stations étudiées ici, on aura : $P_{moy} = 414.626 \text{ mm}$

Tableau III.10 : Récapitulation des données pluviométriques des stations de B.V

GHAZOUANA

Code de station	P moy annuelle
01-03	412.72
06-17	425.37
01-04	393.53
01-07	428.02
01-13	414.93
01-05	417.14
01-01	377.54
01-09	511.71
01-11	359.04
01-06	406.26
Moyenne	414,626

b) Méthode isohyète :

Les isohyètes ou lignes (courbes) d'égale pluviométrie sont tracer avec des logiciels de cartographie dans cet exemple en utilise le logiciel ArcGis. En tenant compte des coordonnées géographique et topographique et des précipitations aux différentes stations pluviométriques. Leur tracé nécessite un réseau dense par rapport à la variabilité spatiale des précipitations.

Elles peuvent être tracées aussi bien pour la détermination de la précipitation moyenne sur l'ensemble du bassin que sur les précipitations fréquentielles.

$$P_{moy} = 424.12$$

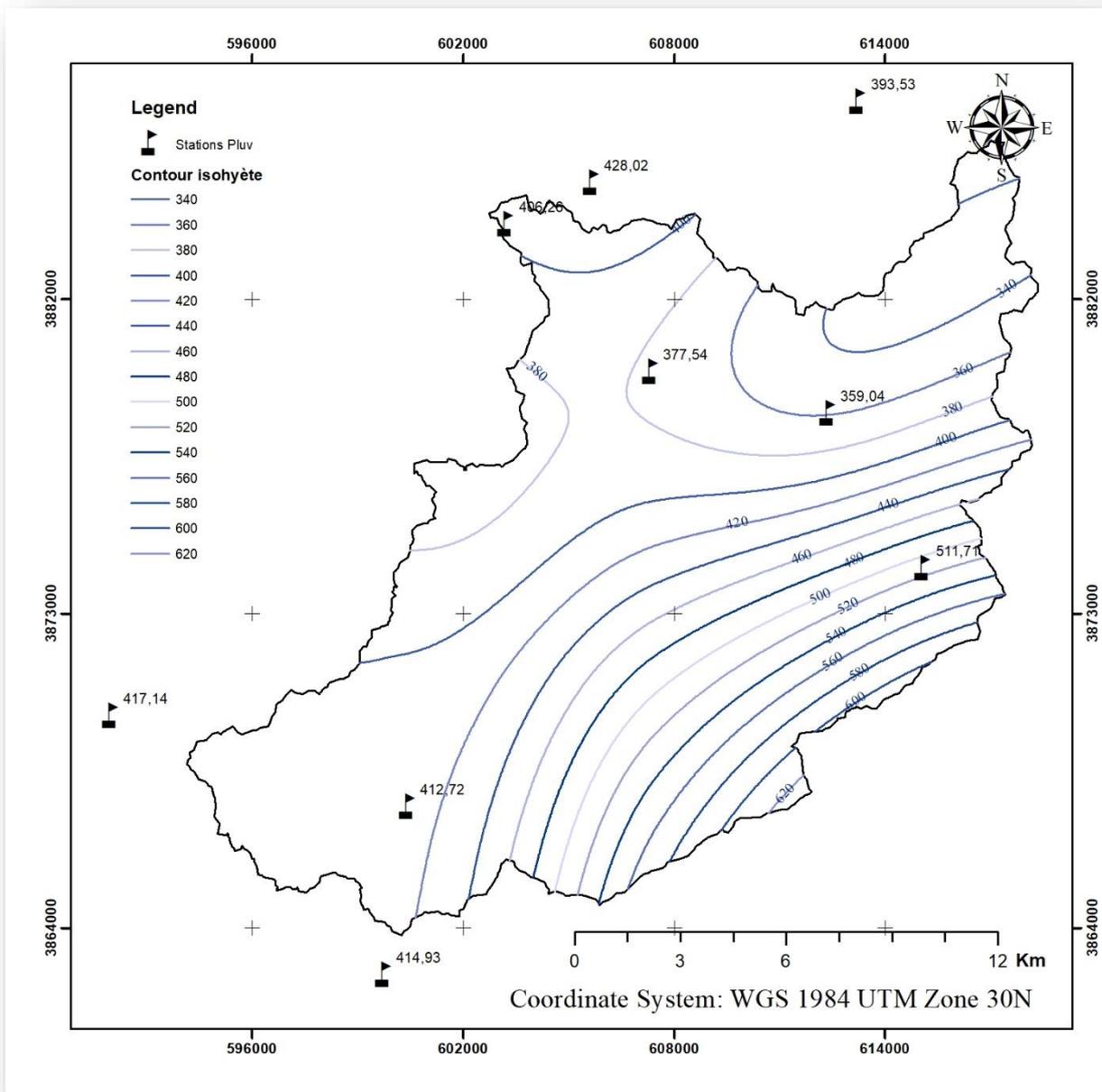


Figure III.5 : Découpage de la surface du B.V de GHAZOUANA selon la méthode des isohyète (En utilisant le logiciel ArcGis).

C) Méthode de THIESSEN :

C'est une méthode purement géométrique. Elle suppose que la pluie en tout point est celle enregistrée au poste pluviométrique le plus proche. Les stations étant géo-référencées, la lame d'eau précipitée interannuelle est calculée pour chaque station pluviométrique sur *n* années d'observations communes. Il faudrait délimiter la zone d'influence de chaque poste pluviométrique et calculer la surface correspondante à l'aide du planimètre (on utilisant le logiciel ArcGis) (III.6).

La précipitation P_{moy} est calculée par l'expression suivante :

$$P_m = \frac{\sum_n^i P_i \times S_i}{S}$$

Avec :

- P_{moy} : pluie moyenne annuelle sur bassin en (mm) ;
- P_i : pluie moyenne annuelle de la station en (mm) ;
- S_i : surface élémentaire d'égale précipitation en (km²) ;
- S : surface totale du bassin versant en (km²) ;

Tableau III.11 : Représente la précipitation moyenne annuelle par la méthode de THIESSEN.

Code de station	P moy annuelle	Surface	$S_i \cdot P_i$
01-03	412.72	93.21	38469.63
06-17	425.37	0.66	280.74
01-04	393.53	6.94	2731.09
01-07	428.02	5.12	2191.46
01-13	414.93	3.14	1302.88
01-05	417.14	4.18	1743.64
01-01	377.54	63.85	24105.92
01-09	511.71	56.15	28732.51
01-11	359.04	47.78	17154.93
01-06	406.26	4.72	1917.54
Total		285	118630,34

La précipitation moyenne annuelle du bassin versant égale à : $P_{moy} = 415.15 \text{ mm}$

