

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Sciences de la Terre et de
l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم : علوم الأرض و الكون

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique
En Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Option : Hydrogéologie

Thème

Etude du fonctionnement hydrologique du bassin
versant d'oued El-Agram (Jijel, NE Algérie)

Membres de Jury Présenté par

Président : Zahi Fouzi

Examineur : Mehdiid Souhil

Encadrant : Drouiche Abdelmalek

Mehidi Nihad

Mirouh Hicham

Année Universitaire 2021-2022

Numéro d'ordre(bibliothèque) :

Remerciement

Nous remercions cordialement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail,

Nous remercions particulièrement et profondément, nos parents pour leur dévouement tout au long de notre parcours scolaire.

Nous remercions particulièrement Mr le directeur des barrages de l'Est Algérien MOKRANI Kamal d'avoir nous aider à obtenir les données nécessaires à la réalisation de ce mémoire, Nos vifs remerciements sont adressés à notre encadreur Dr DROUCHE Abdelmalek pour ces efforts, ses précieux conseils et ses informations qu'il nous a toujours prodigués. Qu'il trouve ici le témoignage de notre respects et reconnaissances,

Nous remercions également Dr ZAHY Faouzi

Nos remerciements sont adressés aux membres de jury d'avoir accepté de juger et évaluer ce modeste travail.

Nous tenons également à remercier tous les travailleurs du barrage d'El-Agrem particulièrement :

Mr le Directeur de barrage Mimoun Ali,

Les ingénieurs : Benhamada Foudil, Cheniti Ammar, Bouchemella Ouahiba, Boutouha Anter , Yessin Abde-Allah, et kmrchi Ahmed,

Et à tous lestravailleurs surtout Baziz Kamel et Ben Ayach Toufik.

Dédicace

Avant tous je dis « EL HAMDOULI'ALLAH »

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance à :

*A la bougie qui a éclairé mon chemin depuis ma naissance " **ma mère** " : pour son amour, ses sacrifices, sa bienveillance et surtout son soutien au long de mon cycle d'étude.*

*A l'être le plus cher " **mon père** " : mon soutien moral et la source de joie et bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, qu'Allah lui Garde la santé mon père.*

A mes très chers frères : Abd-Raouf, Abd-Eldjalil.

A mon binôme : Hicham.

A tous ma famille " Mehidi, Bouakrif " : ma grand-mère et mon grand-père, tous mes tantes et oncles.

A mes cousines surtout : Randa, Hadil, Iman, wissam, Bassema.

A mes très chers amis : Manel, Oumaima, Messaouda R, Amina, Hiba, Saida, Messouda

D, Hanaa, Rahma, Ahlem

A tous mes collègues de Master 2 Hydrogéologie

A tous qui ont contribué de près ou loin à la réalisation de ce travail

Nihad

Dédicace

Avant tous je dis « EL HAMDOULI'ALLAH en arriver à ça »

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A mon binome Nihad

A mes chers Ames qui se partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de réalisation de ce travail, ils m'ont chaleureusement supporté, motivé et encouragé tout au long de mon parcours

Zaki, Walid, Rahim, Rida, Ishak, Yessin, Fouad, Islam, Anis

A tous mes collègues de Master 2 Hydrogéologie qui occupe une place dans mon cœur

Aziz, Akram, El-Heydous, Hamed, Mouhamed, Ayoub, Rania, Saida, Messaouda, Sara, Rahma,

Ahlem.

A mes collègues de Master 2 Géotechnique et RMG

A tous qui ont contribué de près ou loin à la réalisation de ce travail.

Ficham

Résumé

La quantification et la modélisation des débits d'eau des oueds sont des étapes fondamentales pour prévoir le débit des eaux de ruissellement et les zones d'inondation ainsi que les dimensions des infrastructures implantées à travers les oueds (ponts, barrages...). Cependant, cette quantification se complique dans le cas des oueds temporaires, du fait de la forte variabilité du débit. Dans la wilaya de Jijel (NE Algérie), la majorité des oueds étant temporaires, aucune loi expérimentale n'a été trouvée entre les précipitations et le débit des oueds. La formule empirique de Tixeront-Berkaloff est souvent utilisée pour estimer le ruissellement et un logiciel de modélisation spatialisée est utilisé pour estimer le débit de l'oued à partir des précipitations.

Afin de trouver une relation pluie-débit expérimentale, nous avons utilisé l'apport d'eau du barrage d'El Agram. Ce choix a été fait, puisque ce barrage est équipé de stations de mesure hydrométrique et automatique des précipitations à l'échelle journalière, cette dernière est située à une distance de 15 km à l'est de la ville de Jijel, elle s'étend longitudinalement sur une distance d'environ 9,52 km, tandis que transversalement sur 5,82 km.

Le calcul des caractéristiques morphométriques du bassin versant a donné une superficie de 39,45 Km², une forme allongée, une pente moyenne de 150,45, un réseau hydrographique dense d'une longueur totale de 132,544 km et une densité de drainage de 3,35 km/km².

L'analyse de ces données nous a permis de trouver une relation expérimentale entre volume d'eau cumulé et précipitations cumulées à l'échelle des épisodes pluvieux ; déterminer le délai entre la pluie et l'arrivée du ruissellement sur la partie aval du bassin versant ; et d'estimer le ruissellement moyen pour chaque épisode pluvieux. La comparaison de nos résultats avec les approches empiriques nous a permis d'estimer une incertitude de 42,6% entre notre formule et la formule de Tixeront-Berkaloff. En revanche, l'erreur entre notre formule et celle obtenue en 2017 pour le bassin versant du Kissir n'est que de 0,84%.

Mots clés : Bassin versant, épisode pluvieux, relation pluie-débit, ruissellement, débit.

ملخص

يعتبر التحديد الكمي ونمذجة تدفق المياه من الوديان خطوات أساسية للتنبؤ بتدفق مياه الجريان السطحي ومناطق الفيضان بالإضافة إلى أبعاد البنى التحتية المزروعة عبر الوديان (الجسور والسدود...). ومع ذلك ، فإن هذا التقدير الكمي يصبح معقدًا في حالة الوديان المؤقتة ، بسبب التباين الكبير في التدفق. في ولاية جيجل (شمال الجزائر) ، غالبية الأودية مؤقتة ، ولم يتم العثور على معادلة تجريبية تربط بين هطول الأمطار وتدفق الوادي. حيث غالبًا ما تُستخدم الصيغة التجريبية لـ Tixeront-Berkaloff لتقدير الجريان السطحي وتستخدم برامج النمذجة المكانية لتقدير تدفق الوادي بعد هطول الأمطار.

من أجل إيجاد علاقة تجريبية بين التدفق و كمية المطر ، استخدمنا تدفق المياه لسد العجرم. وهذا الاختيار تم باعتبار أن السد مجهز بمحطات قياس هيدرومترية وأتوماتيكية لقياس نسبة هطول الأمطار على نطاق يومي ، وتقع الأخيرة على مسافة 15 كم شرق مدينة جيجل ، وتمتد طولياً على مسافة حوالي 9.52 كم ، بينما يزيد طوله بشكل عرضي عن 5.82 كم. أعطى حساب الخصائص المورفومترية للحوض الهيدروغرافي السد مساحة 39.45 كيلومتر مربع ، شكل طولي للحوض ومتوسط ميل 150.45 ، وشبكة هيدروغرافية كثيفة بطول إجمالي يبلغ 132.544 كيلومترًا ، وكثافة تصريف تبلغ 3.35 كيلومترًا / كيلومترًا مربعًا.

سمح لنا تحليل هذه البيانات بإيجاد علاقة تجريبية بين حجم المياه التراكمي والأمطار التراكمية على مدة فترات هطول الأمطار ؛ لتحديد وقت الإستجابة بين هطول الأمطار ووصول الجريان السطحي في الجزء السفلي من مستجمعات المياه ؛ ولتقدير متوسط الجريان السطحي لكل حلقة من نوبات هطول الأمطار. سمحت لنا مقارنة نتائجنا بالحسابات التجريبية بوجود بنسبة خطأ تقدر بـ 42.6٪ بين صيغتنا وصيغة Tixeront-Berkaloff. من ناحية أخرى ، فإن الخطأ بين معادلتنا والمعادلة التي تم الحصول عليها في عام 2017 للحوض المائي لواد كيسير هو 0.84٪ فقط.

الكلمات المفتاحية: مستجمعات المياه ، حلقة الأمطار ، علاقة تدفق المطر ، الجريان السطحي ، التدفق.

Abstract

Quantification and modeling of water flows from wadis are fundamental steps to predict the runoff water flow and the inundation zones as well as the dimensions of the infrastructures implanted through the wadis (bridges, dams...). However, this quantification becomes complicated in the case of temporary wadis, due to the high variability of flow. In the wilaya of Jijel (NE Algeria), the majority of wadis are temporary, no experimental law has been found between rainfall and wadi flow. The empirical formula of Tixeront-Berkaloff is often used to estimate runoff and spatialized modeling software is used to estimate the wadi flow from rainfall.

In order to find an experimental rain-flow relationship, we used the water inflow from the El Agram dam. This choice was made, since this dam is equipped with hydrometric and automatic rainfall measurement stations on a daily scale, the latter is located at a distance of 15 km east of the town of Jijel, it extends longitudinally over a distance of about 9.52 km, while transversally over 5.82 km.

The calculation of the morphometric characteristics of the watershed gave an area of 39.45 Km², an elongated form, an average slope of 150.45, a dense hydrographic network with a total length of 132.544 km and a drainage density of 3.35 km/km².

The analysis of these data permitted us to find an experimental relationship between cumulative water volume and cumulative rainfall at the scale of rainfall episodes; to determine the delay time between rainfall and the arrival of runoff at the downstream part of the watershed; and to estimate the average runoff for each rainfall episode. The comparison of our results with the empirical approaches permitted us to estimate an uncertainty of 42.6% between our formula and the formula of Tixeront-Berkaloff. On the other hand, the error between our formula and the one obtained in 2017 for the Kissir watershed is only 0.84%.

Keywords: *Watershed, rainy episode, rain-flow relationship, runoff, flow.*

Sommaire

- *Remerciements*
- *Dédicace*
- *Résumé*
- *ملخص*
- *Abstract*
- *Table de matières*
- *Liste des Tableaux*
- *Liste des Figures*

Introduction Générale.....	1
	2

Chapitre I : Etude de bassin versant

I.1	Introduction.....	3
I.2.	La définition de bassin versant.....	3
I.3.	Situation géographique de la zone d'étude	3
I.4.	Les caractéristiques géomorphologiques	4
I.4.1.	L'occupation du sol	4
I.4.1.1.	Le couverture végétale.....	5
I.4.1.2.	La zone urbaine.....	6
I.4.1.3.	Plan d'eau.....	6
I.4.1.4	Terres stériles.....	6
I.4.2.	Les montagnes.....	6
I.4.3.	La dépression.....	6
I.5.	Les caractéristiques physiques du bassin versant.....	7
I.1.5.1.	Les paramètre géométriques.....	7
I.1.5.1.1.	La superficie du bassin versant.....	7
I.5.1.2.	Le périmètre du bassin versant.....	8
I.5.2.	Les paramètres de forme.....	8
1.5.2.1.	Indice de compacité ou de Gravelius.....	8
1.5.2.2.	L'indice de Miller (R _c).....	9
1.5.2.3.	L'indice de Horton (R _f).....	9
I.5.2.4.	Le Rectangle équivalent.....	10
I.6.	Les Caractéristiques de relief.....	11
I.6.1.	La courbe hypsométrique.....	11

I.6.2.	Altitude caractéristique de bassin versant d’oued El-Agrem.....	12
I.6.2.1.	Les altitudes minimales et maximales.....	12
I.6.2.2.	Altitude moyenne	12
I.6.2.3.	Altitude médiane.....	13
I.6.3.	L’indice de pente de bassin versant d’oued El-Agrem.....	13
I.6.3.1.	La dénivelée utile (D).....	13
I.6.3.2.	La dénivelée maximale (D max)	13
I.6.3.3.	L’indice de pente globale (Ig).....	14
I.6.3.4.	La dénivelée spécifique (DS).....	14
I.6.3.5.	Pente moyenne de bassin versant.....	15
I.6.3.6.	La carte de pente de bassin versant.....	16
I.7.	Les caractéristiques hydrographiques de bassin versant.....	18
I.7.1.	Réseau hydrographique.....	18
I.7.2.	Topologie : structure du réseau et l’ordre des cours d’eau.....	19
I.7.3.	La longueur et nombre de thalwegs.....	20
I.7.4.	Les paramètres de réseau hydrographique debassin versant de oued El-Agrem..	21
I.7.4.1.	La densité de drainage.....	21
I.7.4.2.	Coefficient de torrentialité.....	21
I.8.	Conclusion	23

Chapitre II : Contexte géologique

II.1.	Introduction	24
II.2.	Contexte géologique.....	24
II.2.1.	Contexte géologique régional.....	24
II.2.1.1.	Le domaine kabyle	24
II.2.1.2.	Le domaine des flyschs.....	25
II.2.1.3.	Le domaine tellien.....	25
II.2.1.4.	Les formations post-nappes.....	25
II.3.	La géologie de bassin versant d’oued El Agrem.....	26
II.4.	La géologie du barrage d’oued El-Agrem.....	27
II.5.	Conclusion	29

Chapitre III : Caractéristiques hydroclimatiques

III.1.	Introduction.....	30
III.2.	Aperçu général sur le climat de Jijel.....	30
III.3.	Station de météorologique	30
III.4.	Les factures climatiques.....	31

III.4.1.	Les précipitations.....	31
III.4.1.1.	Précipitations moyennes mensuelles.....	32
III.4.1.2.	Précipitations saisonnières.....	33
III.4.1.3.	Précipitations moyennes annuelles.....	33
III.4.2.	Température.....	34
III.4.2.1.	Températures moyennes mensuelles.....	34
III.4.3.	Diagramme ombro-thermique (courbe pluviométrique)	35
III.5.	Bilan hydrique de bassin versant d’oued El-Agrem.....	36
III.5.1.	L’évapotranspiration.....	36
III.5.1.1.	L’évapotranspiration potentielle (ETP).....	36
III.5.1.2.	Evapotranspiration réelle (ETR).....	38
III.5.2.	Estimation de bilan hydrique.....	39
III.5.2.1.	Estimation de ruissellement.....	39
III.5.2.2.	Estimation de l’infiltration.....	39
III.6.	Bilan hydrique selon la formule de C.W Thorntwaite.....	40
III.6.1.	Interprétation de bilan hydrique.....	41
III.7.	Conclusion.....	43

Chapitre IV: Estimation de ruissellement

IV.1.	Introduction.....	44
IV.2.	Barrage El Agrem.....	44
IV.2.1.	Situation de barrage.....	44
IV.2.2.	Les paramètres hydrométriques de barrage.....	44
IV.3.	Les paramètres hydrologie du bassin versant.....	46
IV.4.	Méthodologie.....	47
IV.4.1.	Méthodologie pour le calcul d’apports (affluents).....	47
IV.4.2.	Méthodologie pour le développement des hydrogrammes.....	48
IV.4.3.	Méthodologie de séparation des écoulements.....	50
IV.4.3.1.	La méthode AC. ABC ou ADC.....	50
IV.4.3.2.	Méthode utilisant la courbe type de tarissement.....	51
IV.5.	Les erreurs	54
IV.5.1.	Les erreurs aléatoires (accidentelles).....	54
IV.5.2.	Les erreurs systématiques	55
IV.6.	Discussion des résultats	55
IV.1.	Relation apports d’eau – précipitations.....	59
IV.6.2.	La courbe de corrélation	59

IV.6.3.	L'estimation de volume ruisselé par la formule expérimentale du bassin versant d'oued Kissir (Benamour Z & Fassi S., 2017)	62
IV.6.4.	Comparaison entre les résultats de ruissellement trouvés par les différentes formules.....	62
IV.7.	Conclusion.....	64
	Conclusion Générale et Recommandations.....	65
	Références Bibliographiques	

Annexes

Liste des Figures

Figure	Titre	Page
Chapitre I		
Fig. I.1 :	Carte de situation géographique de bassin versant d'Oued El-Agrem	4
Fig.I.2 :	Carte d'occupation du sol	5
Fig.I.3 :	Carte topographie de la zone d'étude	7
Fig. I.4 :	Longueur de bassin versant selon Horton	10
Fig. I.5 :	Courbe hypsométrique de bassin versant d'oued El-Agrem	12
Fig.I.6 :	Carte de pente du bassin versant d'oued El-Agrem	17
Fig. I .7 :	Carte de réseau hydrographique du bassin versant d'oued El-Agrem	19
Fig.I.8 :	Classification de réseau hydrographie du bassin versant d'oued E-l Agrem selon Strahler	20
Chapitre II		
Fig.II.1 :	Carte géologie de la région jijel (petite kabyle) à partir de la carte J-M Villa de l'Algérie	26
Fig.II.2 :	Carte géologie de bassin versant d'oued El-Agrem	28
Chapitre III		
Fig.III.1 :	Situation de la station de barrage El-Agrem	31
Fig.III.2 :	Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH.1993)	32
Fig.III.3 :	Histogramme des précipitations Moyennes mensuelles de station du barrage El-Agrem (2004-2020)	32
Fig.III.4 :	Précipitation saisonnière à la station d'El Agrem (2004-2020)	33
Fig.III.5 :	Histogramme représenté la variation des précipitations annuelles de station de barrage El-Agrem (2004-2020)	34
Fig.III.6 :	Histogramme représenté la températures moyennes mensuelles à station d'Achouat	35
Fig.III.7 :	Digramme Ombro-thermique de la station d'Achouat (T) et barrage El-Agrem (2004-2020)	36
Fig.III.8 :	Représentation du Bilan hydrologique de la station du barrage d'El-Agrem selon Thornthwaite.	42
Chapitre IV		
Fig.IV.1 :	Les paramètres hydrométriques de barrage	46

Fig.IV.2 :	Composants de hydrogramme	49
Fig.IV.3 :	Séparation d'un hydrogramme par la méthode AC, ABC, ADC	51
Fig.IV.4 :	Hydrogramme des crues	52
Fig.IV.5 :	Hydrogrammes des décrues	52
Fig.IV.6 :	Courbe type de tarissement	53
Fig.IV.7 :	Superposition des courbes de tarissement	54
Fig.IV.8:	La variation des apports par rapport les précipitations (2018)	56
Fig . IV.9 :	Courbe de corrélation être les précipitations et le volume des apports cumulé durant les épisodes pluvieux	60
Fig.IV.10 :	Courbe de corrélation entre les précipitations et le ruissellement durant les épisodes pluvieux	61
Fig. IV.11 :	Corrélation être les précipitations et le ruissellement durant les épisodes pluvieux pour le bassin versant d'oued Kissir (Benamour Z & Fassi S., 2017)	62

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Chapitre I		
Tab.I.1:	Paramètre géométrique	8
Tab. I.2 :	Altimétrie du bassin versant d'oued El-Agrem	11
Tab I.3 :	Altitude caractéristique de bassin versant d'oued El-Agrem	13
Tab. I.4 :	Classification du relief selon ORSTOM	14
Tab.I.5 :	Classification de relief selon ORSTOM	15
Tab.I.6 :	Classification des pentes selon le système international	17
Tab. 7 :	Les paramètres du chevelu hydrographique de BV d'Oued El-Agrem	21
Chapitre III		
Tab.III.1 :	Evapotranspiration selon la méthode de Thornthwaite à la station de Barrage El-Agrem et station d'Achoat	37
Tab.III.2 :	Evapotranspiration réelle selon la formule de Turc à la station d'barrage El-Agrem (2004-2020)	38
Tab.III.3	Evapotranspiration réelle selon la formule de Formule de Coutagne à la station du barrage El-Agrem (2004-2020)	38
Tab.III.4 :	Estimation de ruissellement pour la station du barrage El- Agrem (2004-2020).	39
Tab.III.5 :	Estimation de l'infiltration pour la station du barrage El- Agrem (2004-2020).	40
Tab.III.6 :	Calcul du bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station du barrage d'El-Agrem(2004-2020)	41
Chapitre IV		
Tab.IV.1 :	Volume d'apports des épisodes	59
Tab.IV.2 :	Volume de lame ruisselée des épisodes par la formule expérimentale	61
Tab.IV.3 :	Table de comparaison	63

Liste des symboles

BV	Bassin versant
%	Pourcentage
°C	Degré Celsius
M	Mètre
Km	Kilomètre
Mm	Millimètre
Hm³	Hectomètre cube
P	Précipitations
T	Température
ETP	Evapotranspiration potentielle
ETR	Evapotranspiration réel
RFU	Réserve facilement utilisable
DA	Déficit agricole
A.N.B. T	Agence National des barrages et transfère
AEP	Alimentation en eau potable
R	Ruissellement
V	Volume
Epi	Episodes
E	Est
OU	Ouest
N	Nord
S	Sud

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est certainement la ressource naturelle la plus précieuse pour l'homme, il est indispensable à la vie et on l'utilise au quotidien dans les divers domaines agricoles, industriel et domestique. Mais elle est inégalement disponible, on la consomme, la gaspille et la pollue de plus en plus. De ce fait, d'importantes inquiétudes apparaissent quant à l'avenir de cette ressource, d'où des tensions entre ses consommateurs.

Le bassin versant est devenu au cours des dernières années un outil privilégié pour l'analyse hydrologique. Il représente, pour la plupart des milieux et des échelles d'étude l'unité fondamentale de référence dans la gestion des ressources en eau. Après une approche générale et descriptive du milieu, les hydrologues ont concentré leur attention dans le problématique de la modalité de transport d'eau sur le bassin. Cependant, la conception du fonctionnement hydrologique du bassin reste très empirique et les modélisations envisagées demeurent globales dans bien des cas. Aujourd'hui, la nécessité d'aménager et de protéger la ressource en eau tant du point de vue quantitatif que qualitatif, impose aux spécialistes une connaissance précise des mécanismes de l'écoulement soit superficiel ou souterrain.

Cette étude représente un travail préliminaire au développement d'une formule expérimentale hydrologique adaptée aux bassins versants moins influencés. Elle s'intéresse uniquement à la fonction de transfert de l'amont jusqu'à l'exutoire de l'eau qui ruisselle à la surface. De nombreuses méthodes, des plus simples aux plus complexes, existent pour déterminer cette fonction de transfert qui dépend à la fois de la forme de bassin, le climat de la zone et aussi bien la géologie. Pour cette étude, nous avons souhaité à partir de méthodes simples que nous avons raffinées au fur-et-à mesure de l'étude, en fonction des résultats obtenus. Dans ce travail de mémoire de master nous avons essayé d'estimer les volumes des apports d'eaux ruisselés en fonction des précipitations dans le bassin versant d'oued El-Agrem par l'utilisation des données des précipitations et des apports journalières de l'année 2018, afin de trouver une relation entre ces deux variables qui par la suite transformée en équation de ruissellement en fonction des précipitations. Pour atteindre cet objectif, notre travail a été structuré en quatre chapitres :

- Chapitre I : vise la présentation générale de la zone d'étude, en abordant aussi les Caractéristiques physico-géographiques, géomorphologiques, morphométriques et hydrographiques du bassin versant d'oued El-Agrem.
- Chapitre II : il est pour objectif de donner un aperçu sur la géologie régionale et locale de la région d'étude.
- Chapitre III : vise à réaliser une étude des différents paramètres climatiques (précipitations, température, bilan hydrique) pour une période de 16 ans (2004-2020).

- Chapitre IV : Etude des caractéristiques hydrologiques du bassin versant du barrage d'El-Agrem ainsi que l'établissement de la formule expérimentale de ruissellement.

Chapitre I : Etude du bassin versant

I. 1. Introduction

Les problèmes pratiques d'hydrologie concernent, le plus souvent, une étendue de terrain limitée au bassin versant d'un cours d'eau en un point déterminé de celui-ci appelé station de jaugeage de préférence. Les caractéristiques topographiques, géologiques et pédologiques de ce terrain jouent un rôle essentiel dans le comportement hydrologique _ruissellement, écoulement et il convient de les préciser-autant que possible numériquement des débuts de toute étude hydrologique.

La quantification des facteurs caractéristiques du milieu physique s'impose pour que la recherche des causes de variations du régime hydrologique dans l'espace soit rigoureuse, il faut que cette quantification s'effectue de manière homogène c'est à dire que la mesure des paramètres du milieu obéisse à des méthodes précises et définies.

I. 2. La définition de bassin versant

Le bassin versant en un point ou plus précisément dans une section droite d'un cours d'eau est défini comme la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de ladite section ; tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section droite considérée pour suivre leur trajet vers l'aval. En d'autres termes, il s'agit d'un domaine dans lequel tous les écoulements des eaux convergent vers un même point, exutoire de ce bassin(Fennour et Mahmoud ; 2020). Ainsi toute goutte d'eau qui tombe dans ce territoire délimité par des frontières naturelles se dirige vers le cours d'eau ou ses affluents, puis vers l'aval et son exutoire. Cette aire d'alimentation a des limites géographiques, qui ne tiennent pas compte des limites administratives.

I. 3. La situation géographique de la zone d'étude :

Le bassin versant d'oued El-Agram situé dans la partie Sud-Est a environ 15 km de la ville de Jijel et a 05km de la commune de Kaous -Jijel, il occupe une superficie de 39,45 km².

La majorité du bassin se trouve dans la commune de Texenna, il est limité à l'Ouest par le bassin versant d'oued Késsir, au Sud et à l'Est par les frontières naturelles du bassin versant d'oued Djendjen, et au Nord la mer méditerranée.

A l'aval du bassin versant se trouve un barrage du côté Nord, il est destiné à satisfaire les besoins en eau potable des communes de Jijel, Kaous et Emir Abdelkader. Ainsi que l'irrigation d'environ 6500 ha de périmètres agricoles situés dans les plaines alluviales de Nil et Djendjen.

