



Année Universitaire : 2021-2022



Licence Sciences et Techniques : Géoresources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Contribution à l'étude hydrologique du bassin versant
d'Ain Smen, Fès**

Présenté par:

Salma LAKRAA

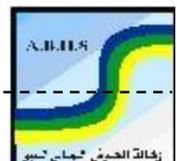
Encadré par:

Pr. BENAABIDATE Lahcen, FST-Fès
Ing. FDIL Ibtissam, ABHS- Fès

Soutenu Le 05 juillet 2022, devant le jury composé de :

Pr. RAIS Naoual, FST-FES
Pr. BENJELLOUN Faiza, FST-FES
Pr. BENAABIDATE Lahcen, FST-FES
Pr. EL GAROUANI Abdelkader, FST-FES
Pr. BENABDELHADI Mohamed, FST-FES

Stage effectué à : ABHS, Fès



Remerciement

J'ai l'honneur de présenter ce travail qui est le résultat d'une coopération entre la Faculté des Sciences et Techniques de Fès et l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou.

Dans un premier temps, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont participé à son élaboration.

A cet effet, le minimum de justice impose que l'apport de chacun soit reconnu ne serait-ce que par de remerciements.

Je tiens à remercier sincèrement Mr Lahcen Benaabidate, mon professeur encadreur à la FST, qui s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce travail, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

En outre, je tiens à exprimer ma gratitude à Mme Fdil Ibtissam pour m'avoir rattachée toute sa confiance, son suivi continu et ses conseils précieux et son assistance par tous les moyens qu'elle a mis à ma disposition durant mon stage.

Mes sincères remerciements à mes professeurs : Mr Mohamed Benabdelhadi, Mme Faiza Benjelloun, Mr Abdelkader El Garouani et Mme Naoual Rais qui ont accepté de lire et juger mon projet de fin d'étude de la licence. .

Finalement, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidée et qui ne sont pas cités.

Sommaire

Liste des figures	5
Liste des tableaux	6
Introduction générale	7
Présentation de l'agence du bassin hydraulique de Sebou	8

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

Présentation de la zone d'étude	10
Situation géographique	10
Climat	11
Précipitation	11
Température	14
Diagramme Ombrothermique	15
Humidité relative à l'air	16
Climagramme d'Emberger	17
Evaporation	18
Evapotranspiration	20
Evapotranspiration potentielle	20
Evapotranspiration réelle	21
Insolation	23
Régime du vent	24
Géologie	25
Réseaux hydrographique et hydrologie	26
Conclusion	26

Chapitre 2 : Etude morphologique du bassin versant d'Ain Smen

Introduction	26
Délimitation de bassin étudié	26
Périmètre et superficie	29
Indice de Gravelius (K_G)	30
Rectangle équivalent	30
Carte hypsométrique	31
Courbe hypsométrique	32
Les altitudes caractéristiques	33
Les pentes	34
La pente moyenne	35
Indice de pente global	36
Densité de drainage	36
Conclusion	37

Chapitre 3 : Etude hydrologique du bassin versant d'Ain Smen

Introduction	38
Temps de concentration	38
Calcul des débits	40
Conclusion	41
Références	41

Liste des figures

- Figure 1 : Organigramme de l'ABHS
- Figure 2 : Carte de limite et réseaux hydrographiques du bassin hydraulique de Sebou
- Figure 3 : Situation géographique du site étudié
- Figure 4: Histogramme de la pluie annuelle (station de Fès)
- Figure 5 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (mm) à Fès
- Figure 6: Variation des températures maximales et minimales (station Fès Saïss)
- Figure 7 : Diagramme Ombrothermique
- Figure 8: Histogrammes de l'humidité relative mensuelle de l'air en %
- Figure 9 : Climagramme d'Emberger et la zone d'étude
- Figure 10 : Histogramme de l'Evaporation mensuelle au Bac en mm (station Fès Saïss)
- Figure 11: Diagramme d'ETP en comparaisant avec les températures et précipitations
- Figure 12: diagramme de bilan hydrique
- Figure 13 : Histogramme de l'insolation moyenne mensuelle en heure (station de Fès)
- Figure 14: carte géologique du bassin Ain Smen
- Figure 15 : Sous bassins versants des oueds traversant le périmètre urbain de la ville de Fès
- Figure 16 : La délimitation du bassin versant Ain Smen
- Figure 17: carte hypsométrique du bassin Ain Smen
- Figure 18: Détermination d'âge d'un bassin versant à partir de la courbe hypsométrique
- Figure 19: courbe hypsométrique
- Figure 20: Carte des pentes du bassin versant en %
- Figure 21 : graphe de répartition des pentes dans le bassin Ain Smen