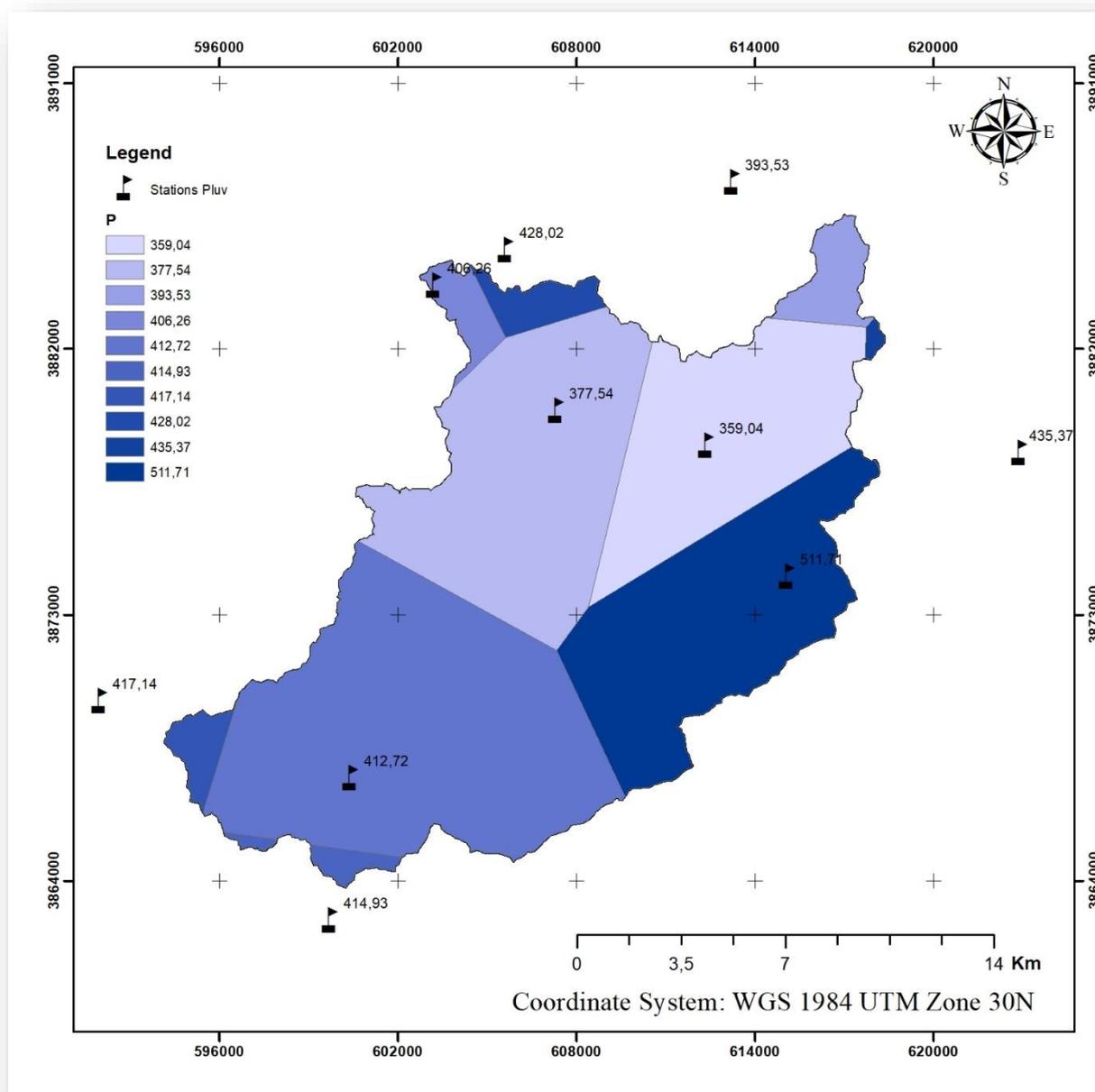


Figure III.6 : Découpage de la surface du B.V de GHAZOUANA selon la méthode de Thiessen
(En utilisant le logiciel ArcGis).

III.4 : Caractéristiques climatologiques du bassin

III.4.1 : Etude des températures :

La température est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et étudiée en thermométrie. Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, provenant du transfert thermique entre le corps humain et son environnement.

Tableau III.12 : Températures moyennes mensuelles et annuelles (°C)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
T _{min} (°C)	5	8	11,52	12,4	15,38	19,1	22	22,8	19,15	14,82	10,3	7,24	13,97
T _{max} (°C)	16,88	18,1	19	21,21	22,8	24,47	26,75	30	26,9	23	21,2	18,7	22,41
T _{moy} (°C)	10,94	13,05	15,26	16,80	19,09	21,78	24,37	26,4	23,02	18,91	15,75	12,97	18,19

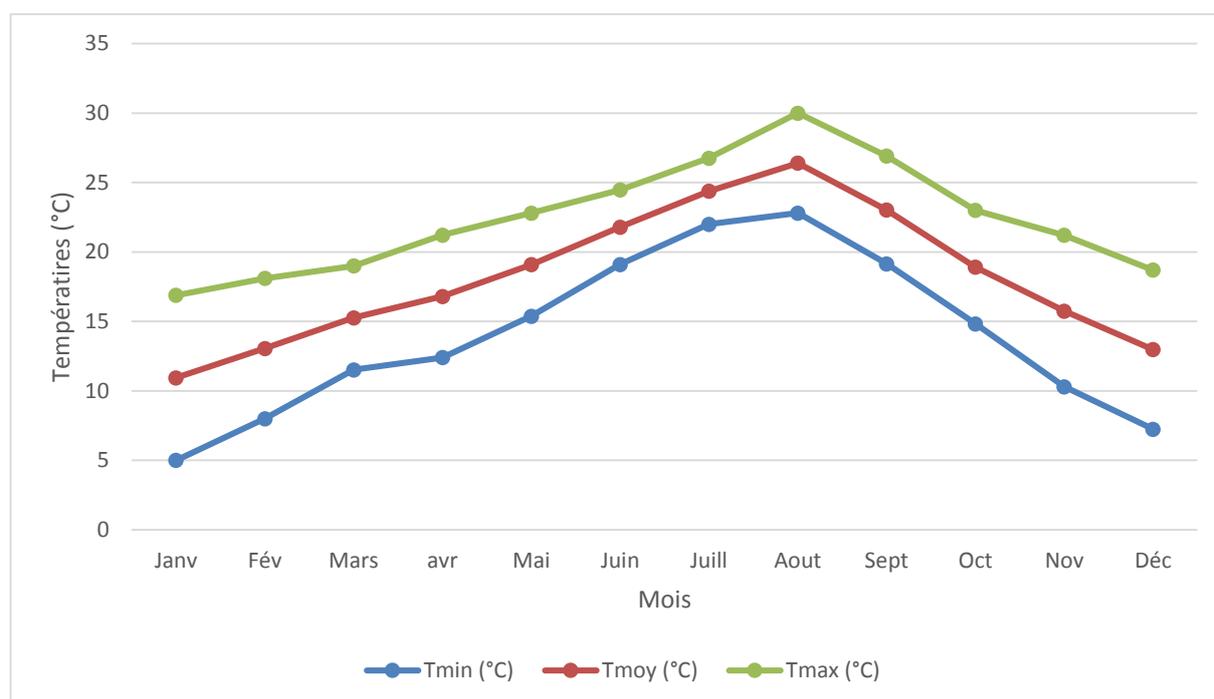


Figure III.7 : Représentation graphique des températures maximales, moyennes et minimales mensuelles

III.4.2 : Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire désigne l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le soleil. Il se compose donc d'ultraviolets, de la lumière visible mais également d'ondes radio en plus de rayons cosmiques.