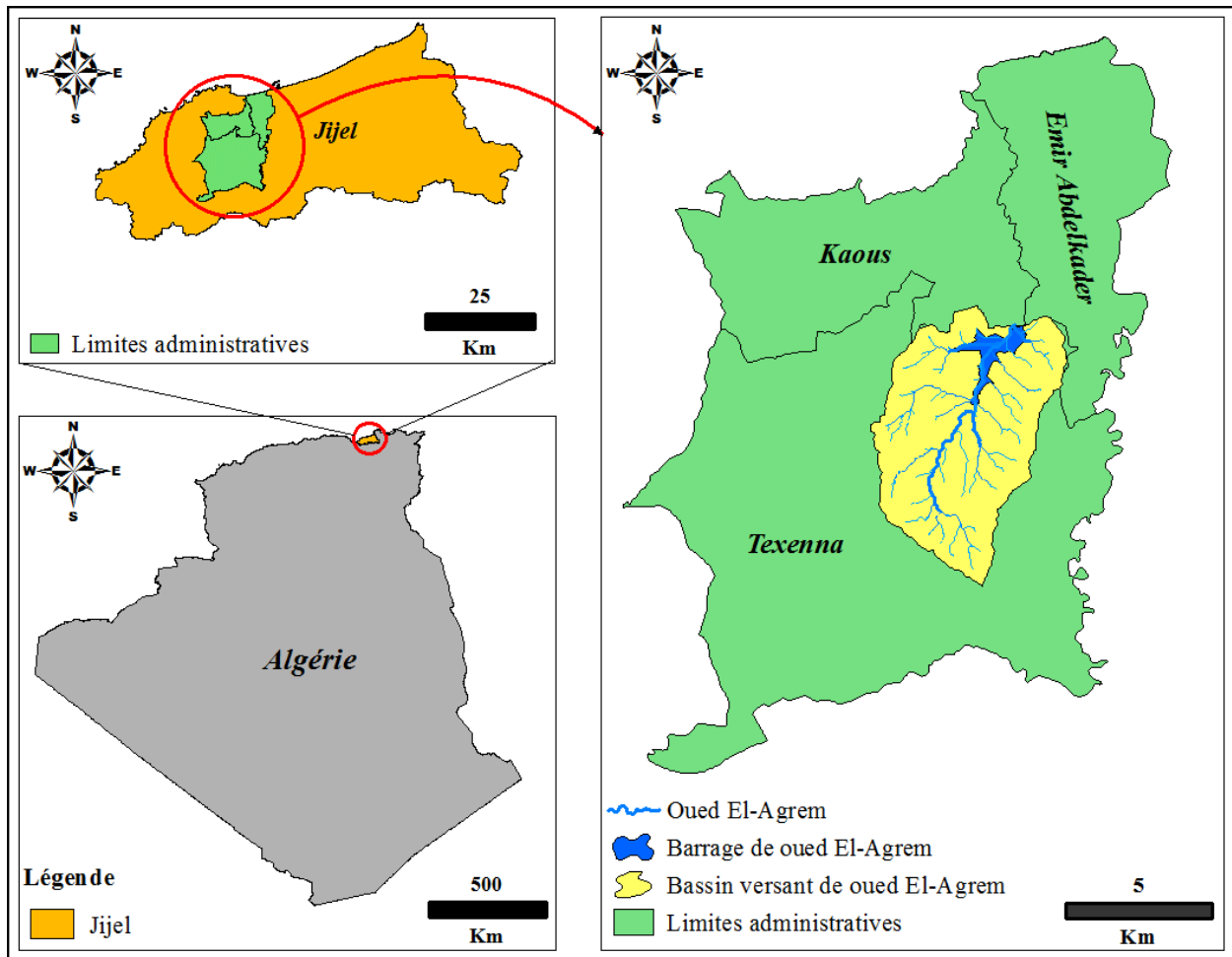


Fig. I.1 : Carte de situation géographique de bassin versant d'Oued El-Agrem

I. 4. Les caractéristiques géomorphologiques

L'étude des caractéristiques morphologiques associée à une analyse hydrologique d'un bassin versant constituée une plate-forme très importante pour la compréhension de comportement hydrologique du bassin

I. 4.1. L'occupation du sol

Une carte détaillant l'occupation du sol met en avant les éléments physique et biologique de la surface terrestre. On peut soit identifier une occupation naturelle du sol : arbres, arbustes, herbage...etc. Soit une occupation artificielle : construction, revêtements de sols...etc.

Le bassin versant d'oued El Agram est caractérisée par la présence les deux types d'occupation (Fig.I.2), avec la dominance de l'occupation naturelle qui représente un pourcentage de l'ordre de 80% de la superficie totale du bassin. L'occupation artificielle qui représente un pourcentage de 20% se résume aux constructions.

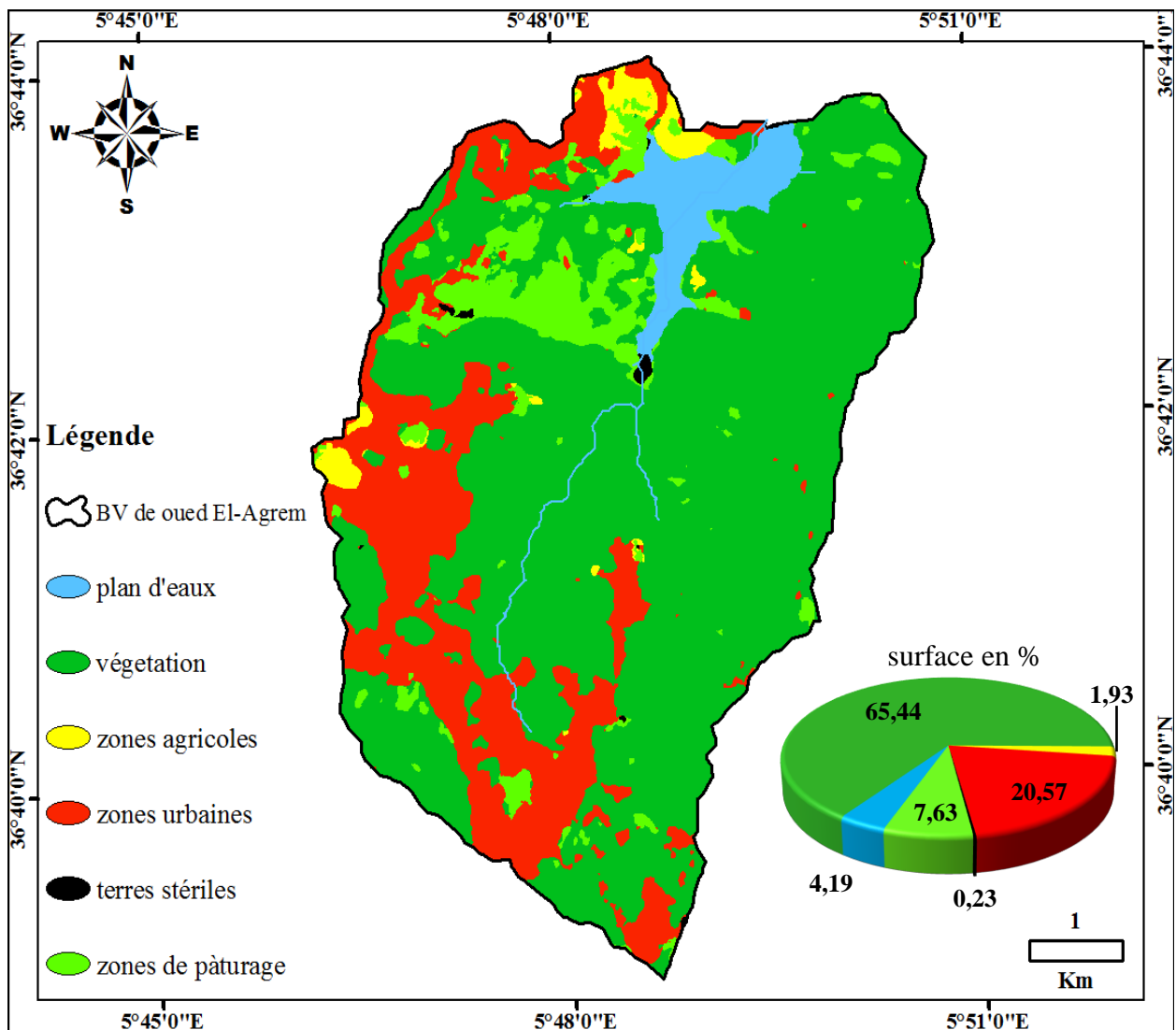


Fig.I.2 : Carte d'occupation du sol (Esri land cover)

I.4.1.1. La couverture végétale

Cette zone est caractérisée par un couvert végétal dense, il représente environ 75% de la superficie du bassin et comporte :

- La végétation : elle englobe tous qui est plantes et forêts, elle couvre une grande surface estimée à environ 25.82 km² soit 65.43% de la surface totale du bassin, elle prédomine surtout dans les parties orientales (forêt de Beni Khattab) et méridionale du bassin versant, cette dernière est favorisée par l'importance des précipitations.
- Les zones de pâturage : elles se trouvent particulièrement dans la partie nord-ouest du BV, elles occupent environ 3.01 km² (7.63%), son rôle c'est de fournir de la nourriture au bétail.
- Les zones agricoles : la plupart d'entre elles sont situées dans le nord et l'ouest du bassin, avec une superficie très limitée d'environ 0.76 km² (1.93%).

I. 4.1.2. La zone urbaine

La plupart se trouvent le long de la route nationale 77, elles occupent la partie ouest du BV avec une extension du sud vers le nord, les plus importants sont : la commune de Texenna, la nouvelle ville résidentielle de Tabellout et la région d'El-Ghariana. Sa superficie est de 8.11 km² (20.57%)

I. 4.1.3. Plan d'eaux

Représenté par la cuvette du barrage d'El-Agram et occupent une superficie de 1.65 km² (4.19%).

I. 4.1.4. Terres stériles

Cela comprend le sol impropre à la production agricole représenté trouvé dans la partie sud de barrage et la partie Nord-Ouest de bassin occupe 0.23 % de superficie.

I. 4.2. Les montagnes

Une montagne est une forme topographique de relief positif, elle consiste en élévations importantes de terrains, résultant d'un soulèvement du sol et caractérisée par une forte dénivellation entre sommets et fonds de vallées. D'un point de vue hydrologique les chaînes des montagnes représentent la ligne de partage des eaux vers les bassins versant (Michel Delon (éd)., 1977).

Le bassin versant d'oued El-Agram est délimité au sud par une chaîne de montagnes caractérisée par trois sommets : Rkiba Sebabel 1075m, Dj Sendouah 1042m, Ras Bouhajar 1014m, à l'est jusqu'à le nord par les sommets : Ras El-Meridj 908m, Dj Bouzallata 883m, et NE Dj Sidi –Ali 621m du côté ouest par : Dj Si-Mansour 736m, Rkibat Tikoubane 617m (Fig.I.3).

I. 4.3. La dépression

En géomorphologie une dépression est un creux topographique. Son altitude est inférieure à celle des régions voisines et les pentes convergent vers elle. Les dépressions peuvent être à l'origine des zones humides ou de lacs.

A l'échelle d'un bassin versant les dépressions désignent aussi les zones basses où se concentrent la plupart des agglomérations et Mechtats. Pour notre bassin ces zones s'étendent de l'amont (région de Texenna) jusqu'au l'aval (commune de Kaous), la pente de ces terrains varie entre 0-12% avec une altitude qui varie entre 400 et 800m (Benhamada H & Bourzama T & Tekkouk S., 2013). Ces dépressions sont composées de terres cultivables et des terres de pâturages surtout le long des oueds qui assurent leur arrosage.

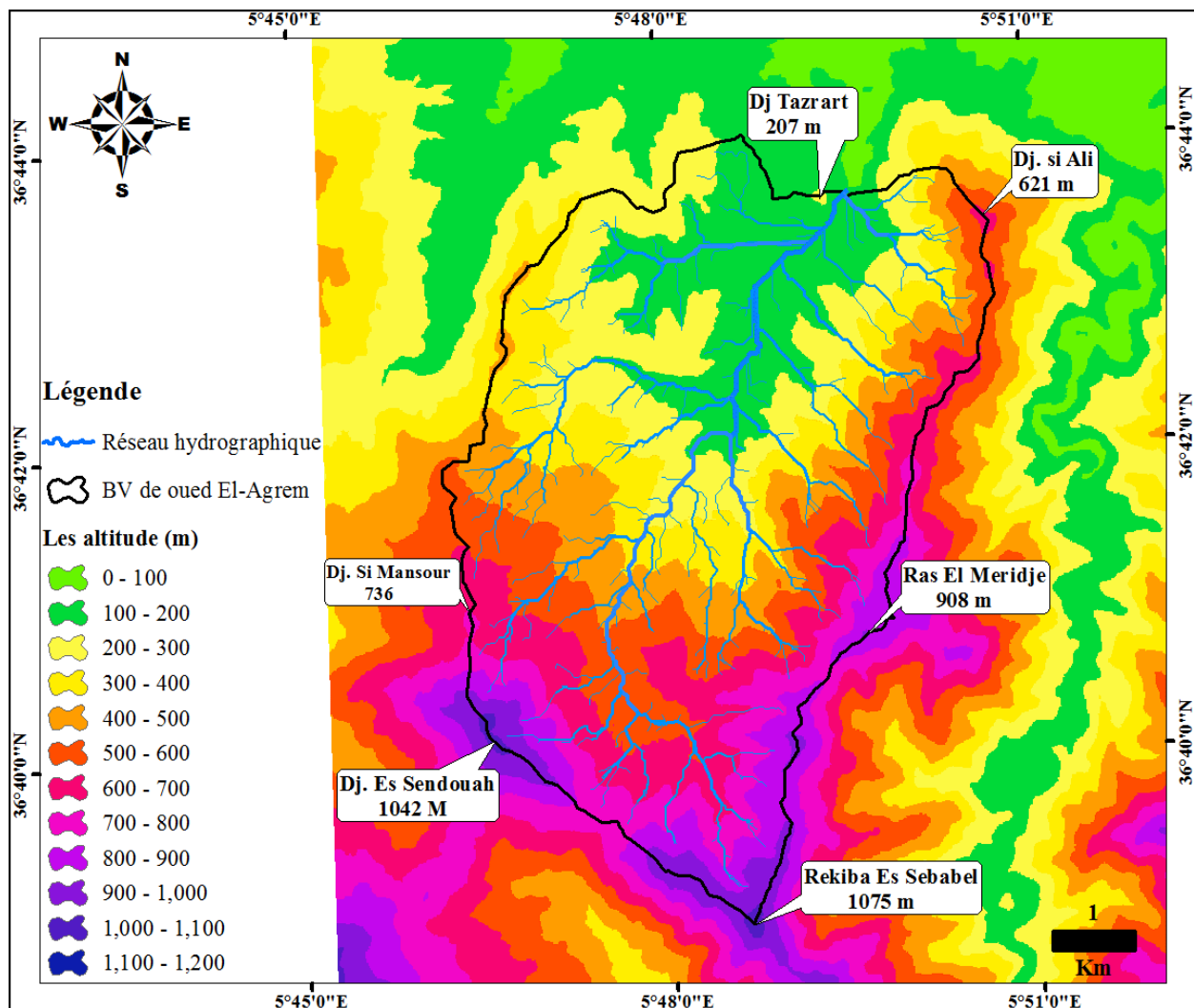


Fig.I.3 : Carte topographie de la zone d'étude

I. 5. Les caractéristiques physiques du bassin versant

I. 5.1. Les paramètres géométriques

Les caractéristiques géométriques Les bassins ont des propriétés géométriques variées qui dépendent du contexte géologique, géomorphologique et climatique de la région étudiée. Ceci inclut les héritages paléo-climatiques et tectoniques (Ould fah M.M., 2016).

I. 5.1.1. La superficie du bassin versant

La superficie est un paramètre essentiel, elle est généralement obtenue par planimétrie sur les cartes topographiques. Elle a aussi un rôle primordial sur le comportement hydrologique des bassins versants. Les paramètres qui interviennent sont la pente, la lithologie, la pédologie et la couverture végétale. Ces paramètres influencent grandement la perméabilité et la rugosité de la surface, qui conditionnent à leur tour la vitesse du ruissellement.

I. 5.1.2 Le périmètre du bassin versant

Le périmètre de bassin versant représente la longueur de la ligne de partage des eaux délimitant le bassin, et son calcul dépend de l'échelle de la carte et de la densité du réseau hydrométrique, son exactitude porte toujours des erreurs à cause de la grande sinuosité de la ligne de partage des eaux. Le périmètre est mesuré à l'aide du curvimètre et n'est généralement pas utilisé directement, mais à travers des valeurs qui en dérive (Ould fah M.M., 2016). Il est donné par la formule :

$$P = 2(L + l)$$

Avec :

L : longueur du rectangle équivalent.

l : largeur du rectangle équivalent.

Avec le logiciel d'ArcGIS, nous obtenons les résultats suivants :

Tab.I.2: Paramètre géométrique

Superficie (km ²)	Périmètre(km)
39.45	28.6

I. 5.2. Les paramètres de forme :

L'étude de la forme des bassins est importante car elle permet de mieux comprendre le comportement hydrologique. Un bassin compact, de forme quasi-circulaire a une réponse hydrologique beaucoup plus rapide pour une même averse qu'un bassin allongé, parce que la plupart des points du bassin sont à peu près à la même distance de l'exutoire. Comme il est difficile d'exprimer réellement la forme d'un bassin versant (Ould fah M.M., 2016).

I. 5.2.1. Indice de compacité ou de Gravelius (Kc)

Appelé aussi indice de forme, cet indice caractérisant la forme du bassin versant, et renseigne sur la vitesse de concentration des débits et la puissance des crues ainsi que sur l'érosion. C'est le rapport entre le périmètre du bassin versant et la circonférence du cercle ayant la même superficie que le bassin versant (Ould fah M.M., 2016).

L'indice de Gravelius est donné par la formule :

$$k_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Où :

P : périmètre de bassin (km)

S : superficie de bassin (Km²)

Si :

$K_c < 1$ → Bassin versant de forme circulaire

$K_c = 1,12$ → bassin versant de forme carrée

$K_c > 1,12$ → bassin versant de forme allongée

$$k_c = 0.28 \frac{28.6 \text{ km}}{\sqrt{39.45 \text{ km}^2}}$$

$$K_c = 1.27$$

Donc : le Bv d'Oued El-Agrem ont une forme allongée.

I. 5.2.2. Indice de Miller (R_c)

Cet indice défini par le rapport de la superficie du bassin versant (S) a la superficie du cercle (S_c) ayant le même périmètre (P) que le bassin versant des donné par :

$$R_c = \frac{4\pi S}{P^2}$$

Le rapport de circularité de Miller est égal à 1 pour un cercle, 0.785 pour un bassin carré et puis diminue à mesure que l'allongement du bassin augmente.

$$R_c = \frac{4 * 3.14 * 39.45}{(28.6)^2}$$

$$R_c = 0.60$$

$R_c = 0.60$, indique un bassin versant de forme allongée, avec une longueur du bassin qui dépasse deux fois sa largeur.

I. 5.2.3. Indice de Horton (R_f)

Dans un système d'unités stationnaires, ce facteur sans dimension peut être calculé par équation suivante :

$$R_f = \frac{S}{L^2}$$

Avec :

S : la superficie du bassin

L : la longueur du bassin mesurée à partir de l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux la plus proche de source du plus long thalweg le long d'une ligne droite (Fig.4).

Si :

$R_f = 0.79$ → pour un cercle

$R_f = 1$ → pour un carré dont l'exutoire se situe au milieu d'un côté

$R_f = 0.5$ → l'exutoire se situe au niveau de l'angle définie par deux côtés

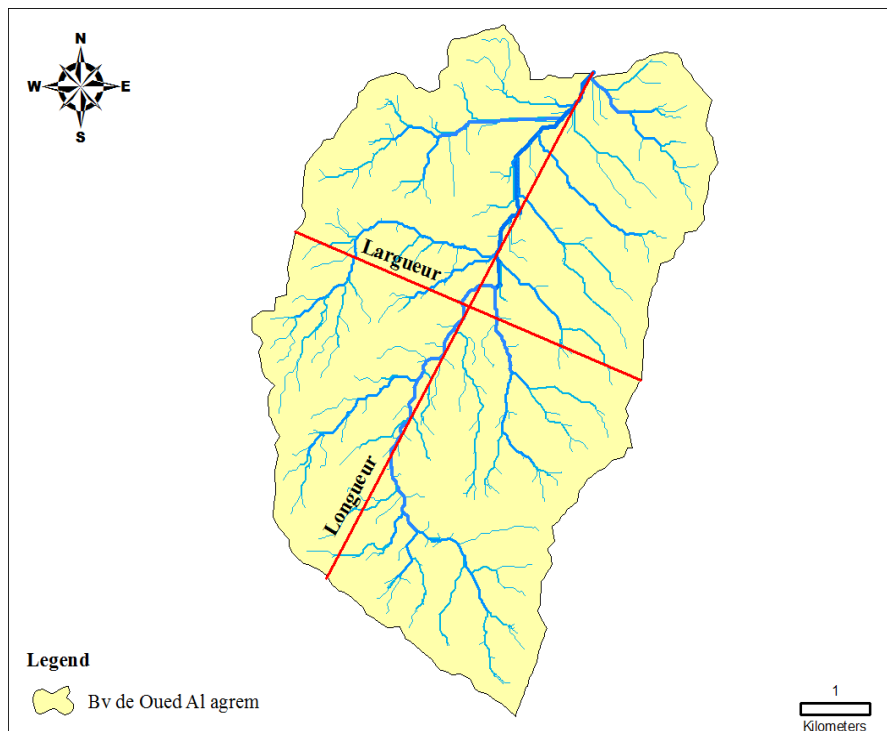


Fig. I.4 : Longueur de bassin versant selon horton

Application :

$$Rf = \frac{39.45 \text{ km}^2}{(7.93 \text{ km})^2} = 0.63$$

I. 5.2.4. Le rectangle équivalent

C'est une notion introduite pour pouvoir comparer deux bassins entre eux du point de vue de l'influence des caractéristiques et de la forme sur les écoulements.

Il se définit comme étant le rectangle de longueur « L » et de largeur « l », qui a le même indice de compacité (Kc) et même hypsométrie que le bassin versant étudié. (Ould fah M.M., 2016)

Les dimensions de ce rectangle se calculent à l'aide des relations suivantes :

$$\text{Longueur : } L = \frac{Kc \sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

$$\text{Largeur : } l = \frac{Kc \sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

Avec :

Kc : indice de Gravelius (Kc).

L : longueur du rectangle équivalent (Km).

l : largeur du rectangle équivalent (Km)

Par l'application des formules sur le bassin versant d'oued El-Agrem

$$L = \frac{1.27 \sqrt{39.45}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.27} \right)^2} \right] = 10.46 \text{ km}$$

$$l = \frac{1.27 \sqrt{39.45}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.27}\right)^2} \right] = 3.77 \text{ km}$$

Ces résultats confirment les calculs précédents et indique la forme allongée du bassin versant d'oued El-Agram.

I. 6. Les caractéristiques de relief

I. 6.1. Courbe hypsométrique

Cette courbe met en relation les altitudes et les surfaces dans un bassin, sous forme de fréquences de superficies inférieures à un seuil donné. Dans un contexte d'évolution géomorphologique, cette courbe permet de se renseigner sur le niveau de maturité d'un cours d'eau et fournit une vue synthétique de pente du bassin. Elle est obtenue par le pourcentage cumulé de la superficie d'un bassin versant en fonction de l'altitude. (Ould fah M.M., 2016)

Tab. I.2 : Altimétrie du bassin versant d'oued El-Agrem

Altitude (m)	DHi	Surface partielle (Si)		DHi.Si	Cote (m)	Surface cumulée	
		Km ²	%			Km ²	%
1000	1050	0.0662	0.16	69.51	1000	0.0662	0.16
1000-900	950	0.8433	2.13	801.135	900	0.9095	2.29
900-800	850	2.0520	5.20	1744.115	800	2.9614	7.5
800-700	750	2.8200	7.14	2114.925	700	5.7813	14.63
700-600	650	4.6911	11.89	3049.215	600	10.4724	26.52
600-500	550	5.4884	13.91	3018.62	500	15.9608	40.43
500-400	450	5.0460	12.79	2270.7	400	21.0068	53.22
400-300	350	5.0773	12.87	1777.055	300	26.0841	66.10
300-200	250	6.8494	17.36	1712.35	200	32.9335	83.45
200-100	150	6.5232	16.53	978.48	100	39.4569	100
Total	-	36.4569	100	17536.11	-	-	-

La courbe hypsométrique est utilisée comme un outil pratique pour comparer les bassins versant entre eux ou les diverses sous bassins d'un seul bassin. Elle peut également être utilisée pour obtenir la précipitation moyenne et connaître le comportement hydrologique du bassin que nous voulons étudier et son système et caractéristique de drainage.

A partir des données du tableau ci-dessus, nous avons pu tracer la courbe hypsométrique de la figure I.5.