Liste des tableaux

- Tableau 1 : Pluviométrie moyenne annuelle
- Tableau 2 : Moyennes mensuelles des précipitations (mm) à Fès
- Tableau 3: Variation des températures maximales et minimales (station Fès Saïss)
- Tableau 4 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air en %
- Tableau 5: Evaporation mensuelle au Bac en mm (station météorologique Fès Saïss)
- Tableau 6 : Insolation moyenne mensuelle en heure (station de Fès)
- Tableau 7 : Bassin versant et débits centennaux
- Tableau 8 : Périmètre et surface du bassin versant
- Tableau 9 : Longueur et largeur du bassin versant
- Tableau 10 : La répartition de la surface en fonction d'altitudes
- Tableau 11: Longueur et largeur du bassin versant (km)
- Tableau 12: La répartition de la surface en fonction d'altitudes
- Tableau 13: Les paramètres utilisés pour le traçage de la courbe hypsométrique
- Tableau 14: Classification des pentes en fonction de leur pourcentage
- Tableau 15: Classification du relief selon l'Ig donné par l'ORSTOM
- Tableau 16: Les caractéristiques physiographiques du bassin versant
- Tab17 : Temps de concentration calculé par formule de Kent's
- Tab 18: Temps de concentration calculé par la méthode de Turazza
- Tab 19: Temps de concentration calculé par la méthode de Kirpich
- Tab 20: Temps de concentration calculé par la méthode d'Espagnole
- Tab 21: Temps de concentration calculé par la méthode de Van Te Chow
- Tab 22: Temps de concentration calculé par la méthode Californienne
- Tab 23 : Temps de concentration calculé par les différentes méthodes

Introduction Générale

L'inondation représente un désastre naturel le plus connu au monde, elle est une submersion temporaire, par l'eau, de terres qui ne sont pas submergées en temps normal, quelle qu'en soit l'origine.

Les inondations ne tuent pas plus que d'autres catastrophes naturelles souvent bien plus meurtrières, mais leurs victimes au sens large sont nombreuses : des personnes sont blessées, d'autres sont évacuées ou déplacées...

Les crues soudaines sont capables de transformer les lits secs des Oueds en torrents violents et destructeurs, causant des dégâts matériels et économiques importants.

La majorité des crues sont engendrés par des débits maximums.

Ce projet de fin d'étude a pour objectif la détermination des débits maximums dans le bassin versant de l'Oued Aïn Smen. La réalisation de cette étude se déroule selon le plan suivant :

- Le premier chapitre va concerner les données générales de la zone et sa climatologie.
- Le deuxième chapitre va parler des paramètres physiographiques qui caractérisent la zone.
- Le troisième chapitre est consacré à l'étude hydrologique.

Présentation de l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou

L'agence du bassin hydraulique de Sebou est un établissement public, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière.

Cette agence gère les ressources en eau d'un bassin hydraulique en associant l'ensemble des acteurs de l'eau en veillant à la protection du domaine public hydraulique.

L'objectif final est le développement durable. L'agence est administrée par un conseil présidé par l'autorité gouvernementale chargée des ressources en eau.

Identité et missions :

L'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou a pour principales missions :

- L'évaluation, la planification et l'aménagement des ressources en eau ;
- Le suivi qualitatif et quantitatif des ressources en eau ;
- Le recouvrement des redevances financières ;
- La gestion et la sauvegarde du Domaine Public Hydraulique ;
- L'entretien, la maintenance et l'exploitation des ouvrages hydrauliques ;
- L'assistance technique et la réalisation de prestations aux usagers ;
- Le développement du partenariat.