Tableau III.13 : Intensité de l'énergie solaire mensuelle.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Intensité (MJ/m ²)	9,88	13,11	16,98	19,15	22,68	27,33	27,91	26,1	21	15,62	11,13	7,96	18,23

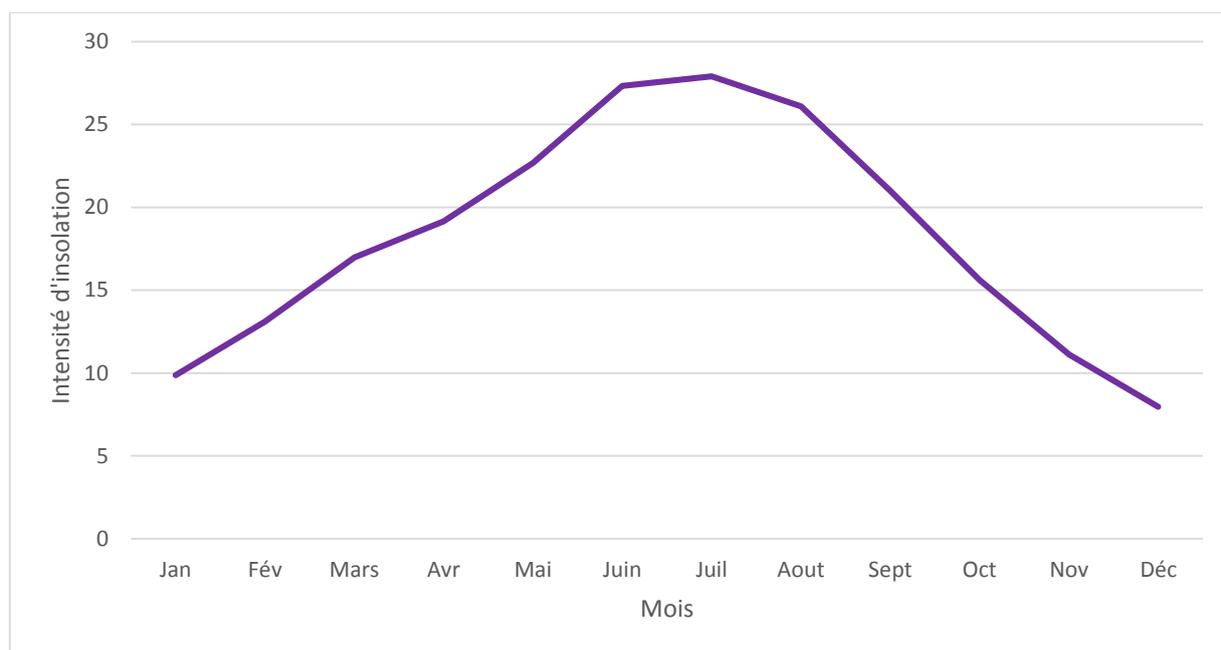


Figure III.8 : Représentation graphique de la variation de l'intensité d'insolation moyenne mensuelle.

III.4.3 : L'humidité relative :

L'humidité relative de l'air, ou degré hygrométrique, couramment notée H correspond au rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante à la même température.

Tableau III.14 : Variation de l'humidité moyenne mensuelle.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
H %	71,12	69,65	67,49	65,67	61,14	55,3	51	52,4	59	63,7	67	71	62,87
Tmoy (°C)	10,94	13,05	15,26	16,80	19,09	21,78	24,37	26,4	23,02	18,91	15,75	12,97	18,19

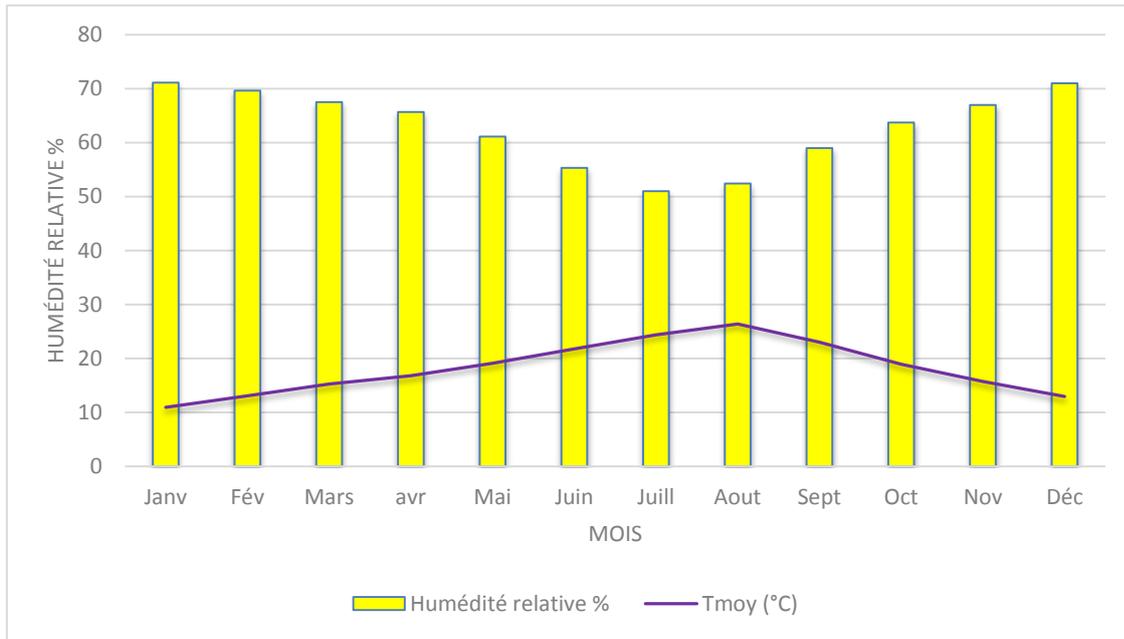


Figure III.9 : Représentation graphique de la variation de l’humidité relative moyenne mensuelle en fonction de la température moyenne.

III.4.4 : Le vent :

Le vent est le mouvement au sein d’une atmosphère, masse de gaz située à la surface d’une planète d’une partie de ce gaz. Les vents sont globalement provoqués par un réchauffement inégalement réparti à la surface de la planète provenant du rayonnement solaire, et par la rotation de la planète.

Tableau III.15 : Variation de vitesse du vent moyenne mensuelle.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Vitesse du vent (m/s)	1,47	1,63	2,94	3	2,97	2,7	2,5	2,41	2,41	2,16	2,22	3,44	2,48

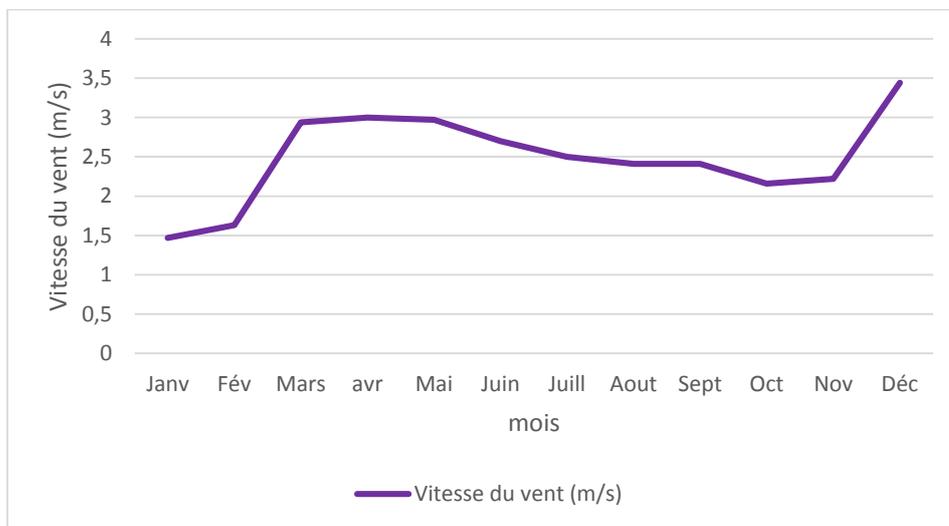


Figure III.10 : Représentation graphique de la variation de vitesse moyenne mensuelle du vent.