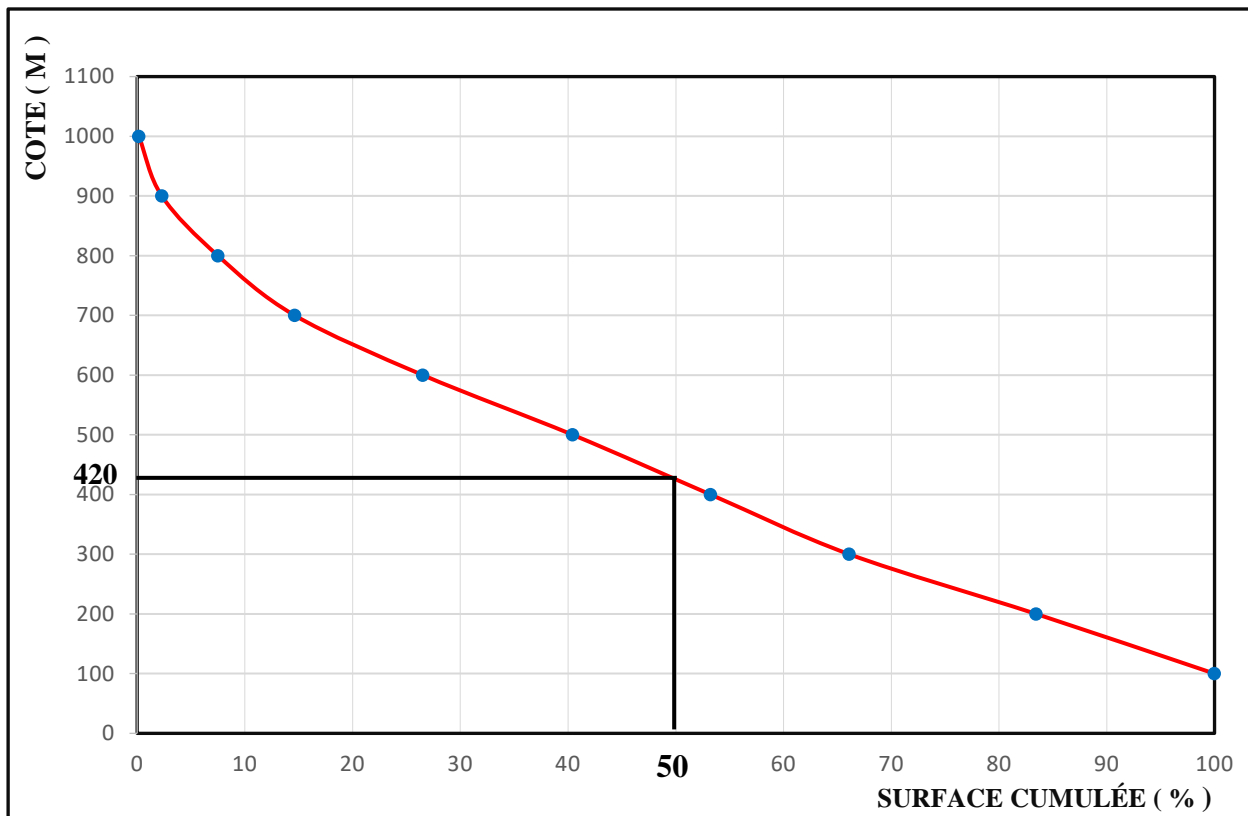


Fig. I.5 : Courbe hypsométrique de bassin versant d'oued El-Agrem

I. 6.2. Altitude caractéristique de bassin versant d'oued El-Agrem

I. 6.2.1. Les altitudes minimales et maximales :

Elles sont obtenues à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin versant tandis que l'altitude minimale représente le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

Ces données deviennent importantes lors des développements de certaines relations faisant intervenir des variables climatiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du BV et interviennent aussi dans le calcul de la pente (Gaagia A., 2009), ces altitudes sont données dans le tableau 3.

I. 6.2.2. Altitude moyenne :

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique (Nadjla B., 2006), elle est définie comme suit :

$$H_{moy} = \frac{\sum H_i S_i}{S_t}$$

Tel que :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin versant.

S_i : surface comprise entre deux courbes de niveaux.

H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveaux.

I. 6.2.3. Altitude médiane :

Elle correspond à l'altitude lue à 50 % de la surface totale sur la courbe hypsométrique. Elle se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin considéré représente une pente régulière.

Les résultats des calculs des différentes altitudes sont récapitulés dans le tableau I.3.

Tab I.3 : Altitude caractéristique de bassin versant d'oued El-Agrem

Altitude	Valeur (m)
Altitude moyenne de bassin versant	444.43
Altitude maximal (Hmax)	1075
Altitude minimal (Hmin)	100
Altitude median (H 50%)	420
H5%	845
H95%	130

I. 6.3. L'indice de pente de bassin versant d'oued El-Agrem

I. 6.3.1. La dénivelée utile (D)

La dénivelée utile (D) est estimée, à partir de la courbe hypsométrique, par la différence des altitudes correspondant à 5 et 95% de la superficie totale du bassin étudié ; altitudes dénotées, respectivement, par H5% et H95% (Fennour M & Mahmoud K., 2020), Ceci dit que 90% de la superficie s'étend entre ces altitudes. Il est possible de définir la dénivelée D par :

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

Avec :

H_{95%} : l'altitude correspondant à 95% de la superficie totale du bassin versant

H_{5%} : l'altitude correspondant à 5% de la superficie totale de bassin versant

H5% et H95% sont extrait à partir de la courbe hypsométrique (Fig.I.5).

$$D_u = 845 - 130 = 715$$

I. 6.3.2. La dénivelée maximale (D_{max})

$$D_{max} = H_{max} - H_{min}$$

$$D_{max} = 1075 - 100$$

$$D_{max} = 915 \text{ m}$$

I. 6.3.3. Indice de pente global (I_g)

Cet indice présente l'avantage d'être très simple et facile à calculer. L'indice de pente global (I_g) est exprimé en m/km donné par le rapport de la dénivelée utile (Du en m) ; estimée à partir de la courbe hypsométrique ; à la longueur du rectangle équivalent en km (Le), d'où :

$$I_g = \frac{Du}{Le}$$

Avec :

Du : dénivelée utile (m)

Le : longueur du rectangle équivalent (km)

Selon la classification adoptée par l'ORSTOM (France), le relief est dit par exemple modéré si l'indice de pente global est compris entre 10 et 20 m/km (Tab.I.4)

Tab. I.4 : classification du relief selon ORSTOM

Valeur de l'indice de pente globale	Caractéristique du relief
I _g < 02	Très faible
2 < I _g < 5	Faible
5 < I _g < 10	Assez faible
10 < I _g < 20	Modéré
20 < I _g < 50	Assez fort
50 < I _g < 100	Fort
I _g > 100	Très fort

Par l'application de la relation précédemment :

$$I_g = \frac{715 \text{ m}}{10.47 \text{ Km}}$$

$$I_g = 68.29$$

Donc Le relief de bassin versant est fort selon la classification de ORSTOM (50 < I_g < 100).

I. 6.3.4. La dénivelée spécifique (DS)

Malgré sa simplicité, l'indice de pente global présente l'inconvénient de décroître pour un même bassin lorsque la superficie croît. Il permet la classification mais on ne peut pas s'en servir pour comparer des indices de pente des bassins versants de superficies différentes. Pour pallier à cette lacune, il serait préférable d'utiliser la dénivelée spécifique. Exprimée en m, elle s'obtient à partir de l'indice de pente global (I_g) et la superficie par la relation suivante :

$$Ds = I_g \times \sqrt{s}$$

Avec :

I_g : indice de pente globale (m/km).

S : surface en Km²

Selon les valeurs de ce paramètre, les chercheurs de l'ORSTOM ont établi la classification donnée au tableau I.5.

Tab.I.5 :Classification de relief selon ORSTOM

Classe de relief	Dénivelée spécifique (m)	Dénomination
R1	$DS < 10$	Relief très faible
R2	$10 < DS < 25$	Relief faible
R3	$25 < DS < 50$	Relief assez faible
R4	$50 < DS < 100$	Relief modéré
R5	$100 < DS < 250$	Relief assez fort
R6	$250 < DS < 500$	Relief fort
R7	$DS > 500$	Relief très fort

Par l'application dans la relation, on obtient :

$$Ds = 28.69 \times \sqrt{39.45}$$

$$Ds = 428.92$$

On a $Ds = 428.92$ donc les reliefs de BV est fort selon la classification de ORSTOM ($250 < Ds < 500$).

I. 6.3.5. Pente moyenne du bassin versant

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, donc sur le temps de concentration t_c , et influence directement le débit de pointe lors d'une averse. Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin. Toutes se basent sur une lecture d'une carte topographique réelle ou approximative (Fennour M & Mahmoud K., 2020).

La pente moyenne du bassin versant est définie par la formule suivante :

$$I_m = \frac{H_{\max} - h_{\min}}{\sqrt{S}}$$

Dans laquelle H_{\max} et h_{\min} sont respectivement, les côtes des points le plus haut et le plus bas du bassin (m). La valeur ainsi obtenue n'est qu'une approximation rapide de la pente.

On applique la relation :

$$I_m = \frac{1075 - 100}{\sqrt{39.45}}$$

$$I_m = 155.23$$

I. 6.3.6. La carte de pente de bassin versant

La carte de pente est un élément essentiel dans l'étude morphologie et les reliefs du bassin versant. Aussi constitue un des éléments de base pour l'analyse des caractéristiques physiques qui déterminent la sensibilité des zones à l'érosion. Cette carte peut être obtenue par la méthode de l'ArcGIS suivant :

La fonction de pente identifie la direction de la pente la plus raide à un emplacement sur une surface. La pente est calculée pour chaque triangle d'un TIN et pour chaque cellule des rasters. Pour un réseau triangulé irrégulier (TIN), il s'agit du pourcentage maximal de changement d'altitude pour chaque triangle. Pour les rasters, il s'agit du pourcentage maximal de changement d'altitude sur chaque cellule et ses huit voisines. Par la commande Pente (slope) calcule, à partir d'un raster de surface en entrée, un raster en sortie indiquant la pente sur chaque cellule. Plus la valeur de la pente est élevée plus le terrain est pentu. Le raster pente en sortie peut être calculé sous forme de pourcentage ou de degré de pente. Pour calculer la pente en pourcentage on utilise la relation suivante :

$$\frac{\text{Dénivelé}}{\text{Distance horizontale}} \times 100 \%$$

Pour calculer la pente en pourcentage on utilise la relation suivante :

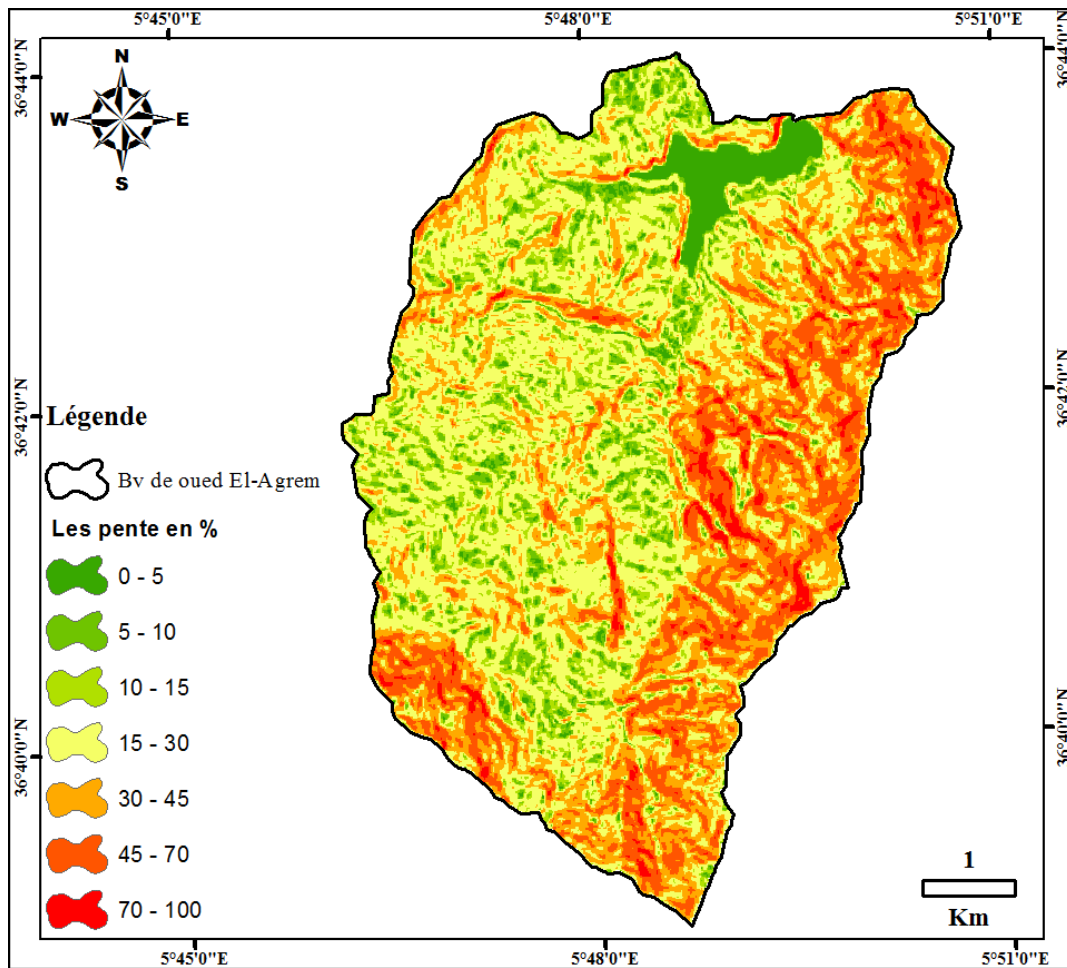


Fig.I.6 : Carte de pente du bassin versant d'oued El-Agrem

Un ensemble de classes de pentes a été établi pour permettre de quantifier les pentes dominantes

Tab.I.6 : Classification des pentes selon le système international

Classe de pente	Pourcentage de pente	Degrés de pente	Terminologie
1	0-0.5	0	Horizontal
2	>0.5-2	0.3-1.1	Subhorizontal
3	>2-5	>1.1-3	Pentes très faibles
4	>5-10	>3-5	Pentes faibles
5	>10-15	>5-8.5	Pentes modérées
6	>15-30	>8.5-16.5	Pentes fortes
7	>30-45	>16.5-24	Pentes très fortes
8	>45-70	>24-35	Pentes extremes
9	>70-100	>35-45	Pentes abruptes
10	>100	>45	Pentes très abruptes

La carte des pentes mis en évidence la répartition des différentes classes de pentes, les parties Sud, Sud-Ouest, Est et Nord-Est ont des pentes fortes à abruptes, par contre les parties centrales, Ouest et Nord-Ouest ont des pentes faibles à fortes. Les zones à fortes pentes coïncident avec les zones à fortes altitudes et les zones à faible pente coïncident avec les zones de faibles altitudes où se concentrent les zones urbaines et agricoles.

I. 7. Les caractéristiques hydrographiques de bassin versant

I. 7.1. Réseaux hydrographiques

Un réseau hydrographique est un organisme d'écoulement d'importance très variable formé par un ensemble d'éléments linéaires hiérarchisés. L'espace drainé est un bassin hydrographique (bassin versant) délimité par des lignes de partage des eaux qui le séparent des réseaux adjacents. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due aux quatre facteurs principaux ; (1) La géologie : par sa plus ou moins grande sensibilité à l'érosion, la nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique, le réseau de drainage n'est habituellement pas le même dans une région où prédominent les roches sédimentaires.(2)Le climat : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.(3)La pente du terrain, détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. (4)La présence humaine : le drainage des terres agricoles, la construction de barrages et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

L'examen de la carte de réseau hydrographique (Fig.I.7) montre l'existence des ramifications denses notamment au Sud et à l'Ouest de BV, résultant de la variabilité structurale (les montagnes et les dépressions) et la dominance des formations géologiques favorables à l'érosion (les marnes du Miocène). Les chevelus dans l'amont au Sud du bassin est principalement constitué par pluviométrie et la font de neige à l'hiver et les sources à l'été qui alimenté oued El-Agrir qui rencontre au centre du BV avec les oueds Bouberride et El-Eloumi qui sont alimenté par les chevelus du côté Est oued Tazrourt alimenté par le chevelu du côté Ouest (Fig.I.7). La confluence de ces quatre oueds constitués à l'aval Oued El-Agram qui à son tour alimente le barrage d'El-Agram

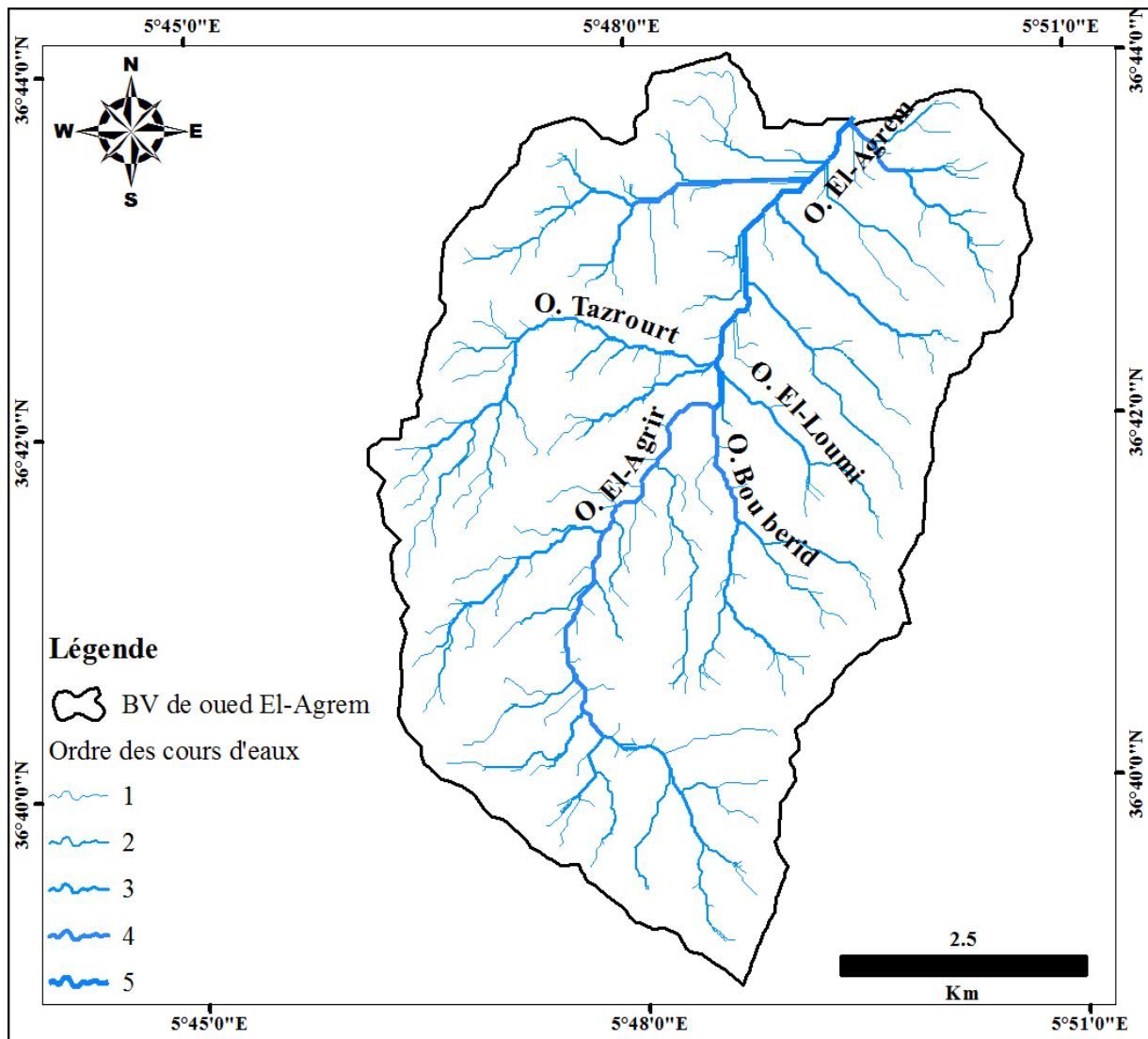


Fig. I .7 : Carte de réseau hydrographique du bassin versant d'oued El-Agrem

I. 7.2. La topologie : structure du réseau et ordre des cours d'eau

La topologie étudie les notions de voisinage et de limite. Appliquée à l'hydrologie, la topologie s'avère utile dans la description du réseau hydrographique notamment en proposant une classification de ceux-ci. On trouve le type dendritique, en treillis, en parallèle, à méandre...etc.

La classification est facilitée par un système de numérotation des tronçons de cours d'eau (rivière principale et affluents). L'ordre des cours d'eau est donc une classification qui reflète la ramification du cours d'eau. Il existe plusieurs types de classifications des tronçons des cours d'eau, dont la classification de Strahler (1957) qui est la plus utilisée. Actuellement, cette classification est faite par des logiciels intelligents tels que l'ArcGIS.

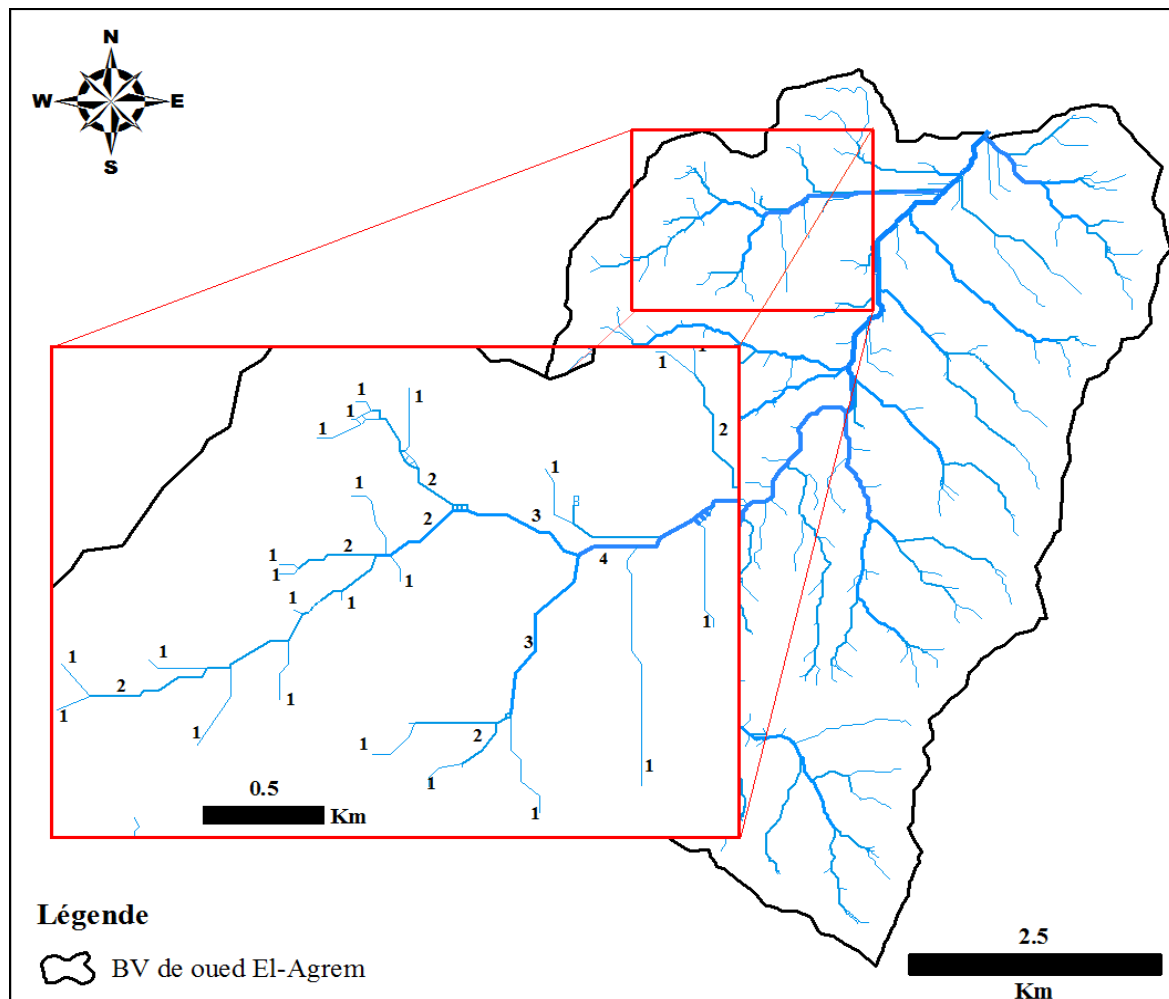


Fig.I.8 : Classification de réseau hydrographique du bassin versant d'oued El-Agrem selon Strahler

L'indice de strahler est un indice utilisé pour classer les cours d'eaux dans un bassin versant, c'est une méthode communément retenue car simple à mettre en œuvre. Dans cette méthode, les cours d'eaux issus d'une source sont notés de rang 1, puis chaque fois que deux tronçons de même ordre se rencontrent, ils font un cours d'eau d'ordre supérieur, tandis qu'un cours qui reçoit un affluent d'ordre inférieur conserve le même ordre (Fig.I.8).

I. 7.3. Longueur et nombre de Thalwegs

La mesure des longueurs des thalwegs concoure aux différents calculs des paramètres morphométriques tels que les rapports de longueur et de confluence, la densité de drainage et le temps de concentration. La détermination des rapports de confluence et de longueur par la méthode de Strahler nécessite un ordre du chevelu hydrographique du bassin versant (Fennour M & Mahmoud K., 2020).

Caractéristiques du chevelu hydrographique du bassin versant d'Oued El-Agram sont récapitulées dans le tableau suivant (Tab.07).

Tab.I.7: Les paramètres du chevelu hydrographique de BV d'Oued El-Agrem

Bassin versant d'Oued el Agrem		
Ordre	Nombre (X)	Longueur (Km)
1	232	62.295
2	60	36.377
3	17	20.835
4	4	8.699
5	1	4.338
Total	314	132.544

La longueur totale du réseau hydrographie de BV d'Oued El-Agrem est 132.544 km (Tab2)

I. 7.4. Les paramètres de réseau hydrographique de bassin versant d'Oued el Agrem

I. 7.4.1. La densité de drainage

La densité de drainage est une quantité utilisée pour décrire les paramètres physiques d'un bassin versant. Décrit pour la première fois par Robert E. Horton, la densité de drainage est définie comme la longueur totale du canal dans un bassin hydrographique divisée par la superficie totale (*Horton, Robert E. Juin 1932*), représentée par l'équation suivant :

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

Avec :

Dd : Densité du drainage en km

$\sum li$: Longueur totale du réseau hydrographique km

S : Surface du bassin versant en km²

Ont obtenue par l'application de la formule de densité de drainage

$$Dd = \frac{132.544 \text{ km}}{39.45 \text{ km}^2} = 3.35 \text{ km/km}^2$$

La densité de drainage dans le BV est environ 3.35 km⁻¹ et cela confirme la densité de réseau hydrographique

I. 7.4.2. Coefficient de torrentialité

Ce coefficient reflète le caractère torrentiel des averses dans le bassin. Il est étroitement lié à la densité de drainage et à la fréquence des drains par la relation :

$$C_T = F_1 \times D_d$$

Dans laquelle F1 dénote la fréquence des drains d'ordre 1 définie par le rapport du nombre des drains d'ordre 1 à la superficie du bassin versant. Ce coefficient est d'autant plus élevé que la lithologie du terrain est peu ou pas perméable et/ou le couvert végétal n'est pas important.