L'Agence est administrée par un Conseil d'Administration présidé par l'autorité gouvernementale chargée des ressources en eau et dans lequel sont représentés tous les acteurs intervenant dans le domaine de l'eau au niveau du bassin hydraulique.

Cette agence veille à assurer un service de l'eau dans les conditions de qualité et de proximité requises par l'utilisateur notamment à travers :

- La recherche et le dégagement de nouvelles ressources ;
- La garantie de l'allocation des ressources en eau ;
- La prévention contre la pénurie et l'atténuation des effets de la sécheresse
- Le contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques et leur maintenance ;
- L'assistance technique et l'aide financière aux usagers ;
- La participation à la protection de la population et des biens contre les inondations
- L'information continue des usagers et des acteurs de l'eau.

Organisation :

L'organigramme de l'Agence du Bassin hydraulique du Sebou se compose de:

- Secrétariat Général ;

- Quatre divisions ;
- Un service de protection de la qualité de l'eau.

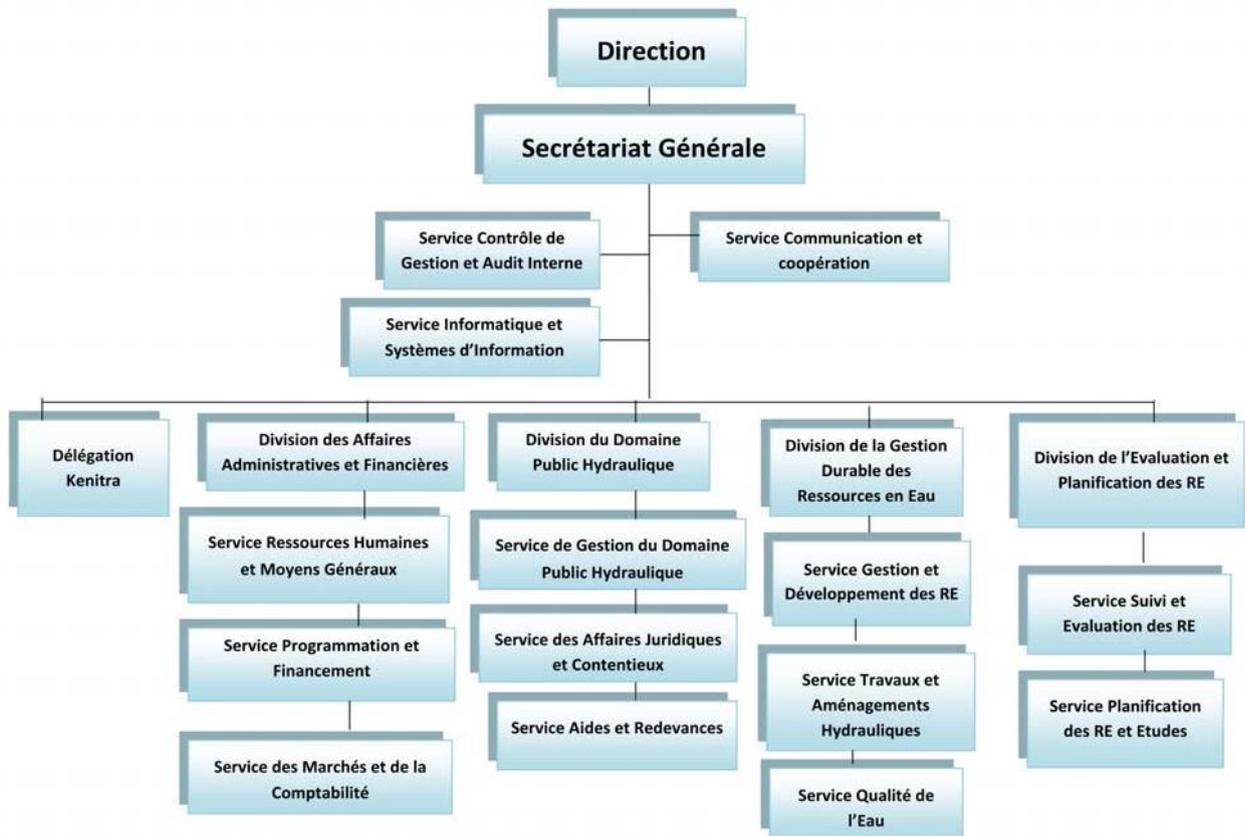


Figure 1 : Organigramme de l'ABHS

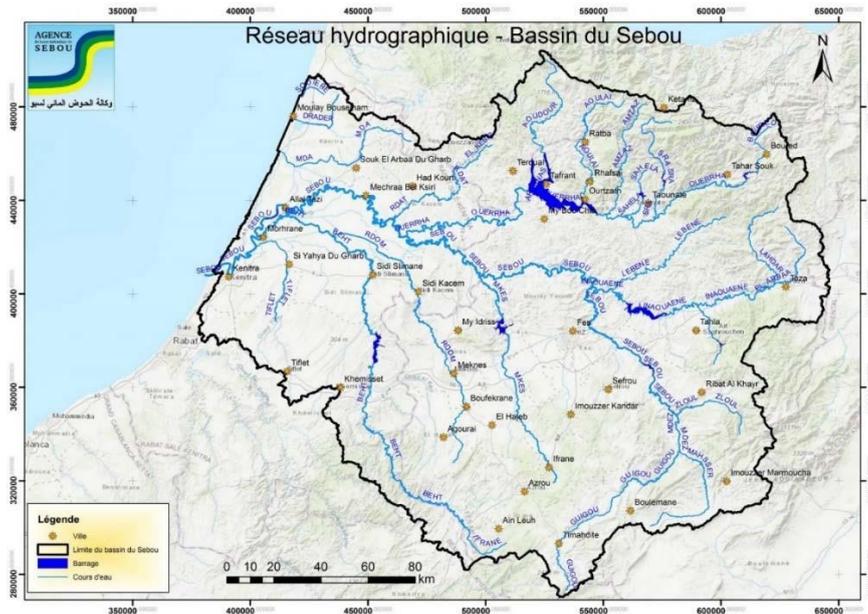


Figure2 : Carte de limite et réseaux hydrographiques du bassin hydraulique de Sebou

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

Présentation de la zone d'étude :