III.4.5 : Evaporation :

L'évaporation est un passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux à la surface d'un liquide. Ce phénomène est une vaporisation progressive qui a pour effet d'absorber de l'énergie thermique et donc de réduire la température de l'environnement.

L'évaporation annuelle est calculée par la relation suivante :

$$E_v = 0.342 n D^{0.80} (1 + 0.39 V)$$

Avec :

E : évaporation (mm).

n : nombre de jours du mois considéré (n = 30 ou 31 selon le mois pour les calculs mensuels et n = 1 pour les calculs journaliers).

V : vitesse du vent il considéré les moyennes mensuelles (m/s).

D : déficit de saturation de l'air en millibars (mb), est donnée par la relation suivante :

$$D = 0.0632 (100 - H).e^{0.0632 t}$$

Avec :

H : moyenne mensuelle de l'humidité de l'air (%).

t : moyenne mensuelle de la température de l'air (°C).

Tableau III.16 : Paramètre de calcul de l'évaporation

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
V (m/s)	1,47	1,63	2,94	3	2,97	2,7	2,5	2,41	2,41	2,16	2,22	3,44	2,48
Tmoy (°C)	10,94	13,05	15,26	16,80	19,09	21,78	24,37	26,4	23,02	18,91	15,75	12,97	18,19
H (%)	71,12	69,65	67,49	65,67	61,14	55,3	51	52,4	59	63,7	67	71	62,87
D (mb)	1,94	2,04	2,18	2,31	2,61	3,01	3,29	3,20	2,76	2,44	2,22	1,95	2,49
Ev (mm)	28,39	27,74	42,58	43,51	49,38	50,85	54,40	52,21	44,84	39,92	36,25	42,39	42,71

III.5 : Classification et paramètre climatique :

Pour clarifier le type de climat dans la région nous appuyons sur les méthodes suivant :

III.5.1 : La méthode pluviométrie :

Selon GAUSSEN et BAGNOUL, un mois est dit sec si le total des précipitations moyennes est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P < 2T$). Cette relation permet d'établir des diagrammes pluviométrique sur lesquels la température est portée sur une double échelle de celle des précipitations (figure III-11).

La période du mois de Juin au mois d'octobre est une période sèche, alors que celle de Juin jusqu'à Mais est humide.

Tableau III.17 : Représente les températures et précipitations moyennes mensuelles :

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Tmoy (°C)	10,94	13,05	15,26	16,80	19,09	21,78	24,37	26,4	23,02	18,91	15,75	12,97
Pmoy (mm)	14,45	30,22	38,58	71,90	69,4	39,05	53,49	60,29	24,22	12,99	0,46	0,45

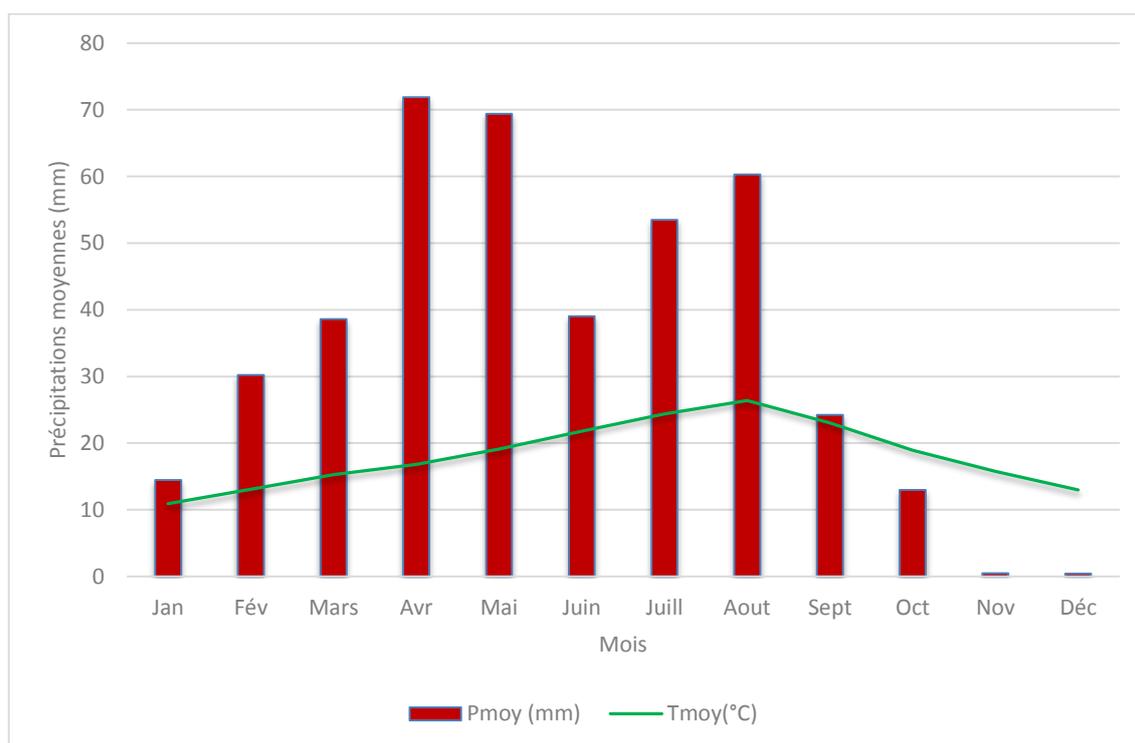


Figure III.11 : Représentation graphique de la variation des précipitations moyennes mensuelles en fonction de la température moyenne.

III.6 : Les indices climatiques généraux :

L'objectif de l'utilisation des indices climatiques est pour but de déterminer le régime climatique de la région étudiée (type de climat). Pour calculer les indices on utilise les méthodes suivantes :

III.6.1 : L'indice de MARTONNE :

MARTONNE en 1993 a introduit un indice d'aridité est un indicateur utile pour caractériser le phénomène d'aridité en exprimant le caractère restrictif pour certaines formations végétales.

On utilise l'équation suivante :

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

Avec :

I : indice d'aridité de MARTONNE

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) P = 415.55 mm

T : Température moyenne annuelle (°C) T = 18.19 (°C)

On obtient un indice d'aridité : $I = 14,74$

Alors selon la répartition donnée par DEMARTONNE l'indice d'aridité est compris entre

$$10 < I < 20$$

L'utilisation de l'abaque de l'indice d'aridité de DEMARTONNE confirme que notre région dans un climat *semi-aride*.