Application :

$$F1 = \frac{N1}{S} = \frac{232}{39.45} = 5.88 \text{ km}^{-2}$$

$$C_T = 5.88 \times 3.35 = 19.7$$

Ce coefficient est égal à 19.7 ce qui veut dire que la BV d'Oued El-Agram a un caractère d'écoulement torrentiel.

I. 8. Conclusion

L'étude morphologique du bassin versant d'oued El-Agrem nous a permis de connaître et évaluer quelques caractéristiques et paramètres importantes reliées avec la topographie, la forme et le réseau hydrographiques. Sa superficie est estimée à 39.45 km² et un diamètre de 28.6 km caractérisée par une forme moyennement allongée. Cela indique un temps de concentrations des pluies qui tombé à l'intérieure de bassin et ruisselle vers l'exutoire est plus court. D'un point de vue topographique, le bassin est caractérisé par des reliefs forts ($50 < I_g < 100$) selon la classification de ORSTOM, il comprend des chaînes des montagnes au Sud et à l'Est caractérisées par des pentes extrêmes (45-70 %) et abruptes (70-100%). L'altitude moyenne du bassin versant est 444.43 m qui indique à la morphométrie existante. À la partie du réseau hydrographique on a obtenu une valeur de densité très élevée (3.35 km / km²), cela dû à la nature du terrain géologique qui confirme par les indices précédents I_g , I_p ou par la carte de pente (lithologie, les pentes) et le climat (humide avec des fortes précipitations (1200 mm)).

Chapitre II : Contexte géologique

II. 1. Introduction

La géologie est un outil précieux au service des études hydrologiques et hydrogéologiques, elle permet de définir les formations et les structures qui peuvent influencer les écoulements de surface, la ramification de réseau hydrographique et par conséquent le caractère torrentiel ou pas des écoulements dans les bassins versant.

La connaissance de la géologie, du relief et du climat du bassin conduit à une meilleure compréhension de son réseau hydrographique. À son tour, cette compréhension permet d'appréhender les enjeux de la gestion de l'eau.

II. 2. La contexte géologique

II. 2.1. Contexte géologique régional

L'ensemble des travaux effectués auparavant par différents auteurs (Delga 1955 ; Raoult 1974 ; Bouillin 1977 ; Vila 1980 ; Wildi 1983) a servi à préciser le cadre géologique régional de la région de Jijel (Fig.II.1) dont la structure géologique résulte essentiellement de l'action de la tectonique tertiaire. La région du Jijel fait partie dans son ensemble du massif ancien de petite Kabylie qui fait partie d'une chaîne des maghrébines. Géologiquement, le territoire de la région de Jijel est assez varié et complexe. L'ensemble des formations caractérisant le Nord de l'Algérie et appartient au domaine Alpin sont existant à la région à l'exception de la dorsale calcaire (Mohamed M.M.A.,2017).

La région du Jijel est divisée géologiquement au plusieurs domaines qui sont :

II. 2.1.1. Le domaine Kabyle

Regroupe un socle ancien (socle kabyle), formé essentiellement par des terrains métamorphiques antétriasiques comprend deux grands ensembles ; (1) un ensemble inférieure Gneissique d'âge Brécambrien contient des Gneiss ocellés, à intercalations de Marbres et Amphibolites, (2) un ensemble supérieur phylladique d'âge Paléozoïque constitué de schistes satinés (phyllades).

Il contient également une série de plates formes carbonatées (dorsales kabyles) d'âge Mésozoïque (Djellit 1987). Montrant des termes allant de Permo-trias à l'Oligocène, elles peuvent être subdivisées en trois sous domaines :

- La dorsale interne : qui constitué de série complète de Permo-trias au Néocomien biogène à caractère littoraux de l'Eocène inférieur et moyen.
- La dorsale médiane : caractérisée surtout par la constance des dépôts marneux à microfaunes pélagiques du Turonien au Lutétien inférieur et par une lacune des terres du Crétacé moyen.

- La dorsale externe : représenté eau crétacé supérieur et des dépôts détritiques et marneux de l' Eocène inférieur.

II. 2.1.2. Le domaine des flysch

Dans la région de Jijel il est composé de trois types principaux qui sont :

- Le flysch Mauritanien

Ce terme a été proposé par Gelard (1969). Le flysch Mauritanien comporte des terrains formés entre le Néocomien et le Lutétien. Constitué à la base par une alternance de marnes grises et de turbidités calcaires, au milieu par Un ensemble de grés épais (300m) à cassure verte attribué à l'Albo-aptien et au sommet par des microbrèches à ciment spathique riches en Quartz détritique (Djellit 1987).

- Le flysch Massylien

Le terme flysch Massylien a été proposé par Raoult (1969), pour caractériser les formations détritiques Schisto-quartzitiques. Ce flysch constitué par une série allant du Néocomien, au Lutétien terminal, il contient à la base des Argile, des grés quartzitiques, des grés légèrement calcaires et vers le haut il est constitué par des formations très variées tels que Marnes et calcaires, des microbrèches et les conglomérats de Cénomaniens inférieur et moyen.

- Le flysch Numidien

Le flysch Numidien forme une entité géologique à part, généralement occupant la position structurale la plus haute dans l'édifice Alpin caractérisée essentiellement par la présence des grés numidiens en bancs épais à Quartz bien roulé datés Aquitanien à Burdigalien inférieur (Lahandère 1979).

II. 2.1.3. Le domaine tellien

Le domaine tellien correspond aux zones situées sur le paléo marge africaine, il est caractérisé par la prédominance de facies marno-calcaires qui s'étalent du Néocomien au Lutétien (Bouillin 1977).

II. 2.1.4. Les formations post-nappes

Les formations post nappes sont des dépôts marneux d'âge Miocène supérieur à Pliocène, déposées en discordance sur les autres formations précédentes caractérisée par deux siècles sédimentaires :

- Des marnes bleues à passées calcaires discontinues, souvent en nodules (Djellit 1987).
- Des formations conglomératiques du Pliocène.

Notre zone d'étude le bassin versant d'oued El-Agram est située en bordure du socle cristallophyllien métamorphique de petite Kabylie, Ce socle est recouvert en discordance par des formations sédimentaires argilo-marneuses du Burdigalien.

Les roches cristallophylliennes observées sont des gneiss granitoïdes (genre granulites) à minéralisation en pyrite auxquelles sont associées localement des lentilles de cipolins avec des injections de roches vertes (dolérite et équivalent). Elles sont observées très localement.

Les roches de la couverture sédimentaire sont essentiellement des marnes au sens strict et des marno-calcaires à rognons de grès calcaire. Dans la région, ces marno-calcaires sont surmontés par des dépôts franchement argileux (argile bleue) plus récents. Plusieurs lacunes de sédimentations ont été identifiées, auxquelles sont associés des paléo-reliefs localement très accusés (A.N.B et Tractable engineering division hydraulique., 2001).

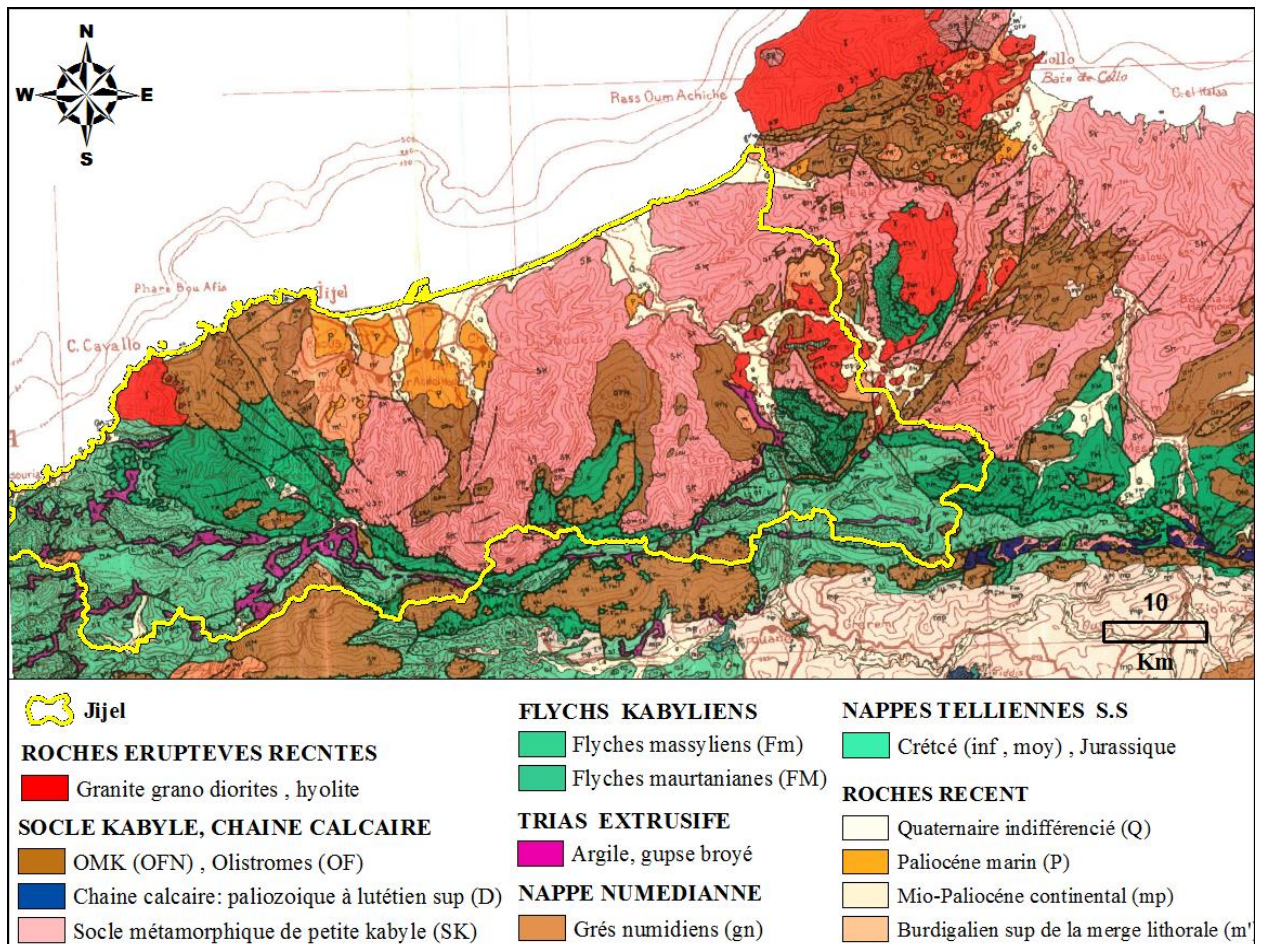


Fig.II.1 : Carte géologie de la région jijel (petite kabyle) à partir de la carte J-M Villa de l'Algérie 1978

II. 3. La géologie du bassin versant d'Oued El-Agram

Le bassin versant étudié (Fig.II.2) est situé essentiellement dans les formations marneuses peu tectonisées du Miocène (Burdigalien). Elles représentent environ 70 % de la surface total.

Le socle kabyle forme les crêtes au Sud et à l'Est du bassin versant et en particulier l'avancée gneissique de Sidi Ali au Sud de la commune d'Emir Abdelkader. Le cristallophyllien présente une série de branchements anticlinaux-synclinaux dont le Djebel Sidi-Ali constitue le dernier élément vers l'ouest.

Une faille majeure orientée E-W est signalée au sud de la cuvette. Plusieurs remaniements antérieurs à la mise en place des marnes affectent le socle et se traduisent par des zones broyées

partiellement ou totalement recristallisées, parfois minéralisées. Ces zones fracturées sont orientées soit suivant les axes de plis (N-S) soit approximativement NE-SW à ENE-WSW.

La couverture sédimentaire des marnes Burdigaliennes atteint et peut dépasser 300m d'épaisseur. Elle débute par un conglomérat de bas à l'Est de la région de la cuvette du barrage.

Dans la vallée de l'oued El-Agrem, le contact entre marnes et socle est de type sédimentaire avec localement une brèche détritique. Plusieurs niveaux de brèche intra-formationnelles sont observés au sein même des marnes (A.N.B et Tractable engineering division hydraulique., 1984).

Un lambeau de conglomérat comportant des petits galets, des blocs anguleux de cailloux de gravier et de sable dans une couche d'environ 30 à 50 mètre déposée directement sur les marnes du Miocène, recouvre une partie des sommets de la rive gauche de bassin (Rekkada Metletine) à proximité immédiate du site de barrage et pourrait appartenir au pliocène (Benhamada H & Bourzama T & Tekkouk S., 2013).

Les couches assez peu plissées, sauf localement, présentent un pendage régional de 10 à 20 vers le Nord-Ouest avec un rebroussement qui atteint 30 près du contact avec le socle et qui paraît correspondre à un ancien comblement de pied de falaise.

La zone de Rekkada Metletine contient aussi des formations d'Oligo-miocène kabyle (OMK) représentées essentiellement par des grès en petits banc alternant avec des argiles et des marnes vertes (Djellit 1987) (Benhamada H & Bourzama T & Tekkouk S., 2013)

II.4. La géologie du barrage d'oued El-Agram

Le barrage s'appuie sur un substratum dont la structure est totalement dissymétrique ; (1) En rive droit, l'ouvrage est fondé sur le socle cristallophyllien formé principalement de granite et de gneiss ocellés. Les granites sont formés essentiellement de quartz et de feldspath potassique, les micas étant présents en quantités variables (principalement la biotite). Une micro-minéralisation en pyrite est fréquemment observée. (2) En rive gauche, il est établi sur les marno-calcaire Burdigaliennes qui présentent un pendage général vers l'intérieur du massif, en l'occurrence la butte de Ben Aych et Djema Tadrart.

Le contact marnes-granite, incliné de 20 à 25 vers l'Ouest, suit très approximativement le lit de l'oued. Ce contact n'est pas faillé bien qu'une zone fracturée de plus ou moins 5 m d'épaisseur a été relevée localement dans quelques forages environ 5 à 10m à l'Est de la discordance.

Dans la zone du contact, on note par endroit quelques blocs de granite et gneiss noyés dans les marnes. Le contact proprement dit est souligné par endroits par un remplissage argileux verdâtre à rougeâtre d'altération. Le contact entre marnes et gneiss est décroché en aval du barrage par une faille dont le rejet horizontal est estimé à 50m, cette faille est située en aval de tous les ouvrages.

En surface, les granites et les gneiss sont affectés de nombreux joints, dont les principaux sont N85 E/80 W, N50 EN, N50 WN et N10 E/45 w. la plupart de ces joints s'estompent rapidement en profondeur et ne sont plus visibles en fond de fouille de la galerie d'injection.

Quelques failles secondaires re-cimentées ont été repérées sur le terrain. Elles sont en général orientées N 45 et N 80E.

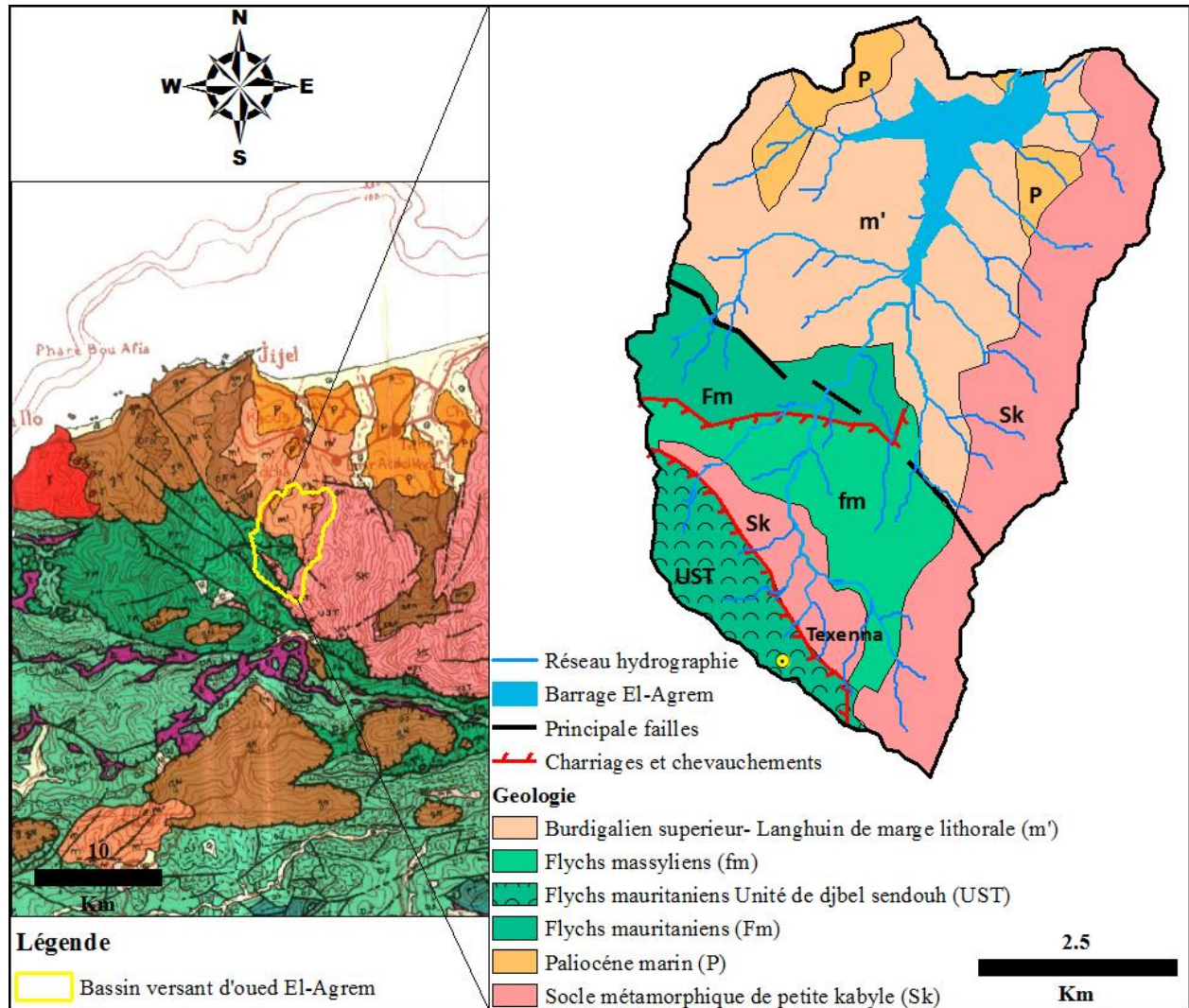


Fig.II.2 : Carte géologie de bassin versant d'oued El-Agrem

II. 5. Conclusion

La connaissance de la géologie et la lithologie d'un bassin versant dans le cadre d'étude hydrologie est important pour déterminer la perméabilité des sols, qui est un facteur essentiel dans la quantité d'eaux infiltrée vers la nappe, cette quantité affecte la vitesse de montée des crues, sachant que plus les sols sont imperméables, plus les crues sont rapides et importantes.

Le bassin d'oued El-Agram est caractérisé par un socle cristallophyllien métamorphique constitué principalement de Granite et de Gneiss, qui se manifestent au sommet des montagnes à partir des côtés Sud et Est, Ce socle est considéré comme une siége topographique ancienne dont les dépressions recouvertes en discordance par des formations sédimentaires marno-calcaires du Burdigalien, et qui est surmontés par des dépôts clairement argileux plus récents. Cette structure géologique a permis la création des conditions favorable à la collecte des eaux et la construction du barrage d'El-Agram (A.N.B et Tractable engineering division hydraulique., 1984).

*Chapitre III : Caractéristiques hydro-
climatiques*

III.1. Introduction

L'étude climatique est importante dans tous les études hydrologies et hydrogéologies puisqu'elle permet l'estimation quantitative des ressources en eau disponibles et donner des informations sur le régime hydrologie dans une zone spécifique. Cette étude permet également d'identifier plusieurs phénomènes hydrologiques tels que les crues et l'inondation.

L'étude des données climatiques permet d'analyser les facteurs du climat (température et précipitations), cela nous aide à savoir le type du climat et le comportement hydro climatologique du bassin versant d'oued El-Agram.

III.2. Aperçu générale sur le climat de Jijel

Les zones côtières algériennes caractérisées par un climat typiquement méditerranéen, avec des hivers doux et pluvieux et des étés chauds et ensoleillés selon la classification de Koppen-Geiger. Les précipitations sont plus faibles dans la partie occidentale (Oran), environ 400 mm/an tandis qu'elles deviennent plus abondantes dans le centre et l'est environ 800 mm, parfois jusqu'à 1200 mm à Jijel et Bejaia.

Au contraire, les températures sur la côte sont uniformes, le mois de janvier est d'environ 11 à 12 degrés, celle d'août de 26 à 27 degrés atteint jusqu'à 30 degrés.

La wilaya de Jijel est caractérisée par une pluviométrie décroissante en allant vers le Sud-Est, assez élevée sur les monts de Texenna avec plus de 1200 mm/an, alors qu'au niveau des plaines, les valeurs varient de 900 à 1000 mm/an ((BouakkazR, Zentout W., 2020).

III.3. Station de météorologie

Les données climatiques qui ont été utilisées dans cette étude et qui s'étalent sur une période d'observation de 16 ans (2004-2020) sont obtenue de la station du barrage d'El-Agrem (ANBT), cette dernière située dans lapartie aval du bassin versant d'oued El-Agrem au la rive gauche de la digue de barrage. A 15 km de la ville de Jijel (Fig. III.1).

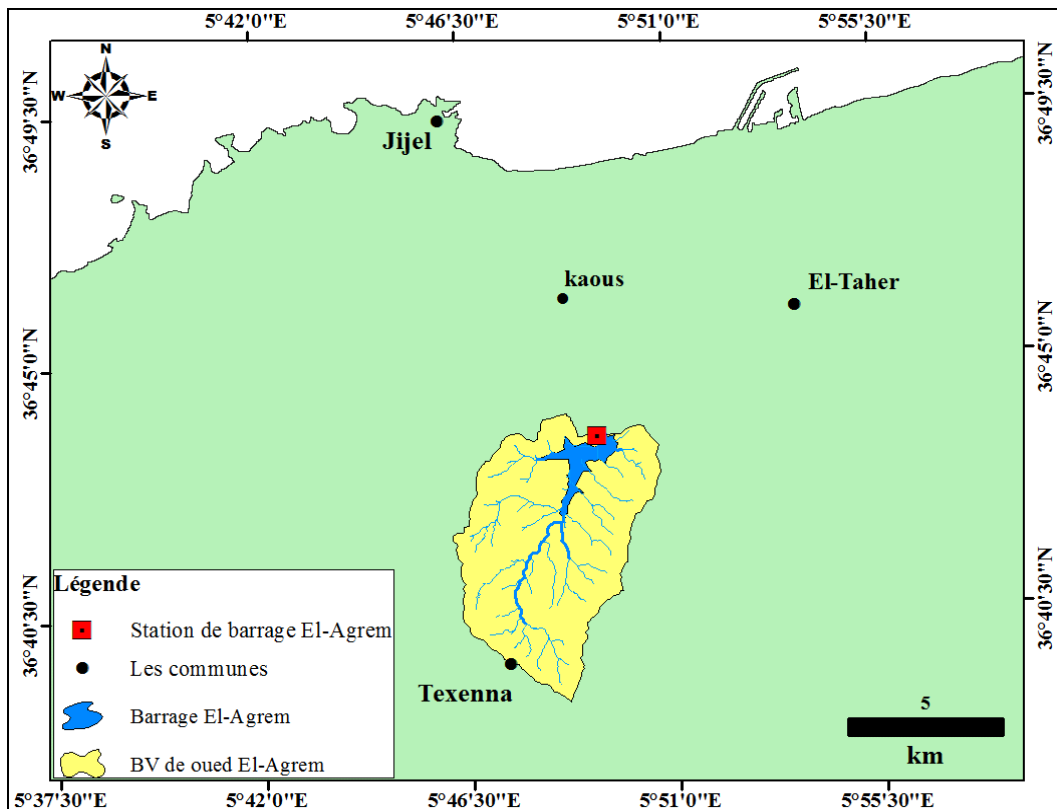


Fig.III.1 : Situation de la station de barrage El-Agram

III.4. Les facteurs climatiques

III. 4.1. Les précipitations

Les précipitations représentent toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (brume, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,). Les précipitations provoquées par un changement de température ou de pression. Elles constituent l'unique « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux qui sont les bassins versants (BouakkazR, Zentout W., 2020).

Les précipitations constituent la composante fondamentale hydrologique et écologique, la connaissance de cet apport d'eau au sol est essentielle pour appréhender l'état des réserves en eau du sol, la recharge des nappes et le régime des cours d'eau.

La zone d'étude est caractérisée par une pluviométrie très importante surtout dans les amonts de Texenna où elle peut atteindre les 1200mm (Fig.III.2). Ces apports influent directement sur le ruissellement dans le BV d'oued El-Agram.