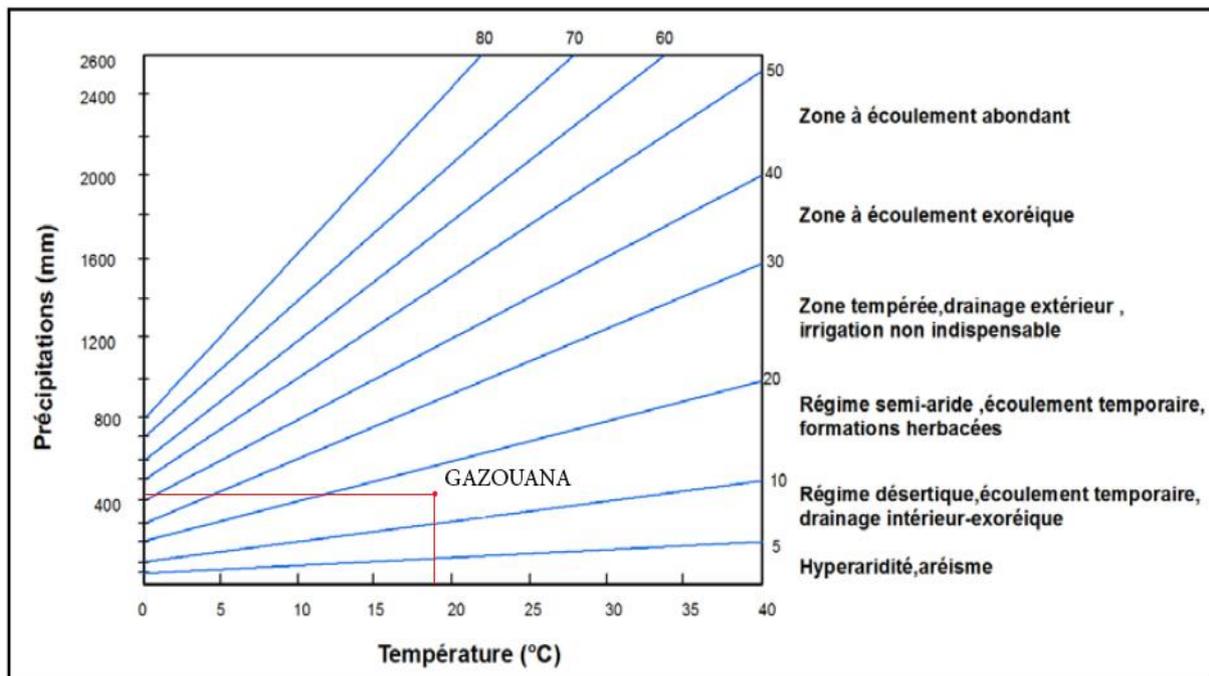


Figure III.12 : Abaque de l'indice de MARTONNE

III.6.2 : L'indice d'EMBERGER :

L'indice d'EMBERGER permet la classification des différents climats méditerranés. Ceux-ci caractérisés par des saisons thermiques nettement tranchées et par une pluviosité concentrée sur la période froide de l'année. L'été est la saison sèche.

EMBERGER en 1955 établit l'indice pluviométrique et définit le bioclimat d'une région suivant la relation :

$$Q = \frac{P}{\left(\frac{M+m}{2}\right) * (M-m)} * 1000$$

Avec :

Q : L'indice d'EMBERGER

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm) P = 415.55 (mm)

M : Moyenne des températures maximal pour mois le plus chaud en (°K)

m : Moyenne des températures maximal pour mois le plus froid en (°K)

On a : M = 30 °C = 303,15 °K (30 °C + 273,15 = 303,15 °K)

m = 5 °C = 278,15 °K

Le résultat de la formule d'EMBERGER est : **Q = 57,18**

L'utilisation de l'abaque de l'indice d'EMBERGER montre que notre région a un climat *semi-aride*. (Figure III.11).

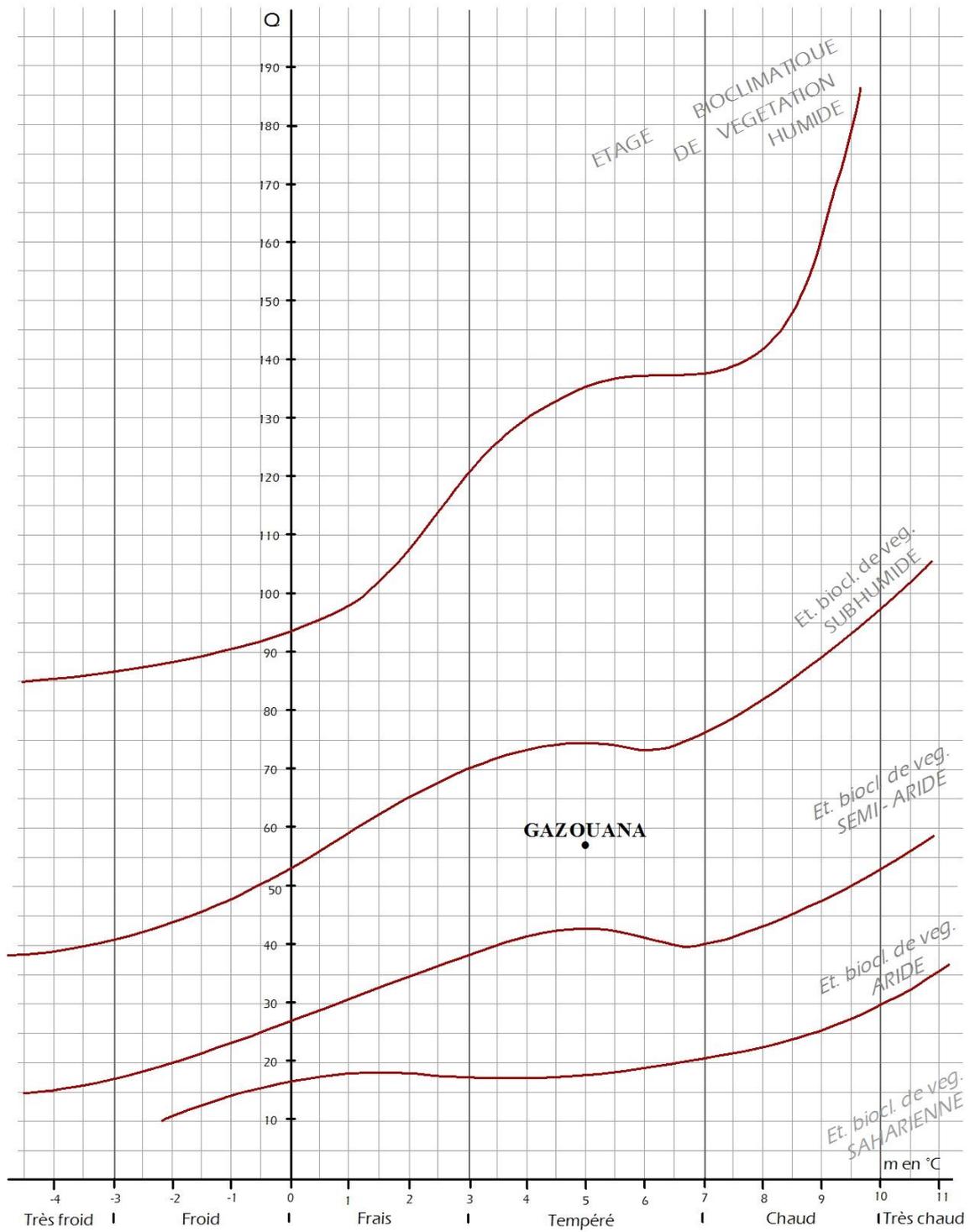


Figure.III.13 : Abaque de l'indice d'aridité d'EMBERGER.

III.7 : L'évapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle est la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

L'évapotranspiration réelle est appelée aussi le déficit d'écoulement (De) représente essentiellement les pertes dues à l'évaporation. Il peut être estimé à l'aide de méthode ou de formule de calcul. Nous avons :

III.7.1 : La formule du L.TURC :

C'est une méthode empirique de calcul du déficit d'écoulement en fonction de la précipitation et de la température annuelle indiquée par l'équation suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

L : Est formulé par l'expression :

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 = 1055,68$$

T : température moyenne annuelle (°C)

Après l'application de la formule de TURC on trouve : ETR = 404,58 mm

III.7.2 : La formule de COUTAGNE :

COUTAGNE en 1935 introduit la notion dite fondamentale de déficit d'écoulement. Il est exprimé par la différence entre les indices pluviométrique et d'écoulement. Ce paramètre décrit le comportement du système hydrologique.

L'indice fondé par COUTAGNE est défini par les équations suivantes :

$$D = ETR = P - (\lambda * P)$$

Avec

D : Déficit d'écoulement

ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

T : Température moyenne annuelle (°C)

La formule n'est applicable que pour les précipitations annuelles moyennes comprises entre : $\lambda/8$ et $\lambda/2$

Après l'application de l'équation nous donne le résultat suivant :

Tableau III.18 : les valeurs de λ

P (m)	λ	$\lambda/8$	$\lambda/2$
0,415	0,298	0,037	0,149

D'après les résultats du tableau III.18 la condition d'application de la formule de COUTAGNE n'a pas été vérifiée car la valeur de P en (m) n'est pas comprise entre $\lambda/8$ et $\lambda/2$ ($0.415 \notin [0,037-0,153]$) ; donc le déficit d'écoulement est égale aux précipitations $D = P$.

III.7.3 : La formule de P.VERDEIL :

L'utilisation de l'abaque de P.VERDEIL permet de trouver un déficit d'écoulement (D_e) égale à 405 mm soit 97,53 % de précipitation. (Figure III.12)

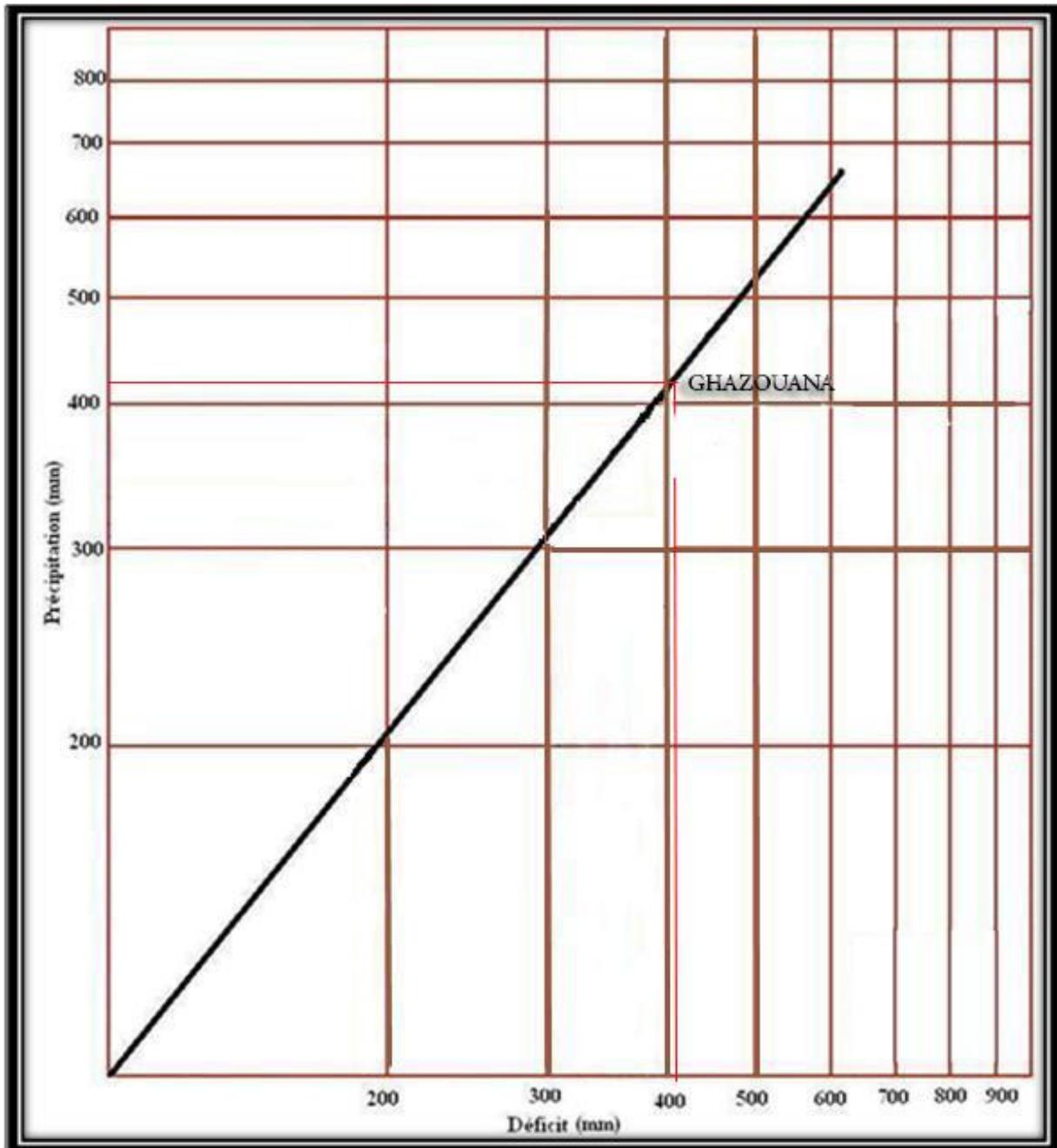


Figure III.14 : Abaque de l'indice de P. VERDEIL

III.7.4 : La formule de WUNDT :

L'abaque de WUNDT est pour un objectif de déterminer graphiquement l'évapotranspiration réelle en fonction des précipitations moyennes annuelles et la température moyenne annuelle.