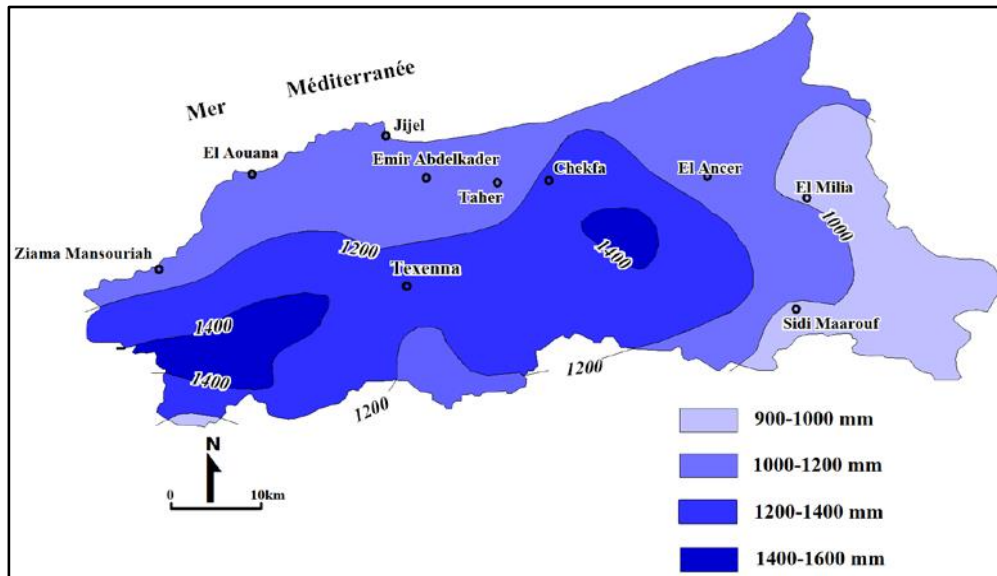


Fig.III.2 : Carte Pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH.1993)

III.4.1.1 Précipitations moyennes mensuelles

La pluie (précipitations) est un facteur climatique très important qui caractérise le climat de la région d'étude ; elle conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères. La variation des précipitations moyennes mensuelles de la station du barrage d'El-Agrem (2004-2020) est donnée à la figure III.3.

D'après l'histogramme de la répartition moyenne mensuelle des précipitations de la station du barrage d'El-Agrem (2004-2020), on remarque que le mois le plus pluvieux est celui de Novembre avec une moyenne de 167.8 mm ; alors que le mois le plus sec est celui de Juillet avec un minimum moyen de précipitations égale à 1.2 mm.

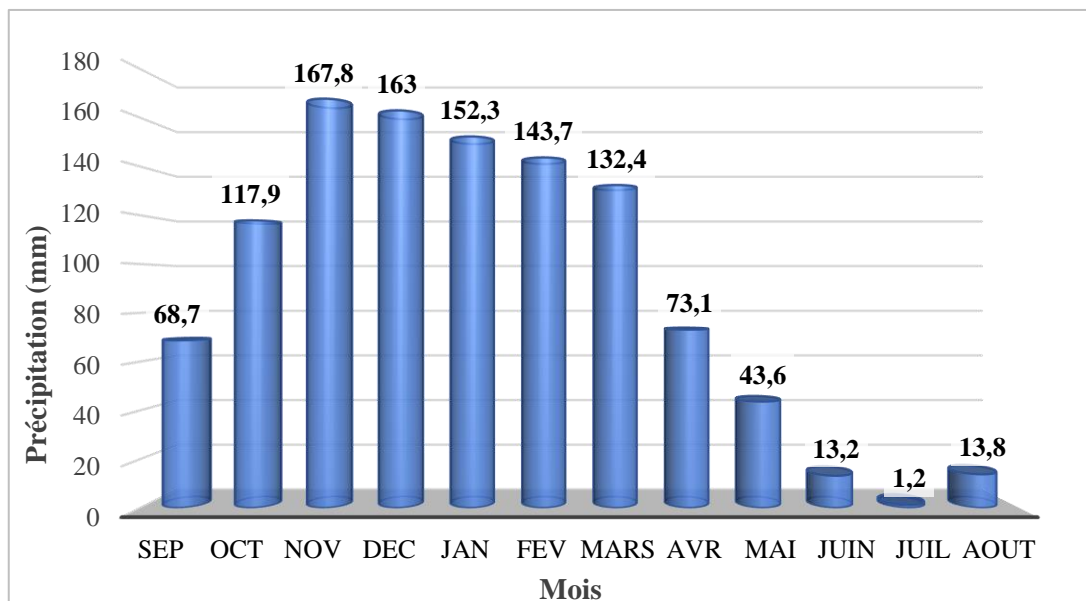


Fig.III.3 : Histogramme des précipitations Moyennes mensuelles de station du barrage El-Agrem (2004-2020)

III.4.1.2. Précipitations saisonnières

Pour distinguer les pluies saisonnières survenant dans des conditions de températures différentes. Nous avons calculé le pourcentage des précipitations de chaque saison par rapport au total annuel (Fig.III.4).

La représentation saisonnière montre une variation normale des précipitations entre les quatre saisons où la saison la plus pluvieuse est l'hiver avec une valeur de 459 mm et la saison la plus sèche est l'été avec 28.2 mm

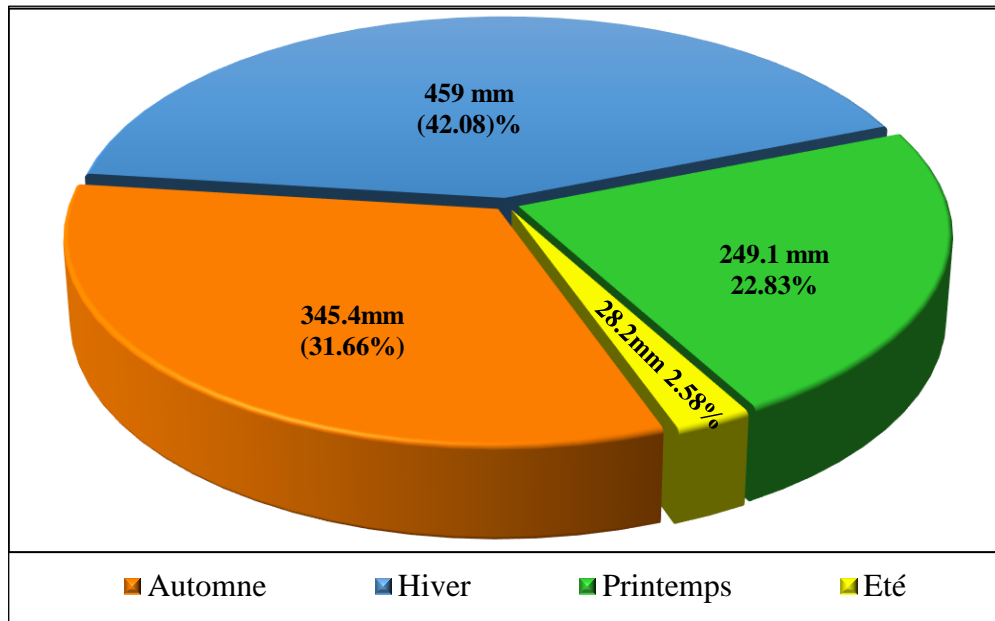


Fig.III.4 :Précipitation saisonnière à la station d'El Agrem (2004-2020)

III. 4.1.3. Précipitations moyennes annuelles

La variation interannuelle des précipitations pour la période de 2004 à 2020 est présentée sur le graphique (Fig.III.5). Pour la station de mesures nous remarquons que la hauteur annuelle des précipitations pour la période considérée varie de 713.17 mm en 2016-2017 à 1338.7 mm en 2012-2013, tandis que le module pluviométrique interannuel est égal à 1090.7 mm.

Le graphique montre aussi une alternance entre période déficitaire et excédentaire, à l'exception de la période 2007-2013 qui est une période excédentaire sur 6 ans successifs.

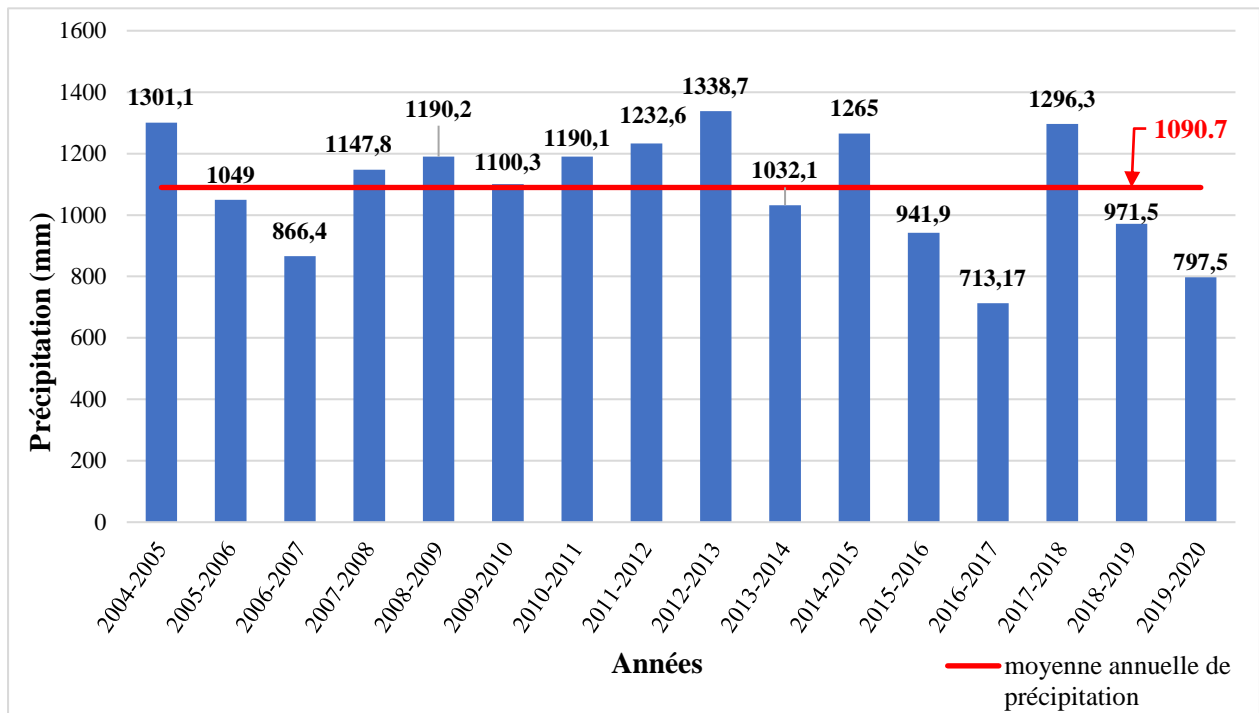


Fig.III.5 : Histogramme de la variation des précipitations annuelles de station de barrage El-Agrem (2004-2020)

III.4.2. Température

La température est l'un des facteurs, ayant une grande influence sur le bilan hydrologique vu son rôle dans le conditionnement de l'évapotranspiration. C'est bien évident qu'une variation considérable de température entre le jour et la nuit (chute de température durant la nuit par exemple et son élévation durant le jour a un effet négatif sur le comportement des sols et des roches, car elle facilite le phénomène de gel et dégel) (Benhamada H, Bourzama T, Tekkouk S., 2013).

III. 4.2.1. Températures moyennes mensuelles

La température de l'air est un facteur essentiel pour déterminer le climat d'une région ; elle joue un rôle essentiel dans l'étude de l'évaporation, l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement.

Les données observées pendant une période de 16 ans à la station du barrage d'El-Agrem (Fig. III.6), fait ressortir que les températures moyennes enregistrées prennent en générale des valeurs moyennes normales avec un minimum enregistré au mois de Février 11,8°C et un maximum pendant le mois de d'Août 26,9°C.

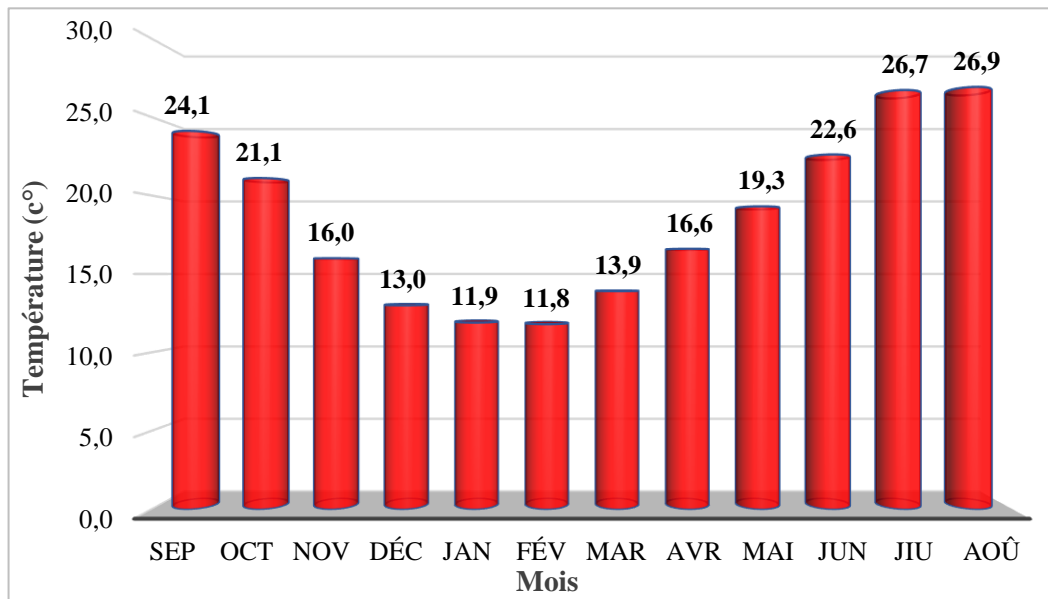


Fig.III.6 : Histogramme des températures moyennes mensuelles à station d'Achouat

III. 4.3. Diagramme Ombro-thermique (Courbe pluviométrique)

BAGNOULS et GAUSSEN (in STEWART, 1969) ont établi des diagrammes ombrothermiques pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche pendant l'année. Ils se sont basés sur la formule $P = 2 T \text{ } ^\circ\text{C}$; les mois secs sont définis, quand la courbe des précipitations est située au-dessous de celle des températures moyennes.

Ces graphiques permettent de suivre facilement la suite des saisons et l'importance de leur sécheresse. Mais, ils présentent l'inconvénient de ne pas faciliter la comparaison entre les stations. Par une application sur les données de température de la station d'Achouat et les précipitations enregistrées à la station du barrage d'El-Agrem (Fig. III.7), on peut distinguer deux périodes.

- Une période humide, s'étend de la fin du mois d'septembre jusqu'aux la fin du mois de mai caractérisée par une pluviométrie importante qui peut atteindre 167.8 mm au mois de novembre.
- Une période sèche qui s'étale de la fin du mois de mai jusqu'au début du mois de septembre. Au cours de cette période les températures atteignent une valeur maximale de 26.9°C au mois d'Août.

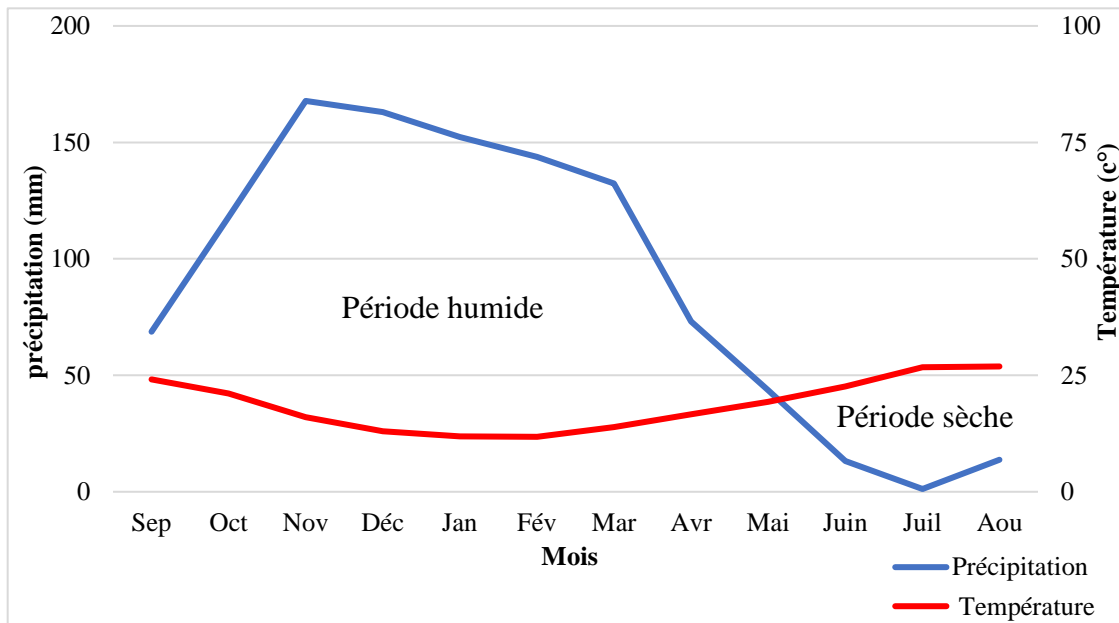


Fig.III.7 : Digramme Ombro-thermique de la station d'Achouat(T) et barrage El-Agrem (2004-2020)

III. 5. Bilan hydrique du bassin versant d'oued El-Agrem

Le cycle de l'eau peut être analysé schématiquement selon les trois éléments suivants :

- Les précipitations
- Le ruissellement ou écoulement de surface et l'écoulement souterrain,
- L'évapotranspiration.

Dans chacune des phases, on retrouve respectivement un transport d'eau, un emmagasinement temporaire et parfois un changement d'état. L'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut donc se faire à l'aide d'une équation de bilan appelée "bilan hydrologique" qui représente le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace et dans le temps, à savoir l'année hydrologique, (Chader B., 2016).

III.5.1. L'évapotranspiration

C'est une quantité physique variable utilisée en agro-météorologie qui consiste en la quantité d'eau (rapportée à l'unité du temps) qui depuis le sol passe dans l'air à l'état de vapeur en raison de l'effet conjoint de la transpiration des plantes et de l'évaporation directement du sol. (Bouakkaz R., Zentout W., 2020)

III. 5.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle (ETP) représente 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.

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

Avec :

ETP : L'évapotranspiration potentielle en (mm).

T : La température moyenne mensuelle en °C.

I : L'indice thermique annuel : $I = \sum_{i=1}^{12} i$,

i : indice thermique mensuel déterminé par l'expression : $i = (T/5)^{1.514}$;

a : coefficient calculé par la formule ; $a = 1.6 \left(\frac{I}{100} \right) + 0.5$

ETPc : L'évapotranspiration potentielle corrigée est donnée par la relation suivante :

$$\text{ETPc} = \text{ETP} * \text{K}$$

Où :

K : coefficient de correction qui dépend du temps et de la latitude ;

Tab.III.1 : Evapotranspiration selon la méthode de Thornthwaite à station de Barrage El-Agrem et station d'Achoat

Mois	T (c°)	P(mm)	I	ETP (mm)	K	ETPc (mm)
Sep	24.1	68.7	10.81	107.59	1.03	110.81
Oct	21.1	117.9	8.84	82.94	0.97	80.45
Nov	16	167.8	5.81	48.29	0.86	41.53
Déc	13	163	4.24	32.18	0.84	27.03
Jan	11.9	152.3	3.71	27.07	0.87	23.55
Fév	11.8	143.7	3.66	26.63	0.85	22.63
Mar	13.9	132.4	4.7	36.68	1.03	37.73
Avr	16.6	71.1	6.15	51.89	1.1	57.08
Mai	19.3	43.6	7.72	69.67	1.21	84.31
Jui	22.6	13.2	9.81	84.86	1.22	103.52
Juil	26.7	12	12.63	131.41	1.24	162.95
Aou	26.9	13.8	12.77	133.34	1.16	154.67
Total	18.6	1090.7	-	832.55	-	878.87
I = 90.9222 a = 1.9547						

II. 5.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle, la somme de l'évapotranspiration et de transpiration réelle pour une surface donnée. L'ETR peut être estimée par plusieurs formules parmi lesquelles :

- Formule de Turc : La formule de Turc permet d'évaluer directement l'évapotranspiration réelle annuelle d'un bassin versant à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle.

$$ETR = \frac{P}{0.9 + \sqrt{\left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en (mm).

P : Précipitations moyennes annuelles en (mm).

L : Paramètre exprimant le pouvoir évaporant de l'atmosphère.

$L = 300 + 25T + 0.05T^3$. Où T est la température moyenne annuelle en °C

Tab.III.2 : Evapotranspiration réelle selon la formule de Turc a station d'barrage El-Agrem (2004-2020)

Station	P (mm)	T (c°)	L	ETR (mm)	ETR (%)
Barrage El-Agrem	1090.7	18.6	1086.74	573.53	52.58

- Formule de Coutagne : cette formule permet de calculer l'évapotranspiration réelle en faisant intervenir la pluviométrie et la température.

$$ETR = P - (\lambda * P_2)$$

Avec :

$$\lambda = 1/(0.8+0.14T)$$

ETR : Evapotranspiration réelle (m/an).

P : Précipitations moyennes annuelles (m/an)

T : Température moyenne annuelle (°C)

Elle est applicable pour la condition suivante : $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$

Tab.III.3 : Evapotranspiration réelle selon la formule de Formule de Coutagne a station du barrage El-Agrem (2004-2020)

Station	T(°C)	λ	$1/8\lambda$	P (m)	$1/2\lambda$	ETR (mm)	ETR %
Barrage	18.6	0.29	0.43	1.090	1.72	451.54	41.39

III. 5.2. Estimation du bilan hydrique

III. 5.2.1. Estimation du ruissellement (R)

Écoulement du surplus des eaux de pluie à la surface du sol, qui n'a pu s'infiltrer ou s'évaporer. La lame d'eau ruisselée est exprimée par le rapport du volume ruisselé (m^3) par la surface du bassin (m^2), Elle est calculée selon deux formules (Bouakkaz R., Zentout W., 2020) :

- Formule de Tixeron-Berkaloff :

$$R = P^3 / 3 * ETP^2, \text{ si : } P < 600 \text{ mm} \dots\dots\dots (1)$$

- Formule de Tixeron-Berkaloff modifiée par Romantchouk.

$$R = P^2 / 3, \text{ si : } P > 600 \text{ mm} \dots\dots\dots (2)$$

Avec :

R : Ruissellement annuelle (m).

P : Précipitations annuelles (m).

ETP : évapotranspiration potentielle (m).

Les précipitations enregistrées dans la région d'étude dépassent 600 mm pour la station de barrage El-Agrem, la formule utilisée est celle de Tixeron-Berkaloff modifiée par Romantchouk (2). Les résultats de ruissellements sont récapitulés dans le tableau suivant (Tab .4).

Tab.III.4 : Estimation de ruissellement pour la station du barrage El- Agrem (2004-2020).

Station	P (mm)	ETP (mm)	R (mm)	R (%)
Barrage El-Agrem	1090.7	832.55	396.5	36.35

III. 5.2.2. Estimation de l'infiltration :

L'infiltration est la quantité d'eau franchissant la surface du sol, elle renouvelle les stocks d'eau souterraine et entretient le débit de l'écoulement souterrain et sortant après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous – sol (Bouakkaz R., Zentout W., 2020). L'estimation de la lame d'eau infiltrée Peut se faire à l'aide de la formule du bilan hydrologique comme suit :

$$P = R + I + ETR$$

$$I = P - (ETR + R)$$

Avec :

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm)

I : Infiltration en (mm)

R : Ruissellement (mm)

ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

Tab.III.5 : Estimation de l'infiltration pour la station du barrage El- Agrem (2004-2020).

Station	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)	I (%)
Barrage el Agrem	1090.7	396.5	573.53	120.67	11.06

On constate d'après les calculs que l'évapotranspiration prend le pourcentage le plus élevé des précipitations annuelles tombées sur le bassin (52.58 %) (Tab.III.2). Par contre, le pourcentage restant est divisé entre l'eau infiltrée et accumulée dans le sol (11.06%), et l'eau ruisselée dans le réseau hydrographique du BV d'oued El-Agrem (36.35%), ce dernier contribué à l'alimentation du barrage en aval.

III. 4. Bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite

C'est la méthode la plus utilisée pour les climats subhumides et semi-arides, elle consiste à calculer l'évapotranspiration réelle (ETR) mensuelle à partir des précipitations moyennes mensuelles, l'évapotranspiration potentielle (ETP), et la réserve facilement utilisable contenue dans le sol (RFU) qui est nécessaire pour le bon fonctionnement physiologique des plantes. L'estimation de l'évapotranspiration réelle établie par la méthode de Thornthwaite est liée au volume de précipitations (Tab.III.5) ; trois cas peuvent se présenter :

•1ère Cas :

$P > ETP \Rightarrow ETR = ETP$: Il y a reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation (un sol saturé, quand il aura absorbé une lame d'eau équivalente à une précipitation de 100 mm), le surplus représentera l'écoulement superficiel.

•2ème Cas :

$P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$: Dans ce cas, on puisera dans les réserves du sol jusqu'à satisfaction de l'ETP.

• 3ème Cas : $P < ETP$ et $RFU = 0 \Rightarrow ETR = P$: Dans ce cas, on aura un déficit qui représentera la quantité d'eau apportée pour l'irrigation (déficit agricole).

Tab.III.6 : Calcul du bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station du barrage d'El- Agrem (2004-2020)

Mois	P(mm)	T (c°)	ETPc (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DA (mm)	EXC (mm)
Sep	68.7	24.1	110.81	0	68.7	42.11	0
Oct	117.9	21.1	80.45	37.45	80.45	0	0
Nov	167.8	16	41.53	100	41.53	0	63.72
Déc	163	13	27.03	100	27.03	0	135.97
Jan	152.3	11.9	23.55	100	23.55	0	128.75
Fév	143.7	11.8	22.63	100	22.63	0	121.07
Mar	132.4	13.9	37.73	100	37.73	0	94.67
Avr	73.1	16.6	57.08	100	57.08	0	16.02
Mai	43.6	19.3	84.31	59.29	84.31	0	0
Jui	13.2	22.6	103.52	0	72.49	31.03	0
Juil	1.2	26.7	162.95	0	1.2	161.75	0
Aou	13.8	26.9	154.67	0	13.8	140.87	0
Total	1090.7	Moy=18.65	906.26	-	530.5	375.76	560.2

III. 5.1. Interprétation du bilan Hydrique :

L'examen de la figure III-8 et le Table III.5 permet d'en déduire les résultats suivants :

- Les précipitations deviennent supérieures à l'ETP du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril avec un pic au mois de Novembre de l'ordre de 167.8mm, cette période représente la période excédentaire du bilan.
- Le RFU commence à se reconstituer à partir du mois d'Octobre pour atteindre son maximum au mois de Novembre jusqu'au Avril, dans cette période on totalise un excédent de l'ordre de 560.2 mm.
- Par ailleurs, le RFU commence à se diminuer au mois de Mai pour qu'il soit totalement épuisé au mois de Juin. Le déficit agricole commence à apparaître au mois de juin et poursuit jusqu'au Octobre avec un total d'environ 348.37mm.