La valeur obtenue à la station de GHAZOUANA est de 400 mm

$$P_{\text{moy}} = 415,55 \text{ mm}$$

$$T = 18,19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

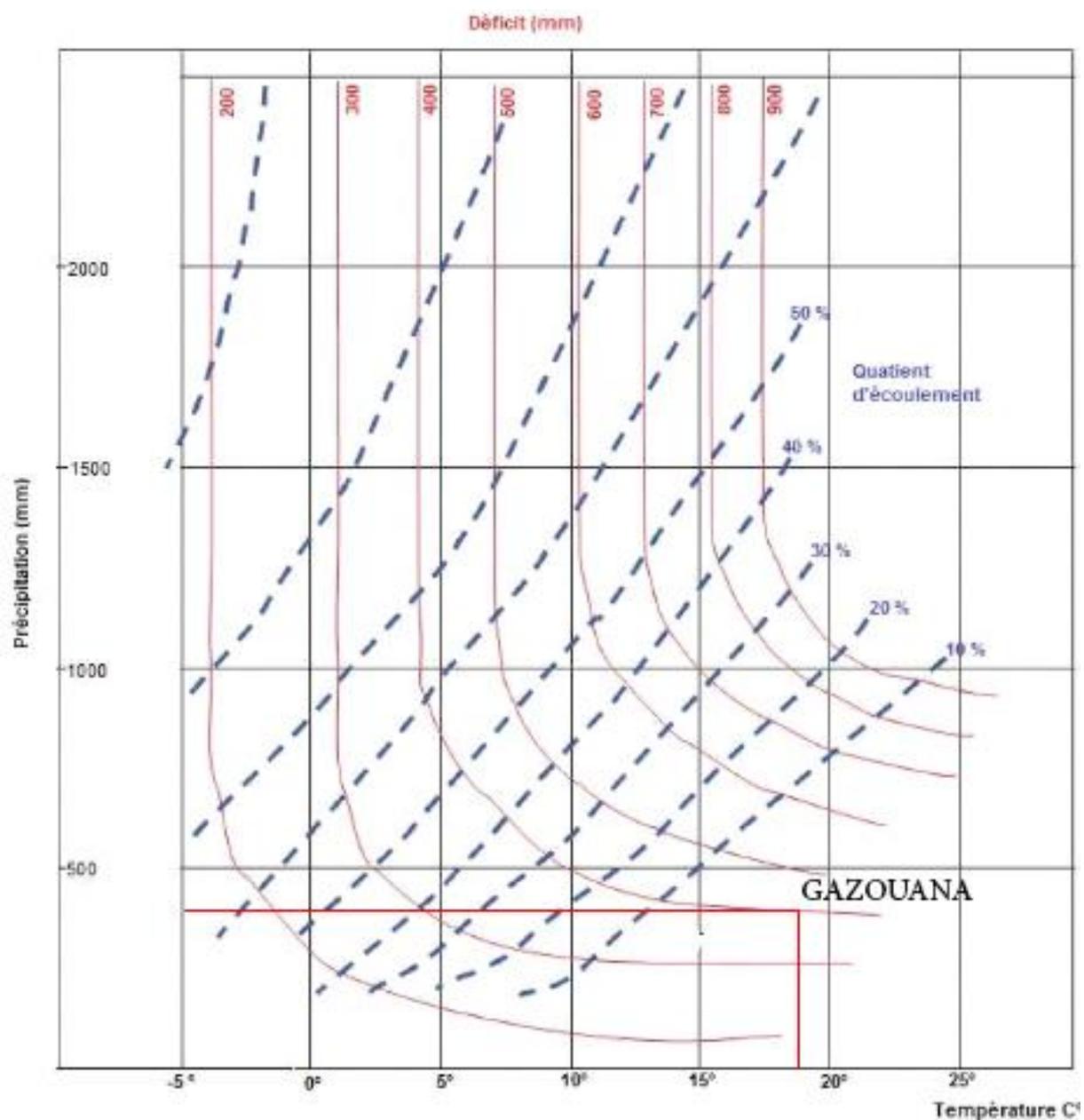


Figure III.15 : Abaque de l'indice de WUNDT

Le tableau suivant III.19 résume les différentes valeurs de l'ETR calculée précédemment :

Tableau III.19 : Les valeurs d'ETR

Méthode	ETR	Unités
L.TURC	404,58	Mm
P.VERDIL	405	Mm
WUNDT	400	Mm
Moyenne	403.19	Mm

Pour avoir une seule valeur de l'ETR on prend la moyenne de tous ces résultats on trouve :

$$ETR = D = 403,19 \text{ mm.}$$

III.8 : L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

La quantité d'évaporation qui pourrait se produire en cas d'approvisionnement en eau suffisant. Une région aride est un endroit où le potentiel annuel d'évaporation excède les précipitations annuelles. L'unité de l'évapotranspiration potentielle est en (mm).

III.8.1 : Méthode de THORNTHWAITE :

Permet d'estimer l'évapotranspiration potentielle à l'échelle mensuelle en un lieu en fonction des températures moyennes mensuelles et de latitude de ce lieu. Si l'estimation est exprimée en (mm) la formule de THORNTHWAITE s'écrit :

$$ETP = 16 * (10T/I)^a$$

$$ETP \text{ cor} = 16 * (10T/I)^a * F$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm)

ETP cor : Evapotranspiration potentielle mensuelle correcte (mm)

T : Température moyenne mensuelle (°C)

I : Sommes des indices thermiques mensuels de l'année

F : Coefficient de correction (dépend de latitude et du mois)

Les résultats obtenus réalisés par Microsoft Excel :

$$i = \left[\frac{T}{5}\right]^{1.514}$$

$$I = \sum_1^{12} i = 87.02$$

$$a = 6.75/10^{-7} * I^3 - 7.71 * 10^{-5} * I^2 + 0.49239 + 1.79 * 10^{-2} * I = 0.91$$

Tableau III.20 : Paramètres mensuels interannuels de l'ETP (THORNTHWAITE)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
T moy (°C)	10,94	13,05	15,26	16,80	19,09	21,78	24,37	26,4	23,02	18,91	15,75	12,97
i	3,27	4,27	5,41	6,26	7,60	9,28	11	12,41	10,09	7,49	5,68	4,23
ETP	24,77	36,69	46,77	56,20	71,74	92,28	114,37	133,26	102,58	70,45	49,68	34,28
F	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
ETP cor	21,55	29,49	48,18	61,26	86,81	11,66	140,68	154,58	105,65	68,34	42,73	29,14

L'évapotranspiration potentielle ainsi calculée par la formule de THORNTHWAITE donne une valeur de 900,11 mm, elle montre un maximum en Aout et minimum en Janvier.

III.9 : Les différents paramètres du bilan hydrologique :

L'application de la méthode du bilan hydrologique est limitée par la difficulté de quantifier les variables effectivement, les processus hydrologique sont difficiles à observer directement sur le terrain et donc à mesurer. Notons que les erreurs de mesure éventuelles des termes qu'on retrouve dans l'équation hydrologique simplifier se répercutent directement sur les valeurs calculées de l'évaporation.

- Si les précipitations sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle ($P > ETP$), donc l'évapotranspiration réelle sera égale à l'évapotranspiration potentielle ($ETR = ETP$) et l'excédent des précipitations sera emmagasine dans le sol.
- Si les précipitations sont inférieures a l'évapotranspiration potentielle : ($P < ETP$) l'évapotranspiration réelle sera égale la somme des précipitations du mois :

1)- Si la réserve antérieure d'humidité du sol est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations, l'évapotranspiration réelle sera égale à l'évapotranspiration potentielle ($ETR = ETP$) et les réserves du sol seront réduites par la différence entre l'évapotranspiration potentielle et les précipitations du mois considéré.

2)-Si la réserve d'humidité du sol est insuffisante pour satisfaire ETP, ETR reste inférieure à celle-ci et sera égale à la somme des précipitations du mois, et des réserves disponibles.

On a :

$$Ru = P - ETP$$

$$Ex = P - ETP$$

$$Da = ETP - P$$

Avec :

Ru : Réserves utiles

Ex : excédent (ruissellement à l'échelle du bassin)

Da : Déficit agricole

Tableau III.20 : Différentes valeurs mensuelles de ETP, ETR, Ex, Da, Ru, P, T

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sert	Oct	Nov	Dec	Année
Pmoy (mm)	38,58	71,9	69,4	39,05	30,22	14,45	0,46	0,45	53,49	60,29	24,22	12,99	415,55
Tmoy (°C)	10,94	13,05	15,26	16,80	19,09	21,78	24,37	26,4	23,02	18,91	15,75	12,97	18,19
ETP (mm)	21,55	29,49	48,18	61,26	86,81	11,66	140,68	154,58	105,65	68,34	42,73	29,14	900,11
P - ETP	-7,10	0,72	-9,60	10,63	-17,41	-72,61	-87,19	-94,29	-81,34	-55,35	-42,27	-28,69	/
ETR (mm)	21,55	29,49	48,18	39,05	30,22	14,45	0,46	0,45	53,49	60,29	24,22	12,99	334,84
Ru (mm)	38,58	71,9	69,4	0	0	17,24	0	0	0	0	0	0	197,12
Ex (mm)	17,03	42,41	21,22	0	0	2,79	0	0	0	0	0	0	83,45
Da (mm)	0	0	0	22,21	56,59	0	140,22	154,13	52,16	8,05	18,51	16,15	468,02

D'après le tableau III.20 on observant dans les mois avril, mai et la période entre juillet et décembre une réserve d'eau du sol (Ru) est nulle, durant cette période, des valeurs variables du déficit agricole sont enregistrées. La valeur maximale du Ru dans le mois février qui égale 71,9 Les valeurs trouvées du déficit agricole correspondent à une estimation sur les besoins en eau d'irrigation des cultures.

Tableau III.21 : Paramètres climatiques et statistique et hydrologique :

Caractéristique climatique	Symbol	Unité	Résultats
Précipitation moyenne annuelle	P	mm	415,55
Ecart type	δ	mm	137
Coefficient de variation	Cv	/	0,32
Température moyenne annuelle	T	°C	18,19
Intensité solaire	Is	Mj/m ²	18,23
Humidité	H	%	62,87
Vitesse de vent	V	m/s	2,48
Evaporation	Ev	mm/ans	42,71
Evapotranspiration réelle	ETR	mm	
Evapotranspiration potentielle	ETP	mm	900,11
Réserve utiles	Ru	mm	
Excédent	Ex	mm	
Déficit agricole	Da	Km ³	

Conclusion :

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les habitants et les écosystèmes. Dans la région de GHAZAOUET on a une précipitation moyenne égale à 415,15 mm, et a partir les abaques d'EMBERGER, VERDEIL et WUNDT on observe un climat semi-aride. Son oublier qu'il y'a une humidité de 62,87% et une température moyenne annuelle de 18,19 °C.

CONCLUSION GENERALE

La priorisation de bassin versant est l'une des approches les plus pertinentes dans la planification, la gestion des risques naturels et la mise en œuvre des programmes de développement durable.

Les résultats de l'étude des paramètres morphométriques de bassin versant de GHAZOUANA, montre leur caractéristique relative et ainsi leur réponse hydrologique.

Nous avons été amenés à extraire le bassin versant en question, et à déduire ses caractéristiques géomorphologiques et hydrométriques, à partir d'un modèle numérique de terrain.

L'évaluation de ces paramètres qui intervenant dans le comportement hydrologique du bassin versant de l'Oued El-Ham nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

Oued GAZOUANA draine un bassin d'une superficie de 285 (km²) et un périmètre de 103.51 (km). Sa forme allongée avec un relief assez fort, pour une altitude moyenne de 387.27 (m), le réseau hydrographique de ce bassin est caractérisé par un cours d'eau principal long de 25.37 (km) correspondant à un ordre 5 et un temps de concentration de 5 (heure).

Le bassin versant de GAZOUANA présente un climat semi-aride. La pluviométrie du bassin est irrégulière avec une précipitation moyenne de 415 mm, caractérisée par des périodes hivernales pluvieuses et des périodes estivales sèches.

Le bilan hydrologique présente une variation remarquable avec une précipitation irrégulière, des températures élevée, le vent abondante et la forte intensité du rayonnement solaire.

Le diagnostic physico-géographique et la connaissance du bassin versant permettant de caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans l'écoulement.

Le changement climatique causera des phénomènes climatiques extrêmes comme sécheresses, les précipitations abondantes.... Arrivent de plus en plus fréquemment.

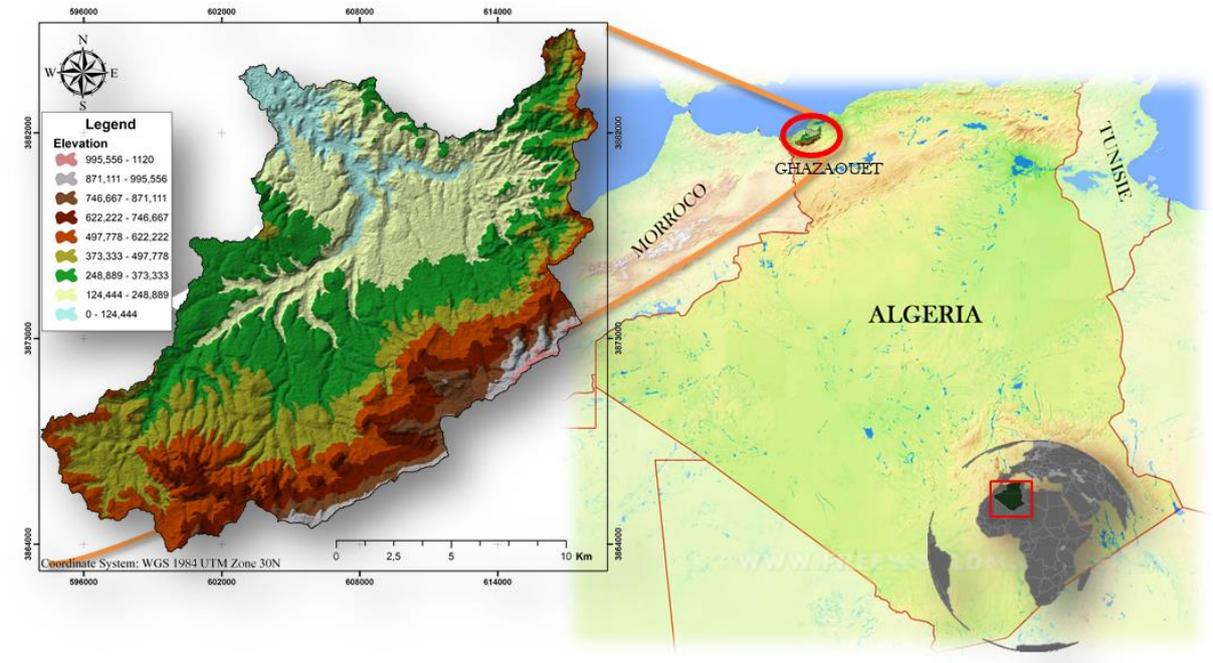
Les saisons sont devenus très instables ce qui a entre autres des conséquences sur l'agriculture.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

1. CTH [étude de la protection de la ville de GHAZAOUET].
2. [étude de l'aménagement d'Oued GHAZOUANA – Wilaya de Tlemcen].
3. Degoutte. G : hydraulique et morphologie pluviales appliquées, édition sec et doc, Lavoisier.
4. Direction de l'hydraulique de la wilaya de Tlemcen – DHWT.
5. Djoukbala O, Hasbaia M, Benselama O, Mazour M (2019) Comparison of the erosion prediction models from USLE, MUSLE and RUSLE in a Mediterranean watershed, case of Wadi Gazouana (N-W of Algeria). Model Earth Syst Environ. doi: 10.1007/s40808-018-0562-6
6. DJOUKBALA, Omar. Etude des techniques et aménagements traditionnels de conservation de l'eau et du sol dans les montagnes du nord algérien. Thèse de doctorat. Centre Universitaire de Ain Témouchent-Belhadj Bouchaib 2019.



ANNEX



	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986



Intégrale $\Pi(t)$ de la Loi Normale Centrée Réduite $\mathcal{N}(0; 1)$.

$$\Pi(t) = P(X \leq t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad \text{et} \quad \Pi(-t) = 1 - \Pi(t).$$

t	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