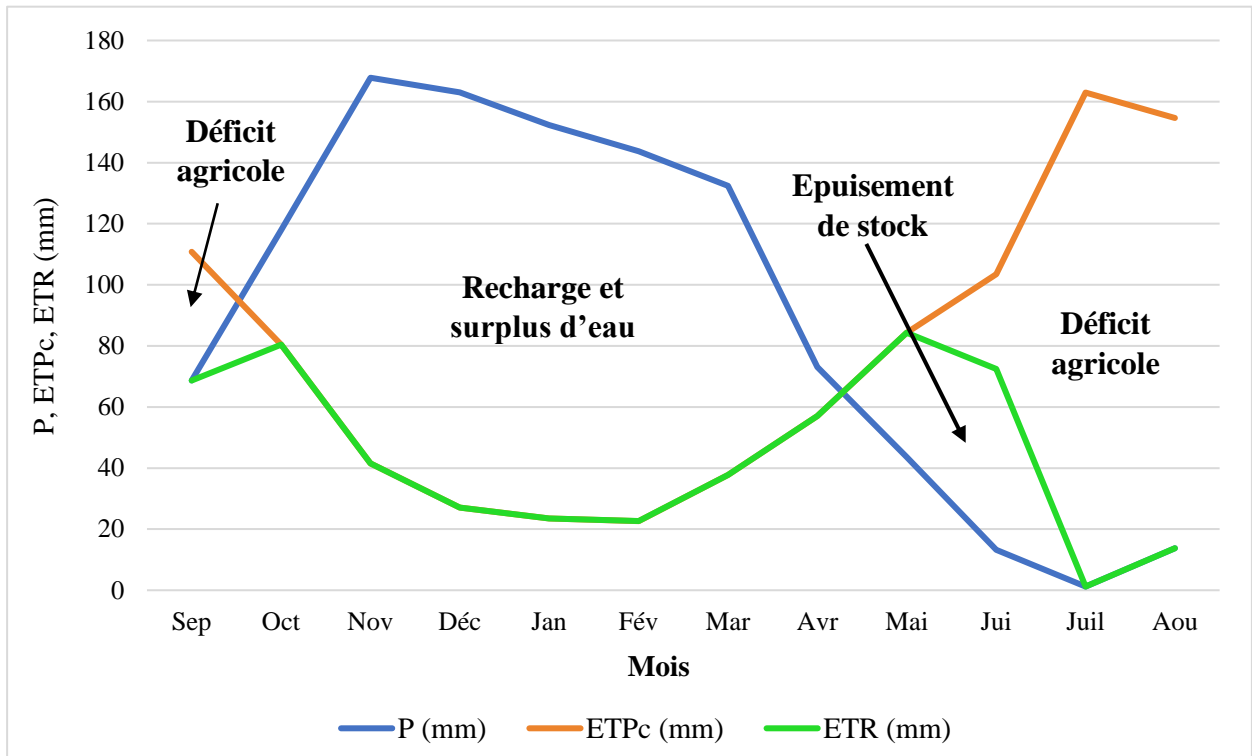


Fig.III.8 : Représentation du Bilan hydrologique de la station du barrage d'El-Agrem selon Thornthwaite.

III.6.Conclusion

A travers les résultats d'estimation de bilan hydrique, nous concluons que le bassin versant d'oued El-Agrem est caractérisé par un climat méditerranéen intermédiaire (période humide et période sèche).

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1090.7mm, alors que la moyenne annuelle de la température est de l'ordre de 18.65 °C pour la période (2004-2020) à la station du barrage d'El-Agrem.

Le bilan hydrique de cette zone d'étude montre que :

- L'évapotranspiration potentielle calculée selon la méthode de Thornthwaite est de 878.87mm
- L'évapotranspiration réelle selon Thornthwaite est de l'ordre de 530.5 mm, qui correspond à 52.58% des précipitations moyennes annuelles.
- Le déficit agricole selon la méthode de Thornthwaite est de l'ordre de 348.37mm, qui correspond à 31.94% des précipitations moyennes annuelles.
- Le Ruissèlement obtenu est de 432.5 mm soit 39.65%.
- L'infiltration calculée est de l'ordre de 84.67 mm, cette dernière est relativement faible et présente un pourcentage de l'ordre de 7.76% des précipitations moyennes annuelles, c'est la portion qui alimente les sources.

Chapitre IV : Estimation de ruissellement

IV. 1. Introduction

En hydrologie, le ruissèlement est un écoulement des eaux à la surface du sol qui fait partie de l'eau de pluie et retourne tôt ou tard dans un réseau hydrique, il dépend principalement de la morphologie, de la pédologie et de la climatologie du bassin versant.

L'estimation de ruissellement est faite souvent par le bilan hydrique, les formules empiriques ou par la modélisation. Son calcul permet d'estimer les apports liquides des oueds et la prévision des périodes de crue.

Le bassin versant d'El-Agrem caractérisé par une pluviométrie importante, avec une moyenne de 1090.7 mm sur une période de 16 ans (2004-2020), un réseau hydrographique dense avec un sol à dominance des marnes, il est bordé au sud et à l'est par une topographie montagneuse abrupte, ce qui favorise de plus le ruissellement surtout durant la période pluvieuse, ce qui entraîne un apport d'eau très important au barrage El-Agrem à l'aval.

En l'absence d'une station de jaugeage, nous avons utilisé les fluctuations du volume de barrage qui servent à calculer les apports du barrage qui seront par la suite utilisés pour établir une relation expérimentale entre les apports et les précipitations.

IV. 2. Barrage El Agrem

IV. 2.1 Situation de barrage

Le barrage est situé dans la partie Sud-Est à environ 15 km de la ville de Jijel, le site a été retenu par DGHI pour assurer l'alimentation en eau d'irrigation des périmètres irrigués situés dans les plaines côtières à l'Est de la ville de Jijel pour une superficie d'environ 6500 ha, il assure aussi récemment l'alimentation en eau potable des communes : Kaous, El Emir Abdelkader et une partie de la commune de Jijel.

IV. 2.2. Les paramètres hydrométriques de barrage

Le barrage a des moyens pour fournir des données hydrométriques importantes qui nous aident à connaître les volumes des défluent qui sortent quotidiennement de la retenue et le calcul de l'apport en absence d'une station de jaugeage. Ces paramètres sont :

- V_B/J : il représente le volume du stockage journalier du Barrage, il est mesuré manuellement au moyen d'une échelle située à la digue, contrairement aux nouveaux barrages qui ont des piézomètres.

- V_{AEP}/J : représente le volume journalier d'eau destinée à la l'alimentation en eau potable. Ce volume est fourni par refoulement à l'aide de pompe volumétrique immergée. Il est constant durant toute l'année ($19000 \text{ m}^3/j$).
- V_{IRR}/J : c'est le volume journalier d'eau destinée à l'irrigation. Il est pompé par des pompes volumétriques flottantes non immergé avec un volume journalier variable d'un jour à l'autre et d'une saison à l'autre selon les besoins agricoles. Le pompage commence d'avril et se termine en décembre.
- V_{EVAP}/J : c'est le volume d'eau journalier absorbé par le processus d'evatranspiration, ce dernier affecte surtout la surface de l'eau du barrage son effet est faible pendant la période hivernale et presque nul durant la précipitation, en revanche il est très important à l'été, où le volume évaporé peut atteindre $12000 \text{ m}^3/j$.
- V_{FUITT}/J : il représente le volume d'eau évacuée par les galeries qui ont été créé à travers les rives et les fondations en raison de fort pousse hydrostatique exercée par l'eau de la retenue, ou par la faille de contact entre les marnes et les gneiss à l'aval de l'ouvrage, ce volume est estimé à $200 \text{ m}^3/j$ s.
- V_{DEV}/J : c'est le volume d'eau évacué vers le canal de décharge lorsque l'eau atteint le niveau de 139 m, il est aussi évacué en cas de crue qui pourrait mettre en danger le barrage.
- V_{DJ}/J : représente le volume des lâcher jectés par les vannes au fond de barrage, cette opération mis en action pour extraire les sédiments. Ce processus se fait périodiquement après chaque période de crue, généralement à la troisième semaine de chaque mois.

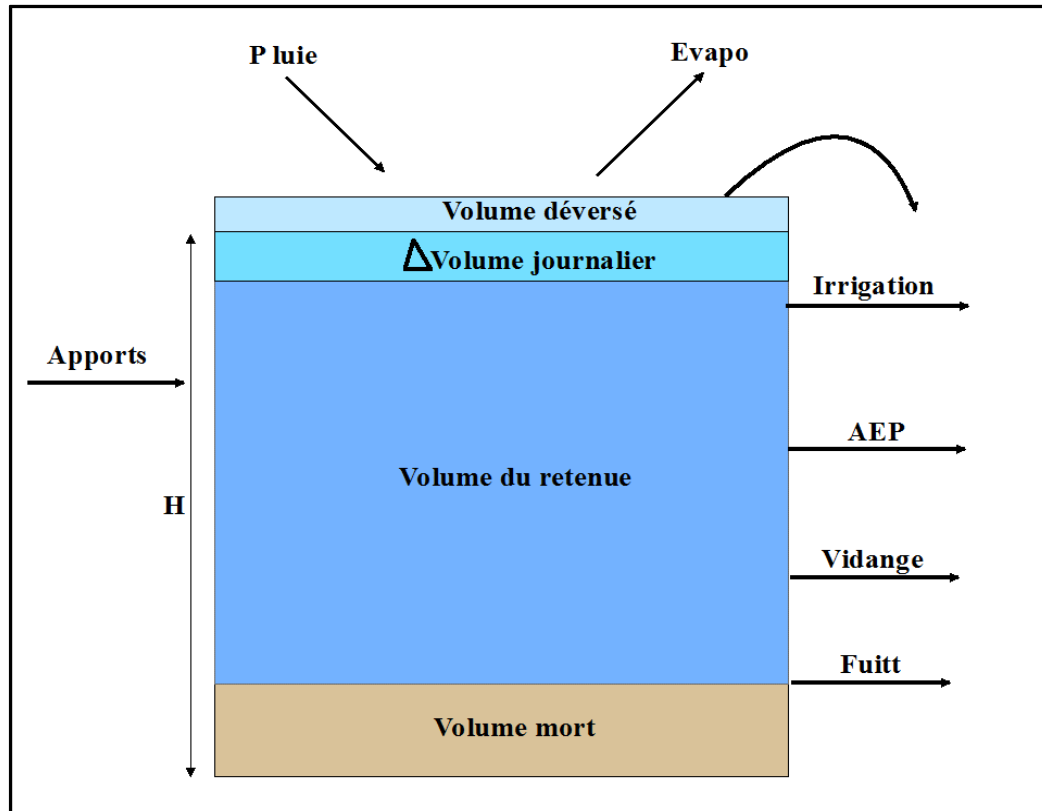


Fig. IV.1 : les entrées et les sorties du barrage.

IV.3. Les Paramètres hydrologiques du bassin versant

Il existe plusieurs paramètres qui peuvent être utilisés dans chaque étude hydrologique d'un bassin versant. Pour notre étude les paramètres qui sont inclus dans l'étude sont notamment :

- Les précipitations : désignent tous les eaux météoriques qui tombent sur un bassin versant, soit sous forme liquide ou solide. Elle est exprimée en mm.
- Les apports :représenté le volume de lame ruisselée sur un bassin versant durant une période pluvieuse, ils sont exprimés en m^3 ou hm^3 .
- Temps de concentration :Le temps de concentration T_c est considéré comme un temps caractéristique de l'écoulement sur un bassin versant donné. Il est défini comme le temps que met l'eau tombée au point le plus éloigné en amont du bassin versant pour atteindre l'exutoire (Guerbouz et Ben Messaoud, 2020). Le temps de concentration peut être calculé par la formule de GIANDOTTI:

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

Où :

T_c : temps de concentration (heures)

S : superficie du bassin versant

L_p : longueur du talweg principal

H_{moy} : altitude moyenne du bassin versant

H_{min} : altitude minimale du bassin versant

Par l'application de la formule on a trouvé un temps de concentration égal à 2.19 heures

- Vitesse de concentration :

C'est la vitesse moyenne de propagation de la crue (Gaagia A., 2009), elle est calculée par la formule suivante :

$$V_c = \frac{L_p}{T_c}$$

Où :

V_c : vitesse de concentration(km/h)

L_p : longueur du talweg principal

T_c : temps de concentration(h)

Le calcul donne une vitesse de concentration V_c égale 2.28 Km/Heure

IV.4. Méthodologie

IV.4.1. Méthodologie pour la calcul de d'apports (affluents)

A défaut de l'absence de station de jaugeage opérationnelle au niveau de l'exutoire du bassin versant pour mesurer les apports d'oued El-Agrem, nous avons utilisé les apports estimés dans le barrage pour calculer le ruissellement. Ce barrage contient un système de mesure automatique journalier des paramètres hydrométriques (V_B/J , V_{AEP}/J , V_{IRR}/J , V_{EVAP}/J , V_{FUITT}/J , V_{DEV}/J , V_{VDJ}/J) et météorologique P et ETP.

Pour calculer le volume des affluents (apports) journalier nous avons tout d'abord calculé les paramètres suivants :

- $\Delta VB (t-(t-1))$ est la différence du volume d'eau dans le barrage entre le jour j et le jour j-1 on distingue deux cas :
Gain : se produit lorsqu'il y a une augmentation du volume d'eau dans la retenue par rapport à le jour j-1.
Perte : se produit lorsqu'il y a une diminution du volume d'eau par rapport à le jour j-1.
- Le défluent : il représente le volume total d'eau extrait et perdue quotidiennement de barrage, calculé à partir des données hydrométriques par la formule suivante :

$$\text{Deff } /j = \text{VAEP}/J + \text{VIRR } /J + \text{VEVAP}/J + \text{VFUITT}/J + \text{VDEV}/J + \text{VVDJ } /J$$

Il existe deux types des affluents, leur distinction dépend du volume de défluent et le cas du gain ou de la perte dans le volume total du barrage $\Delta VB (t-(t-1))$, cette méthode produit deux cas des affluents :

- Affluent positif :
Représenté l'état normal des apports de l'oued et du barrage, il est calculé comme suit :
S'il y a un gain de capacité $\rightarrow \text{Aff } /J (+) = \text{Deff } /j + \text{Gain } /J$
S'il y a un Perte de capacité $< \text{Deff} \rightarrow \text{Aff } /J (+) = \text{Deff } /j - \text{Perte } /J$
- Affluent négatif :
Il s'agit d'un cas exceptionnel, car il exprime la présence d'une erreur dans les mesures obtenue (dysfonctionnement de l'instrument de mesure), qui doit être vérifiée et l'ingénieur essayera de trouver le défaut, il est calculé avec :
S'il y a un Perte de capacité $> \text{Deff} \rightarrow \text{Aff } /J (-) = \text{Perte } /J - \text{Deff } /J$

IV.4.2. Méthodologie pour le développement des hydrogrammes

L'hydrogramme est une courbe ou graphique représentative de la variation temporelle du débit d'écoulement dans un cours d'eau. On utilise des hydrogrammes pour étudier cette variation soit au point d'un bassin versant, soit à une section d'un cours d'eau.

Un hydrogramme est ainsi un graphique montrant la vitesse d'écoulement (débit) en fonction du temps passé à un moment précis dans une rivière ou tout autre canal ou conduit transportant un flux, le débit est généralement exprimé en mètres cubes par seconde ou heure.

L'analyse des événements précipitations-débits requiert la connaissance d'un certain nombre d'éléments caractéristiques de la crue (Fig.IV.2). Une averse, définie dans le temps et dans l'espace,

tombeant sur un bassin versant de caractéristiques connues, et dans des conditions initiales données, provoque à l'exutoire du bassin considéré un hydrogramme par le quel on peut définir :

- Temps de réponse du bassin t_p (ou "lag") : Intervalle de temps qui sépare le centre de gravité de la pluie nette de la pointe de crue ou parfois du centre de gravité de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface.
- Temps de montée t_m : Temps qui s'écoule entre l'arrivée à l'exutoire de l'écoulement rapide (détectable par le limnigraphe) et le maximum de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface.
- Temps de base t_b : Durée du ruissellement direct, c'est-à-dire la longueur sur l'abscisse des temps de la base de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface.

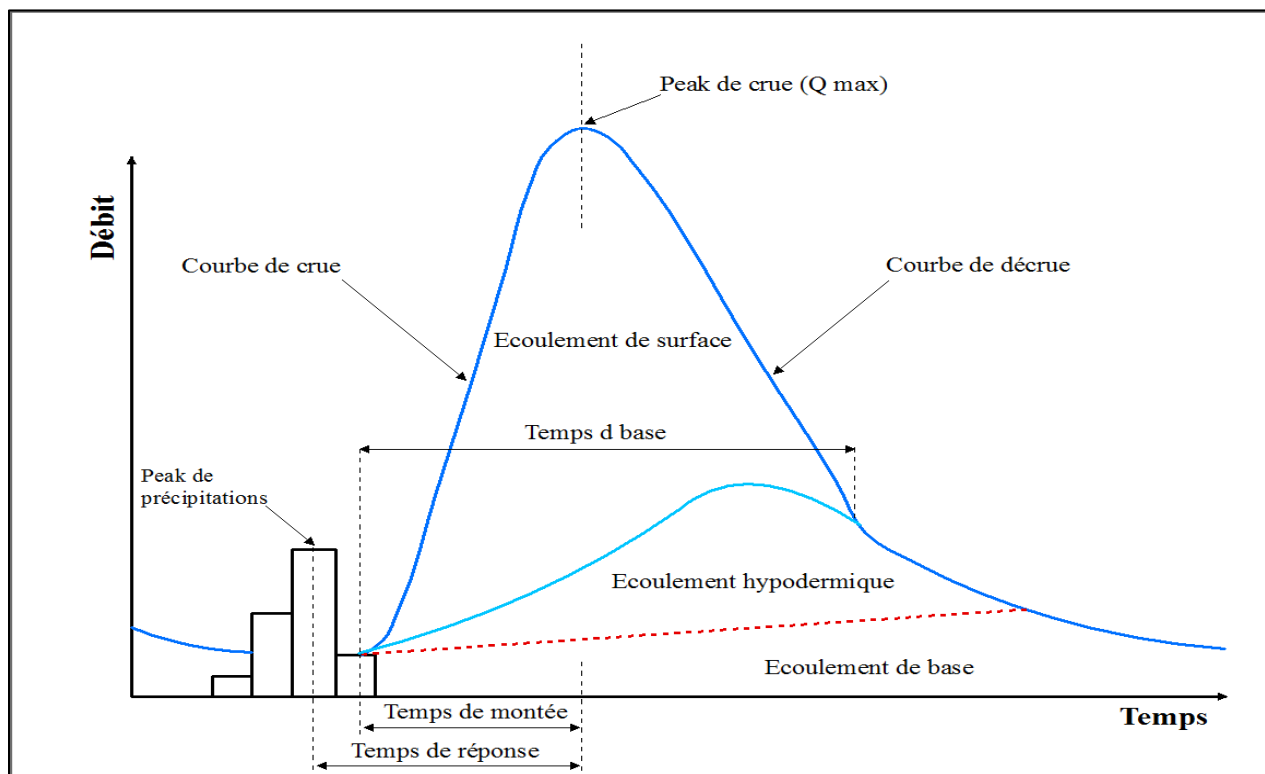


Fig. IV.2: Composants de hydrogramme de crue

L'étude de la réponse hydrologique et la relation entre la précipitation et la lame ruisselé du bassin versant d'oued El-Agrem au niveau du barrage a été effectuée selon deux étapes :

- 1- Nous avons tracé l'évolution ou la variation des apports journaliers de l'oued El-Agrem en fonction des précipitations journalières sur une période d'une année (01/01/2018 au 31/12/2018) (Fig. IV.8).

- 2- Nous avons sélectionné les épisodes pluvieux qui génèrent des apports importants et qui seront par la suite utilisés pour faire la corrélation pluie-apport. Ces épisodes sont par la suite séparés et représentés séparément pour pouvoir séparer les composantes de chaque hydrogramme et calculer le ruissellement pour chaque épisode.

IV.4.3. Méthodes de séparation des écoulements dans un hydrogramme

La séparation des différentes composantes de l'hydrogramme de crue ne peut être qu'approximative et arbitraire puisqu'il n'existe pas de méthode expérimentale simple permettant d'identifier l'origine et le trajet antérieur des débits qui arrivent à l'exutoire. En pratique on se borne à diviser ces débits en deux parties essentielles :

- Le ruissellement ou l'écoulement direct de surface qui englobe le ruissellement superficiel, l'écoulement hypodermique et les précipitations reçues par les surfaces d'eau libres du bassin versant.
- L'écoulement de base ou souterrain qui vient de l'alimentation du cours d'eau par la nappe.

Dans la pratique, un hydrogramme de crue peut être accompli par plusieurs techniques dont les plus connues sont décrites dans ce qui suit :

IV.4.3.1. La méthode AC. ABC ou ADC

L'application de cette méthode prend arbitrairement en compte que le temps N défini plus haut est connu. Il consiste à relier le point A correspondant à l'origine de la crue à celui (point C) correspondant à la fin du ruissellement (Fig. IV.3). Le volume correspondant au ruissellement superficiel sera situé au-dessus de cette droite obtenue en reliant le point A avec C, ou brisée (méthodes ABC et ADC). Les points B et D représentent l'intersection du prolongement de la partie de l'hydrogramme avant la montée des eaux avec l'axe vertical définissant le temps de pointe de l'hydrogramme observé. On admet enfin l'hydrogramme de l'écoulement souterrain.

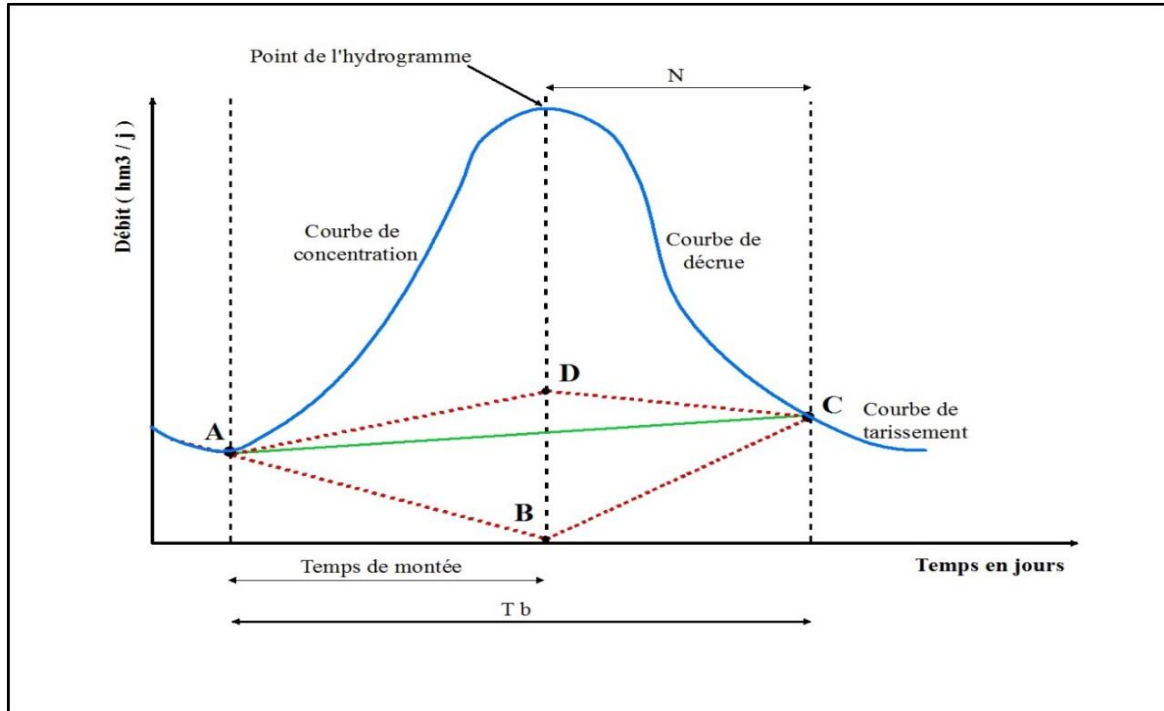


Fig. IV.3 : Séparation d'un hydrogramme par la méthode AC, ABC, ADC

IV.4.3.2. Méthode utilisant la courbe type de tarissement

Dans le cas d'un enregistrement continu sur une longue période sur quelques années, on reporte les valeurs des débits en fonction du temps (Fig.IV.4).

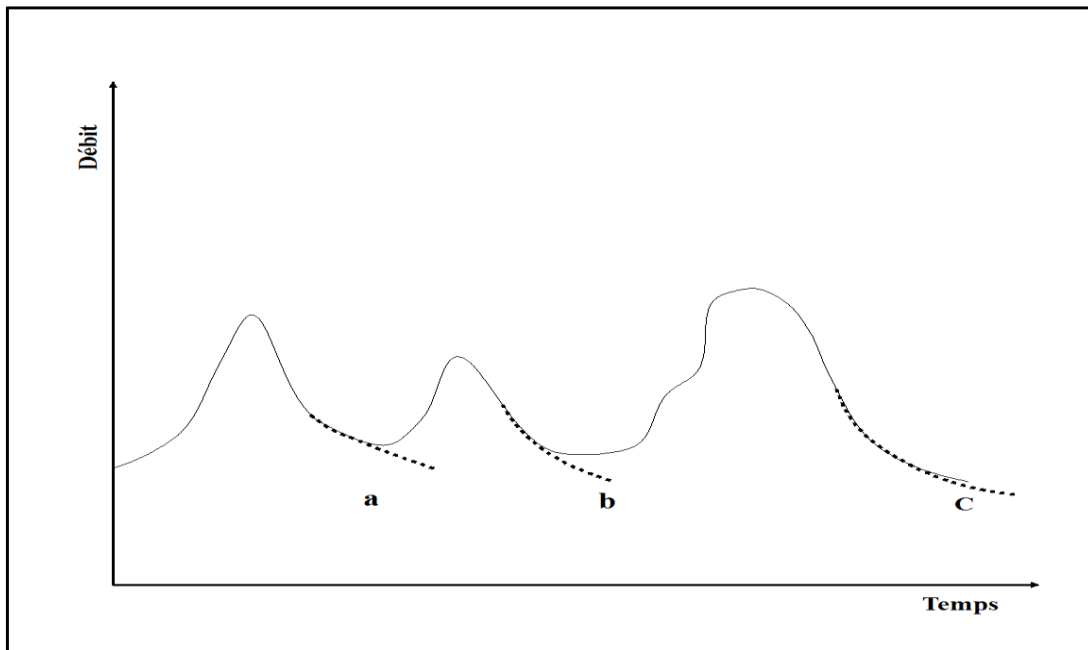


Fig.IV.4: Hydrogrammes des crues

Nous traçons les parties des décrues des hydrogrammes de crues sur une échelle semi-logarithmique et obtenons une série des courbes de décrues (Fig.IV.5).

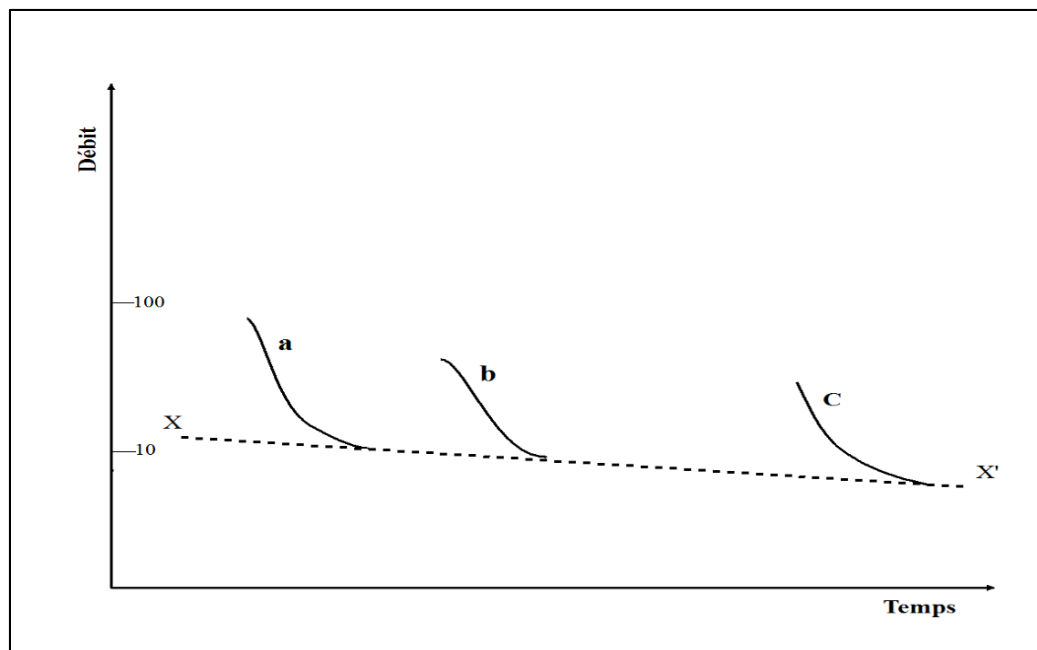


Fig.IV.5 : Parties des décrues des hydrogrammes

En commençant par les débits plus faibles, on trace la tangente XX' à l'inférieure des courbes obtenues et ensuite cette tangente reconvertie à une échelle arithmétique pour avoir ce qu'on appelle une courbe type de tarissement (Fig.IV.6).

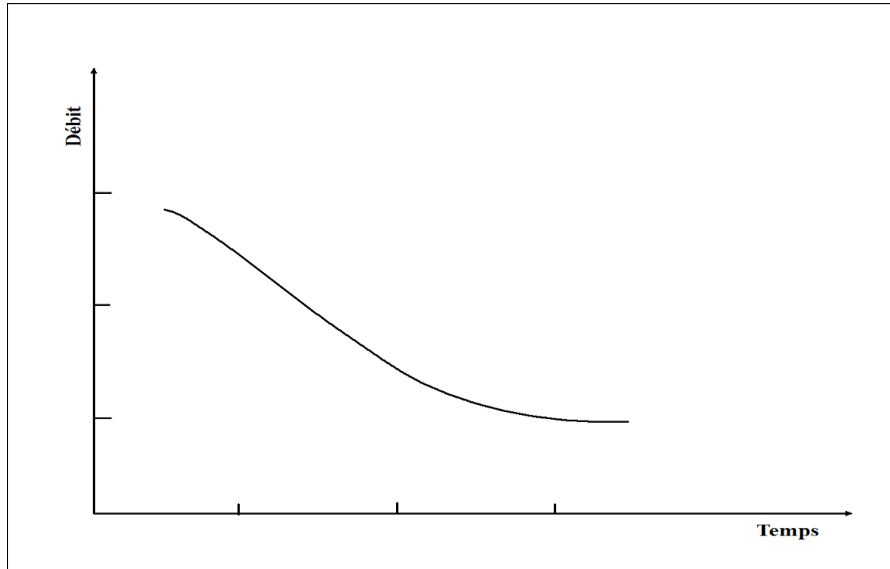


Fig. IV.6 : Courbe type de tarissement

Cette courbe peut être utilisée pour séparer le flot de base d'un hydrogramme de crue afférente à une averse de caractéristiques données. La superposition des parties terminales de la courbe type de tarissement et de la courbe de décrue de l'hydrogramme observé permet de déterminer le point C matérialisant la fin du ruissellement direct et marqué par le point de divergence entre les deux courbes (Fig.IV.7). Pendant la crue, le débit de base est matérialisé par le segment de droite joignant le point A, définissant le début de la montée des eaux, et le point C marquant le temps où tout ruissellement direct a cessé.

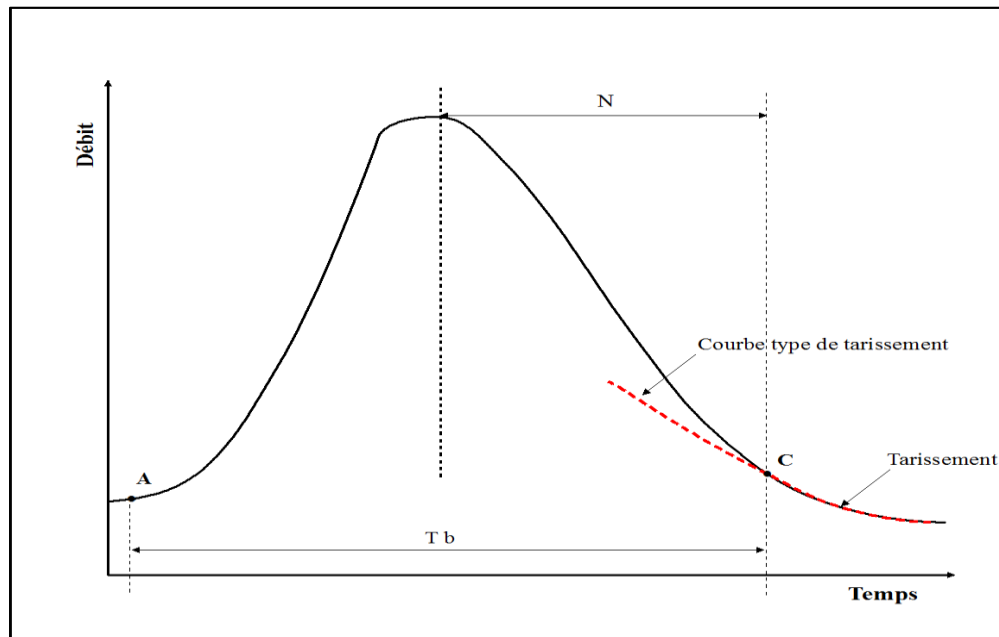


Fig. IV.7 : Superposition des courbes de tarissement

IV.5. Les erreurs qui affectent la qualité des données :

De façon générale, l'erreur correspond à la différence existante entre la valeur réelle et la valeur mesurée ou la valeur de référence et la valeur mesurée, (Roulin J-L., septembre 2018). En fait, il est difficile d'atteindre la vraie valeur quelle que soit la précision de la mesure et à partir de là, les erreurs sont divisées en deux catégories en fonction de leur cause :

IV.5.1. Les erreurs aléatoires (accidentelles) :

Dans la construction des tests et l'analyse de la fidélité, quand on parle d'erreur de mesure, on fait référence à ce qu'on appelle l'erreur aléatoire. Cette erreur est le résultat d'un ensemble de facteurs qui font parfois la mesure sera légèrement supérieur à la valeur réelle et parfois légèrement inférieure. Parmi ses causes on peut citer :

- Absence de l'observateur non signalée.
- Déguisement de la donnée non lue à temps ou décalage de jour.
- Oublis de virgules, mauvaises interprétations des chiffres et calcul des cumuls et des moyennes.

IV.5.2. Les erreurs systématiques :

Cette erreur est une déviation constante négative ou positive introduit par l'instrument, on parle d'erreur systématique lorsqu'elle peut durer sur une période plus ou moins longue par rapport à une valeur de référence.

Parmi les causes possibles de cette erreur :

- Déplacement du site d'observation.
- Une modification de l'environnement immédiat du post de mesure.
- Non-conformité du matériel de mesure ou à des défauts d'appareillage non remarqués par le service gestionnaire.

IV.6. Discussion des résultats :

Les crues sont des écoulements caractérisés par forts augmentation du débit, dans l'objet d'étudier la relation entre les précipitations dans le bassin versant et le volume de la lame ruisselé par des hydrogrammes, en fonction de ces paramètres :

- Les précipitations
- Le volume des apports
- La forme de bassin et le temps de concentration

L'analyse d'évolution des volumes des apports qui rentre dans le barrage El-Agrem en fonction des précipitations, on se basant sur les données obtenues des services gestionnaires du barrage pour l'année 2018 a donné les résultats de la figure IV8.

Après la séparation des évènements pluvieux pour l'étude de la variation du volume d'apports qui rentre dans le barrage, nous avons choisi les épisodes qui donnent une réponse hydrologique claire et positive, et nous ne prenons pas en compte les épisodes qui ne produisent pas une réponse claire. Certains épisodes ne produisent par des apports importants malgré l'importance des précipitations, ceci est dû au processus d'infiltration ou de saturation du sol surtout pour les pluies automnales.

Par la suite chaque épisode a été tracé séparément, où nous avons totalisé neuf (9) épisodes pluvieux.

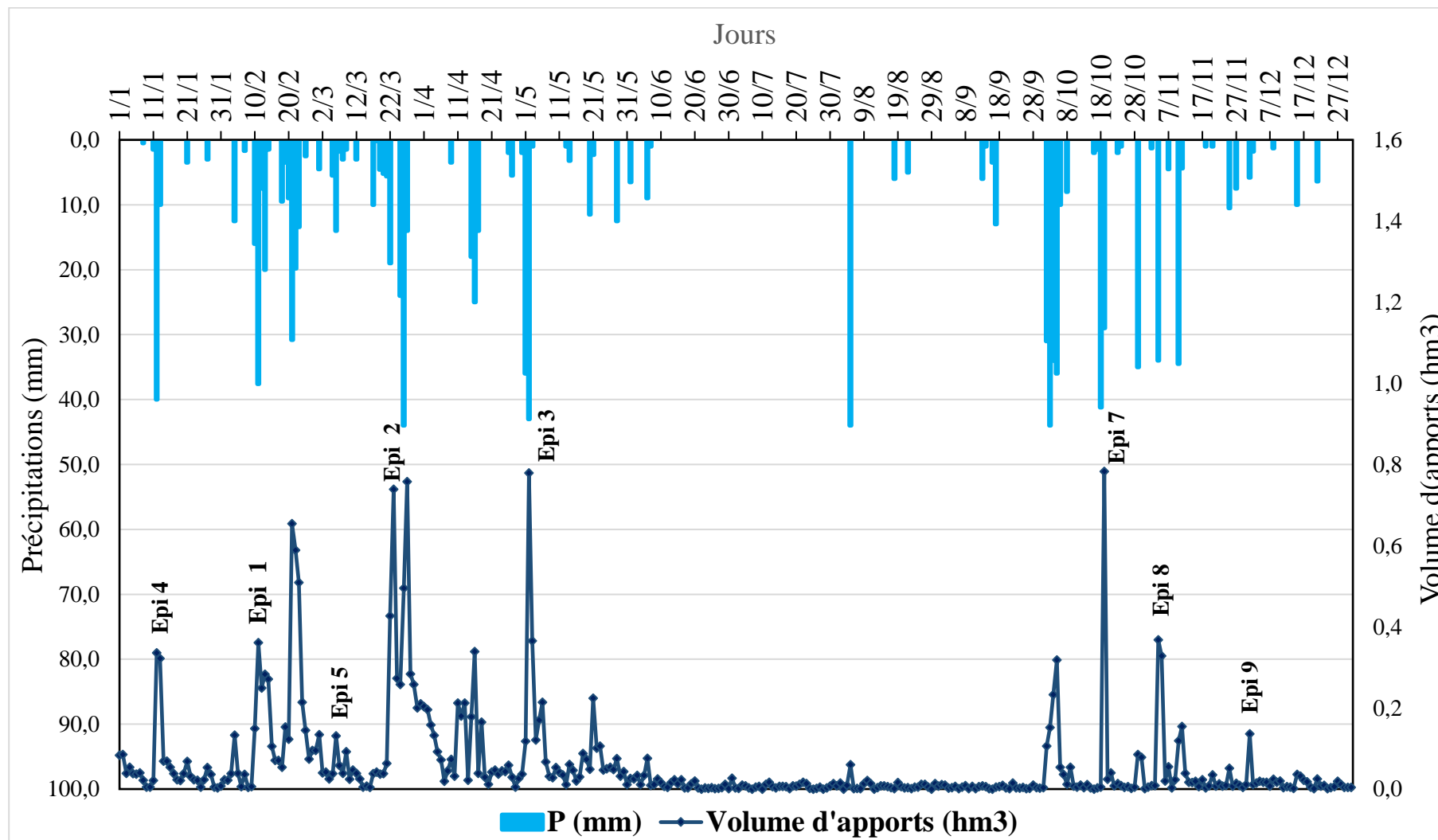
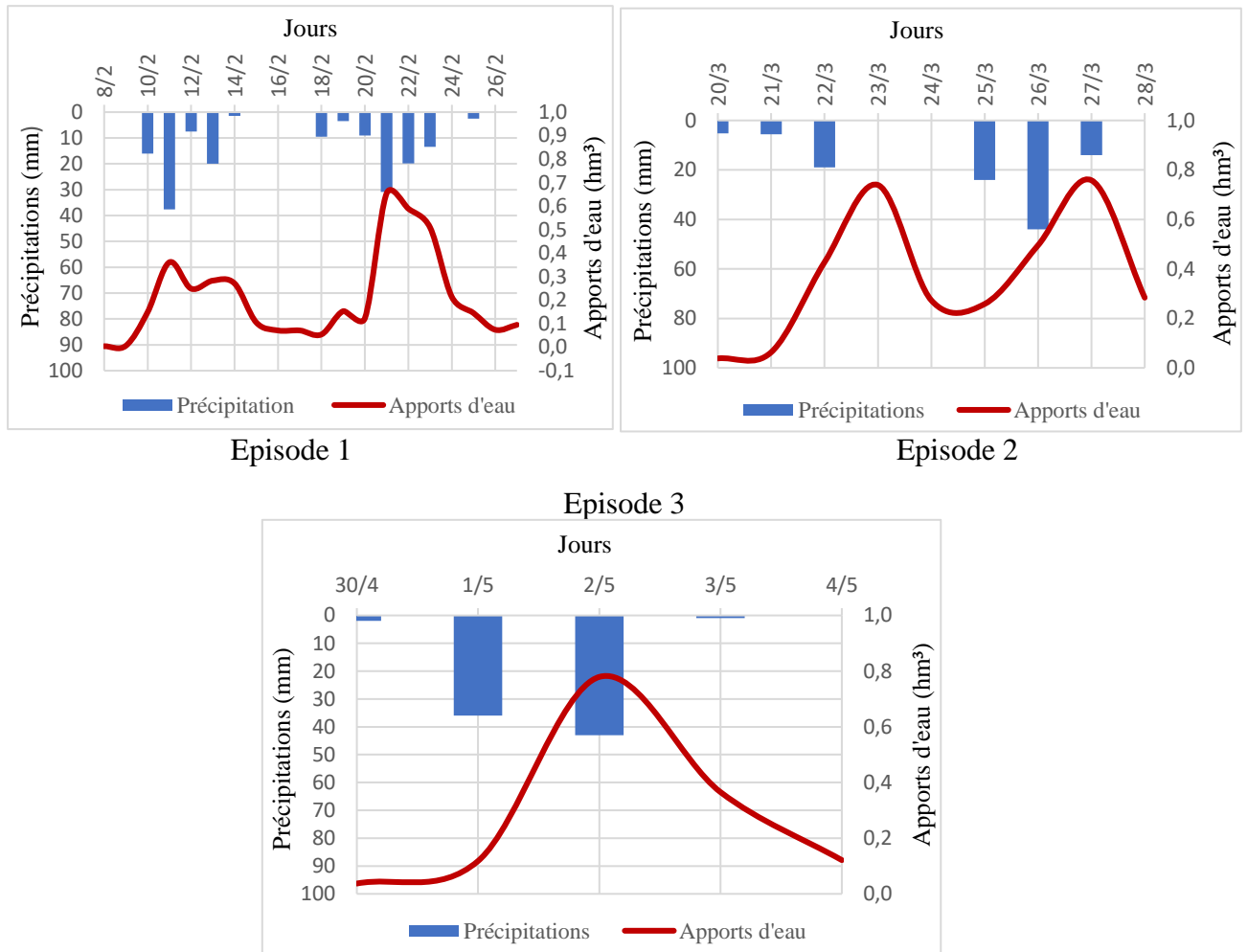


Fig. IV.8: Variation des apports journaliers en fonction des précipitations journalières pour l'année 2018

- Les épisodes des forts apports :

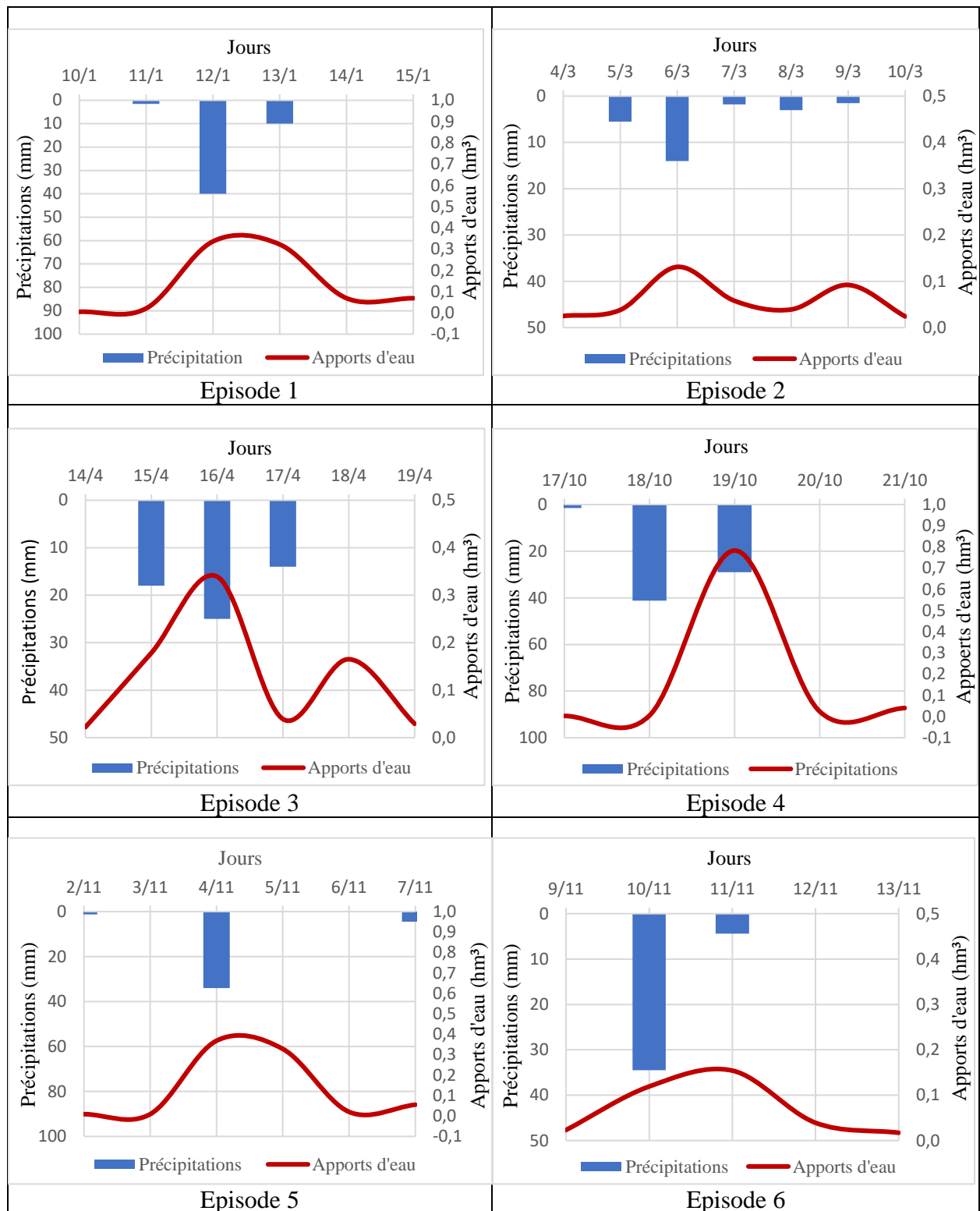


Pendant les trois épisodes (février, mars et mai) présentent une évolution simultanée entre les précipitations et les apports d'eau, ils ont un temps de réponse court, avec un volume d'apports assez important après chaque épisode de pluie.

Par exemple nous avons totalisé pour l'épisode 1 un apport de 4.07 hm³ pour une pluie de 171.6mm.

Ces épisodes pluvieux montrent une bonne corrélation entre la précipitation et les apports d'eau

- Les épisodes des faibles apports



Les hydrogrammes ci-dessus montrent que la faible précipitation dans ces épisodes (1,2,3,4,5,6) donc suivi automatiquement d'une diminution de volume des apports avec un temps de réponse court (moins d'une journée), il y a parfois un retard dans la période des basses eau dû à la sol non saturé (infiltration).

Ces épisodes pluvieux ont donné une bonne corrélation entre la pluie et les apports.

IV. 6.1. Relation apports d'eau – précipitations

L'établissement d'une corrélation entre les apports d'eau cumulés du barrage et les pluies cumulées durant des 9 épisodes pluvieux (Fig. IV.9) montre une relation linéaire entre les deux variables. Tous les épisodes montrent une bonne corrélation, cela est dû à la surface du bassin versant qui n'est pas importante et la nature imperméable des terrains géologiques (dominance des marnes) qui ne permet pas l'infiltration d'eau de pluie, cela permet de préserver le volume des apports d'eau en fonction des précipitations.

Tab.IV.1 : Volume d'apports des épisodes

		Début	Fin	P (mm)	Volume apports (hm ³)
Episodes de forts apports	1	10/02/2018	26/02/2018	171.6	4.078
	2	20/03/2018	28/03/2018	111.8	3.3
	3	30/04/2018	04/05/2018	82	1.421
Episodes de faibles apports	1	11/01/2018	14/01/2018	51.5	0.74
	2	05/03/2018	09/03/2018	25.8	0.38
	3	15/04/2018	18/04/2018	57	0.72
	4	18/10/2018	20/10/2018	70.2	0.815
	5	04/11/2018	05/11/2018	34	0.69
	6	10/11/2018	12/11/2018	38.9	0.31

IV. 6.2. La courbe de corrélation

La courbe de corrélation permet d'illustrer et de donner la relation entre deux phénomènes variables et montre l'influence de l'un sur l'autre.

Le calcul et le tracer de la droite de régression est très utile pour prévoir la valeur de Y en fonction de X. En effet, elle permet d'exprimer sous forme mathématique la relation entre les variables X et Y, (El Atyqy, 2018).

L'utilisation du diagramme de corrélation passe par plusieurs phases :

- Déterminer les deux phénomènes à étudié (cause-effet).
- Recueillir les paires de données à utiliser.
- Tracer la cause sur l'axe X et l'effet sur l'axe Y.
- Pointer, sur le graphique, les paires des données.
- Trouver l'équation de la droite de régression ($Y = ax+b$), calculer le coefficient de corrélation R^2 et tracer la droite de régression.
- Analyser le graphique.

La corrélation entre le volume des apports (lame ruisselée) et les précipitations pendant les épisodes pluvieux dans le bassin versant, nous a permis de trouver une relation linéaire entre les deux paramètres (Fig. IV.10).

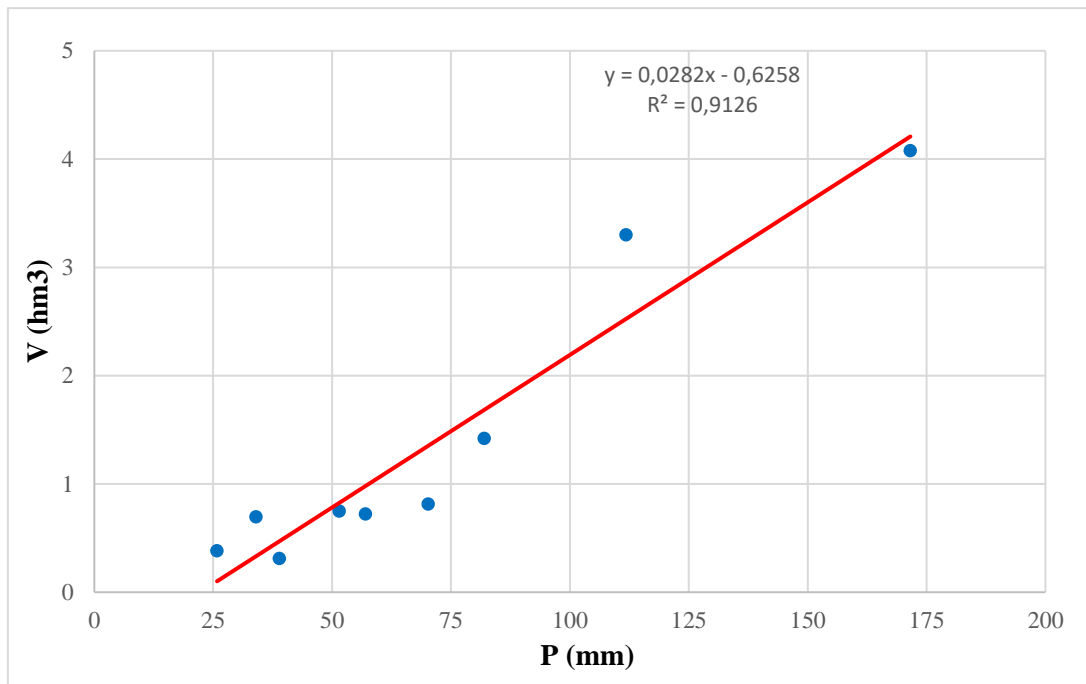


Fig . IV-10 : Courbe de corrélation entre les précipitations et le volume des apports cumulés durant les épisodes pluvieux

La formule expérimentale obtenue à partir de cette corrélation pour calculer le volume de la lame ruisselée est la suivante :

$$\text{Volume d'apports} = 0.0282 * \text{pluie} - 0.6258 \dots\dots\dots (1)$$

$$R^2 = 0.9126$$

Où :

Le volume ruisselé est en hm^3 et la pluie en mm

L'estimation de la hauteur de la lame d'eau ruisselée R dans le bassin versant qui exprimé en mm, il est donné par la formule suivante :

$$R = \frac{\text{Volume ruisselé}}{\text{Superficie du bv}} \dots\dots\dots (2)$$

L'application de la formule précédent (2) a donné les résultats du tableau IV.2 :

Tab.IV.2 : Volume de lame ruisselée des épisodes par la formule expérimentale

		Début	Fin	Surface de BV	P (mm)	Volume apports (hm3)	La hauteur de lame ruisselée (mm)
Episode des forts apports	1	10/02/2018	26/02/2018	39.45	171.6	4.078	103.37
	2	20/03/2018	28/03/2018		111.8	3.3	83.65
	3	30/04/2018	04/05/2018		82	1.421	36.02
Episode des faibles apports	1	11/01/2018	14/01/2018		51.5	0.74	18.98
	2	05/03/2018	09/03/2018		25.8	0.38	9.71
	3	15/04/2018	18/04/2018		57	0.72	18.29
	4	18/10/2018	20/10/2018		70.2	0.815	20.65
	5	04/11/2018	05/11/2018		34	0.69	17.65
	6	10/11/2018	12/11/2018		38.9	0.31	7.92

La comparaison entre les précipitations et les hauteurs de la lame ruisselée lors les épisodes pluvieux montre que les valeurs de lame ruisselée est proportionnelle aux précipitations avec une bonne corrélation.

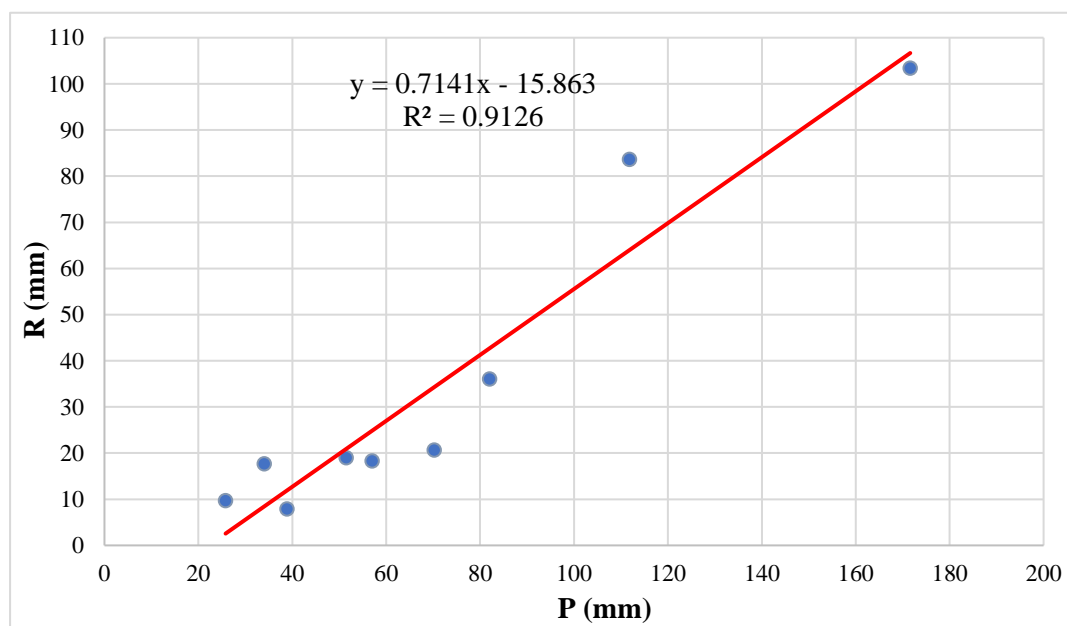


Fig. IV.10 : Corrélation entre les précipitations et le ruissellement durant les Episodes pluvieux

A partir des précipitations annuelles enregistrées dans la station du barrage El-Agrem, nous calculons le ruissellement annuel :

$$R = 0.7141x - 15.863$$

$$R = 0.7141 * 1078 - 15.863$$

$$R = 753.93 \text{ mm}$$

Cette résulte monter que 69.93 % des précipitations qui tombent dans le bassin contribuent dans le ruissellement.

Le ruissellement dans le bassin versant par l'application la formule de Tixeront Berkalouff dans le chapitre d'hydro- climatologie est de l'ordre de 396.5 mm.

IV.6.3 : L'estimation de volume ruisselée par la formule expérimentale du bassin versant d'oued Kissir (Benamour Z & Fassi S., 2017)

L'application de la formule expérimentale de ruissellement trouvée par Benamour & Fassi en 2017 pour le bassin versant d'oued Kissir sur le bassin versant d'oued El-Agrem a donné un ruissellement de l'ordre de 747.56 mm.

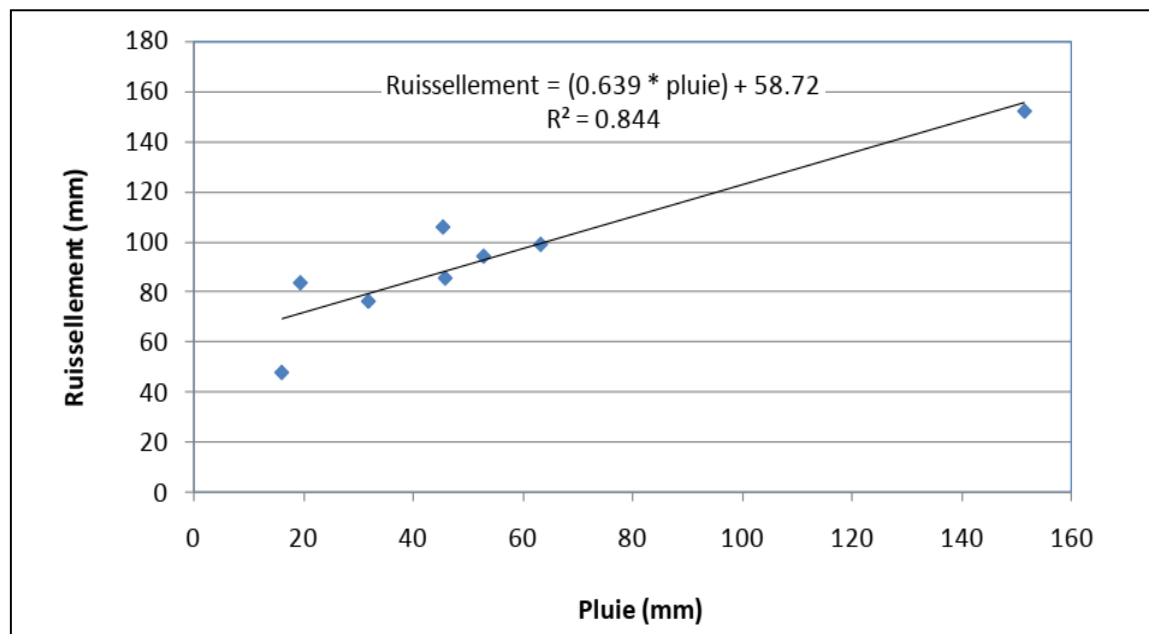


Fig. IV.11 : Corrélation entre les précipitations et le ruissellement durant les épisodes pluvieux pour le bassin versant d'oued Kissir (Benamour Z & Fassi S., 2017)

IV.6.4. Comparaison entre les résultats de ruissellement trouvés par les différentes formules

La comparaison entre les valeurs de ruissellement calculées par les différentes formules a montré clairement l'utilité des formules expérimentales pour l'estimation de ruissellement, où on a trouvé une erreur de 0.84% entre notre formule et celle de Kissir, par contre cette erreur monte jusqu'à 47.40 % pour la formule de Tixeront Berkalouff qui ne tiens pas compte de la nature du sol et du couvert végétale.

Tab. IV.3: Comparaison entre les résultats de ruissellement trouvés par les différentes formules

Ruissellement en mm				
Notre formule expérimentale	Formule trouvée par Benamour & Fassi en 2017		Formule de Tixeron Berkalouff	
	Valeur	Erreur	Valeur	Erreur
753.93	747.56	0.84%	396.5	47.40 %

IV.7 : Conclusion

Le travail s'est déroulé suivant une méthodologie différente des formules empirique précipitations-apports classique qui se résument en formulation, calage des paramètre et validation de formule, il s'agit d'une analyse des précipitations et leur respective variation des apports pendant les épisodes pluvieux à l'exutoire de bassin pour l'année 2018.

L'étude permet de constater :

- Une erreur élevée avec un pourcentage de 47.40 % entre notre formule et celle théorique de Tixeron Berkalouff.
- Une erreur presque négligeable (0.84%) entre notre formule et celle trouvée en 2017 pour le bassin versant de Kissir.

Ces résultats confirment et argumente l'utilité des formules expérimentales pour la détermination de ruissellement, particulièrement pour les bassins versants moins influencés par les activités anthropiques.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le bassin versant d'oued El-Agrem est situé dans la partie Sud-Est de la wilaya de Jijel, il comprend exactement les communes Texenna, El-Emir Abdelkadr et Kaous il occupe une superficie de 39.45 km², caractérisé par un climat typiquement méditerranéen, avec des hivers doux et pluvieux et des étés chauds et ensoleillés, d'un point de vue morphologique, les résultats montrent clairement que le bassin a une forme allongé avec un relief assez fort entrecoupé d'un réseau hydrographique dense dans le côté Ouest et moins dense à l'Est avec une densité de drainage très forte.

Géologiquement, le bassin versant est délimité par une chaîne de montagne dominée par des formations géologiques du socle du petit kabyle ce dernier surmonte ou chevauche les formations sédimentaires marneuses dominantes vers l'aval (70%).

La zone d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 1090.7 mm, et une température moyenne annuelle de l'ordre de 18,6 °C, et caractérisée par une période humide, s'étend du mois d'Octobre jusqu'à la fin du mois de mai caractérisée par une pluviométrie importante qui peut atteindre 167.8 mm au mois de novembre, et une période sèche qui s'étale de la fin du mois de mai jusqu'au début du mois de septembre, durant cette période les températures atteignent une valeur maximale de 26.9°C au mois d'Août.

L'analyse de l'évolution des apports d'eau du barrage en fonction des précipitations lors des épisodes pluvieux montre un temps de réponse très court (moins d'une journée).

L'estimation des apports d'eau d'oued est faite en utilisant la lame d'eau ruisselée, cette dernière est souvent estimée par des formules expérimentales qui ne prennent pas en compte l'écoulement de base et la nature du sol. Les résultats obtenus ont montré une erreur de 47.40 % entre notre formule expérimentale et la formule de Tixeront Berkalouff ce qui ouvre les parenthèses quant à la fiabilité de cette formule empirique.

Ces résultats confirment et argumentent l'utilité des formules expérimentales pour la détermination de ruissellement, particulièrement pour les bassins versants moins influencés par les activités anthropiques.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Documents

A.N.B & Tractable engineering division hydraulique. (2001) : Chapitre 4 – géologie Monographie de barrage d'oued El Agrem, 4-1/8p.

A.N.B et Tractable engineering division hydraulique, (2001) : Chapitre 4 – géologie. Monographie de barrage d'oued El Agrem, 4-4/8p.

Ahmed AMY., ingénieur-Agronome 2008 : diagnostic de la dégradation du bassin versant de la rivière marmelade en vue de son aménagement.

Benamour, Z. fasi, S (2017) Etude et modélisation du fonctionnement hydrologique du bassin versant d'oued kissir (Jijel, NE Algérien). Mémoire de master, Univ. Jijel, 44p.

Benhamada, H. Bourzama, T. Tekkouk, S, (2013) Etude géologique, géophysique et géotechnique du site du P.O.S d'El-Ghriana, commune de Texenna, wilaya de Jijel Algérie. Mémoire de Magistère, Univ. Jijel, 8p.

Benhamada, H. Bourzama, T. Tekkouk, S. (2013) Etude géologique, géophysique et géotechnique du site du P.O.S d'El-Ghriana, commune de Texenna, wilaya de Jijel Algérie. Mémoire de Magistère, Univ. Jijel, 9p.

Benhamada, H. Bourzama, T. Tekkouk, S. (2013) Etude géologique, géophysique et géotechnique du site du P.O.S d'El-Ghriana, commune de Texenna, wilaya de Jijel Algérie. Mémoire de Magistère, Univ. Jijel, 2p.

Benhamada, H. Bourzama. T, Tekkouk, S. (2013) Etude géologique, géophysique et géotechnique du site du P.O. S d'El-Ghriana, commune de Texenna, wilaya de Jijel Algérie. Mémoire de Magistère, Univ. Jijel, 16p.

Bentekhici, N. (2006) utilisation d'un sig pour l'évaluation des caractéristiques physique d'un bassin versant et leur influence sur l'écoulement des eaux (bassin versant d'oued El Maleh, Nord-Ouest d'Algerie).

Bouakkaz, R. Zentout, W. (2020) Impact des activités agricoles sur l'environnement ; cas de la plaine alluviale d'oued Nil (Jijel N_E Algérien). Mémoire de Master, Univ. Jijel, 23p.

Bouakkaz, R. Zentout, W. (2020) Impact des activités agricoles sur l'environnement ; cas de la plaine alluviale d'oued Nil (Jijel N_E Algérien). Mémoire de Master, Univ. Jijel, 24p.

Bouakkaz, R. Zentout, W. (2020) Impact des activités agricoles sur l'environnement ; cas de la plaine alluviale d'oued Nil (Jijel N_E Algérien). Mémoire de Master, Univ. Jijel, 22,23p.

Bouakkaz, R. Zentout, W. (2020) Impact des activités agricoles sur l'environnement ; cas de la plaine alluviale d'oued Nil (Jijel N_E Algérien). Mémoire de Master, Univ. Jijel, 15p.

Bouakkaz, R. Zentout, W. (2020) Impact des activités agricoles sur l'environnement ; cas de la plaine alluviale d'oued Nil (Jijel N_E Algérien). Mémoire de Master, Univ. Jijel, 15p.

Chader, B. (2016) Contribution a la modélisation des débits d'un barrage cas des barrages Zerdezas (Skikda), Cheffia (El Taref). Mémoire de Master, Univ, 6p.

Cours hydrologie

D.F. Acton (président), N.F. Alley, R. Baril, A.T. Boydell, J.H. Day, R.J. Fulton, P.K. Heringa, T.M. Lord, J.I. MacDougall, J.L. Nowland, W.W. Pettapiece, E.W. Presant, B. Rochefort, J.A. Shields, R.E. Smith, et M.D. Sudom., (2017) chapitre 18 Classification des formes de terrain.

El Atyqy.M, 2018 : Diagramme de corrélation

Fennour, M. Mahmoud, K. (2020) Etude des processus hydrologiques et hydrochimique des eaux de surface du bassin versant d'Oued Nil (Jijel NE Algérien). Mémoire de Master, Univ. Jijel, 12p.

Fennour, M. Mahmoud, K. (2020) Etude des processus hydrologiques et hydrochimique des eaux de surface du bassin versant d'Oued Nil (Jijel NE Algérien). Mémoire de Master, Univ. Jijel, 8p.

Fennour, M. Mahmoud, K. (2020) Etude des processus hydrologiques et hydrochimique des eaux de surface du bassin versant d'Oued Nil (Jijel NE Algérien). Mémoire de Master, Univ. Jijel, 18p.

Fennour, M. Mahmoud, K. (2020) Etude des processus hydrologiques et hydrochimique des eaux de surface du bassin versant d'Oued Nil (Jijel NE Algérien). Mémoire de Master, Univ. Jijel, 9p.

Fennour, M. Mahmoud, K. (2020) Etude des processus hydrologiques et hydrochimique des eaux de surface du bassin versant d'Oued Nil (Jijel NE Algérien). Mémoire de Master, Univ. Jijel, 4p.

Fennour, M. Mahmoud, K. (2020) Etude des processus hydrologiques et hydrochimique des eaux de surface du bassin versant d'Oued Nil (Jijel NE Algérien). Mémoire de Master, Univ. Jijel, 18p.

Fennour, M. Mahmoud, K. (2020) Etude des processus hydrologiques et hydrochimique des eaux de surface du bassin versant d'Oued Nil (Jijel NE Algérien). Mémoire de Master, Univ. Jijel, 19p.

Fennour, M. Mahmoud, K. (2020) Etude des processus hydrologiques et hydrochimique des eaux de surface du bassin versant d'Oued Nil (Jijel NE Algérien). Mémoire de Master, Univ. Jijel, 21p.

Gaagai, A. (2009) Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de Babar sur oued El Arab région Est de l'Algerie. Mémoire de Magistère, Univ. Batna, 15p.

Gaagia, A. (2009) Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de Babar sur oued El Arab région Est de l'Algerie. Mémoire de Magistère, Univ. Batna, 22p.

Guebouze, Y. Ben messaoud, M. (2020) Apport du sig et de l'mnt-aster a l'étude morphométrique d'un bassin versant en zone aride : cas de l'oued Zegrir (Guerrara). Mémoire de Master, Univ. Ghardaïa , 50p.

Horton, Robert, E. (juin 1932) « Caractéristiques du bassin de drainage ». Transactions - American Geophysical Union.

Michel Delon, (éd) (1977) : « Montagne » dictionnaire européen des lumières. Paris, 722 p.

Mohamed, M. M. A, (2017) Etude géologique et géotechnique du glissement de terrain de Texanna, Wilaya de Jijel. Mémoire de master, Univ.Oum El Bouaghi 28-29-30 p.

Ouldfah M. M. (2016) Etude hydrologique du bassin versant de la Soummam. Mémoire de Master, Univ. M'sila, 10p.

Ouldfah, M. (2016) Etude hydrologique du bassin versant de la Soummam. Mémoire de Master, Univ. M'sila, 11p.

Ouldfah, M. (2016) Etude hydrologique du bassin versant de la Soummam. Mémoire de Master, Univ. M'sila, 12p.

Ouldfah, M. M (2016) Etude hydrologique du bassin versant de la Soummam. Mémoire de Master, Univ. M'sila, 9p.

Ouldfah, M. M (2016) Etude hydrologique du bassin versant de la Soummam. Mémoire de Master, Univ. M'sila, 10 p.

Roger COQUE. Les réseaux hydrographiques et le problème des traces.

Roulin, J.L septembre (2018) SCALP-Cours Erreur systématique-Erreur aléatoire.

SPW-SG-Département de la géomantique. (2020) Projet Walonie occupation et utilisation du sol.

Sites

<https://storymaps.arcgis.comhttps://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.4/tools/3d-analyst-toolbox/understanding-slope.htm>

<https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html#bassin%20versant>

<https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html#bassin%20versant>

<https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html#bassin%20versant.com>

https://elearn.univtlemcen.dz/pluginfile.php/113746/mod_resource/content/1/LA%20REPONSE%20HYDROLOGIQUE.pdf

<https://fr-academic.com>

<https://scientecal.com/cours/diagramme-decorr%C3%A9lation>

<https://sis.agr.gc.ca/siscan/taxa/cssc3/chpt18.html>

https://stringfixer.com/fr/Drainage_density

<https://www.aquaortail.com/definition-2610-hydrogramme.html>

<https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie.html>

<https://www.esrifrance.fr/sig2006/bentekkhici.html>

https://www.memoireonline.com/09/09/2721/m_Diagnostic-de-la-Degradation-du-Bassin-Versant-de-la-Riviere-Marmelade

<https://www.psychometrie.jlroutin.fr>

<https://www.universalis.fr/encyclopedie/hydrographie.com>

Annexe

Tab : Précipitation annuelle de la station de barrage d'oued Agrem

les année	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mars	Avr	May	juin	juil	aout	Précipitation annuel
2004- 2005	78.3	25.6	199.7	201.9	272.8	218.6	88.8	193.0	13.3	0.0	0.6	8.5	1301.1
2005- 2006	80.1	40.4	164.2	208.0	188.0	189.0	70.3	45.7	41.8	2.6	0.0	18.9	1049.0
2006- 2007	54.3	51.7	36.0	243.5	11.7	83.9	271.1	74.7	4.0	27.1	4.4	4.0	866.4
2007- 2008	83.4	129.6	211.7	307.4	19.8	27.7	199.2	36.0	128.2	4.8	0.0	0.0	1147.8
2008- 2009	136.2	30.4	161.5	136.6	331.4	109.6	87.7	162.1	26.5	0.0	0.5	7.7	1190.2
2009- 2010	136.0	88.4	162.6	180.9	165.4	81.0	112.2	58.1	65.9	46.9	1.8	1.1	1100.3
2010- 2011	58.4	271.7	190.3	110.3	102.3	216.1	78.4	90.9	40.1	31.1	0.5	0.0	1190.1
2011- 2012	10.7	193.9	109.1	178.5	80.1	352.3	78.6	178.4	0.0	0.0	2.5	48.5	1232.6
2012- 2013	95.7	251.2	124.4	86.0	242.2	270.5	97.8	49.8	89.3	0.0	0.0	31.8	1338.7
2013- 2014	85.3	60.4	336.6	122.0	91.9	59.3	228.2	15.5	12.2	17.1	1.2	2.4	1032.1
2014- 2015	9.2	61.4	127.5	366.1	198.8	283.3	179.4	1.5	29.3	1.5	0.0	7.0	1265.0
2015- 2016	77.7	184.7	157.7	0	90.3	88	221.7	70.8	40.5	10.5	0	0	941.9
2016- 2017	34	24.3	128.3	60.6	311.6	61.37	0	41	0	62	8	0	731.2
2017- 2018	37.8	38.8	284.7	295	59	185	160	70	111	0	0	55	1296.3
2018- 2019	24	274.7	98.7	25.3	240	73.8	111.5	0	95	1	0	27.5	971.5
2019- 2020	98.7	158.7	192.5	85.4	31	0	133.4	82.5	0	7	0	8.3	797.5

Tab : Température mensuelle de station d'oued El'agrem

Les année	Septe	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Température annuel
2004- 2005	23.2	21.4	13.4	12.2	8.5	8.0	12.1	15.3	19.4	23.3	25.4	24.9	17.3
2005- 2006	23.6	21.2	16.5	11.9	10.2	11.5	14.6	18.9	21.3	24.7	27.3	25.6	18.9
2006- 2007	24.0	22.6	18.2	13.5	13.2	13.6	13.1	16.5	20.4	23.2	26.5	28.1	19.4
2007- 2008	24.0	20.0	15.2	12.5	12.7	13.4	13.4	17.0	19.3	22.6	26.9	26.7	18.6
2008- 2009	24.6	20.4	14.7	12.0	11.4	10.9	12.9	14.5	20.6	24.3	28.6	27.3	18.5
2009- 2010	23.3	19.8	17.1	15.1	12.6	13.7	14.6	15.9	17.7	21.6	26.2	26.4	18.7
2010- 2011	23.4	20.3	15.6	13.7	12.5	11.5	14.2	17.6	19.3	22.3	26.5	27.8	18.7
2011- 2012	24.1	19.5	16.1	12.4	10.9	7.6	13.0	15.4	19.1	25.4	26.6	29.3	16.8
2012- 2013	23.6	21.0	16.9	13.0	12.1	10.5	14.9	16.2	17.4	20.8	25.4	25.6	18.1
2013- 2014	23.7	23.4	14.7	12.3	13.3	13.6	12.7	17.2	18.6	23.2	25.5	26.7	18.7
2014- 2015	26.0	22.3	17.6	13.2	12.4	10.5	13.9	16.9	19.5	22.3	27.5	26.7	19.1
2015- 2016	24.2	21.6	16.3	12.9	13.4	13.6	13.7	17.3	19.3	23.3	26.1	25.6	18.9
2016- 2017	23.85	23	16.95	13.95	10.25	13.5	15.25	16.6	20.65	25	27.45	28.2	19.55
2017- 2018	23.6	20.4	15.45	11.75	13	10.8	14.55	16.9	18.5	22.6	27.2	25.65	18.36
2018- 2019	25.05	20.4	16.1	13.25	11.05	11.9	14.35	15.7	17.95	24.5	27.7	28.05	18.83
2019- 2020	24.8	21.65	15.55	14.8	12.15	13.9	14.65	17.35	20.4	13.1	26.6	27.4	18.52
	24.1	21.2	16.0	13.0	11.9	11.8	13.9	16.6	19.3	22.6	26.7	26.9	18.6