A l'instar des autres régions du Royaume, la région de Fès – Meknès et particulièrement la ville de Fès a connu dans le passé de nombreuses inondations qui ont causé d'énormes dégâts économiques (1950, 1989, 2008, 2009 et 2010). Le Plan National de Lutte Contre les Inondations a classé la ville de Fès comme une zone à haut risque d'inondation du fait de l'importance des cours d'eau traversant le périmètre urbain et du nombre important des crues récurrentes enregistrées.

Situation géographique :

La Préfecture de Fès s'étend sur une superficie de 332,1 km². Elle se situe dans la plaine du Saïs, à mi-chemin entre le Nord et le Sud du Royaume du Maroc. Elle est délimitée :

- Au Nord, Nord-ouest et Nord-est par la province de Moulay Yacoub,
- Au Sud-ouest par la province de Sefrou.

Elle est située à une altitude de 387 NGM environ, au point de convergence de quatre grandes régions naturelles : le Moyen Atlas au Sud, les plaines atlantiques à l'Ouest, le Rif au Nord et les hauts plateaux orientaux à l'Est. Son site est implanté au pied de la montagne Tghat (837 NGM) et de celle de Zalagh (900 NGM), là où le cours de l'Oued Fès, après avoir traversé la plaine marécageuse du Saïs, s'accélère pour rejoindre l'Oued Sebou après avoir traversé la Médina de Fès.

En général, le relief de la ville de Fès se compose de la haute plaine du Saïs et de la vallée basse de Sebou, et entre les deux, un vallon étroit assurant le passage avec plus de 200 m de dénivelé. L'implantation de la ville dans une dépression au pied de deux montagnes et sa situation en pente, permettent l'écoulement des eaux de l'Oued Fès à partir du côté ouest de la ville.

Tableau 1 : Coordonnées de la zone d'étude

X	Y	Longitude	Latitude
536,460	381,970	-5	34,3

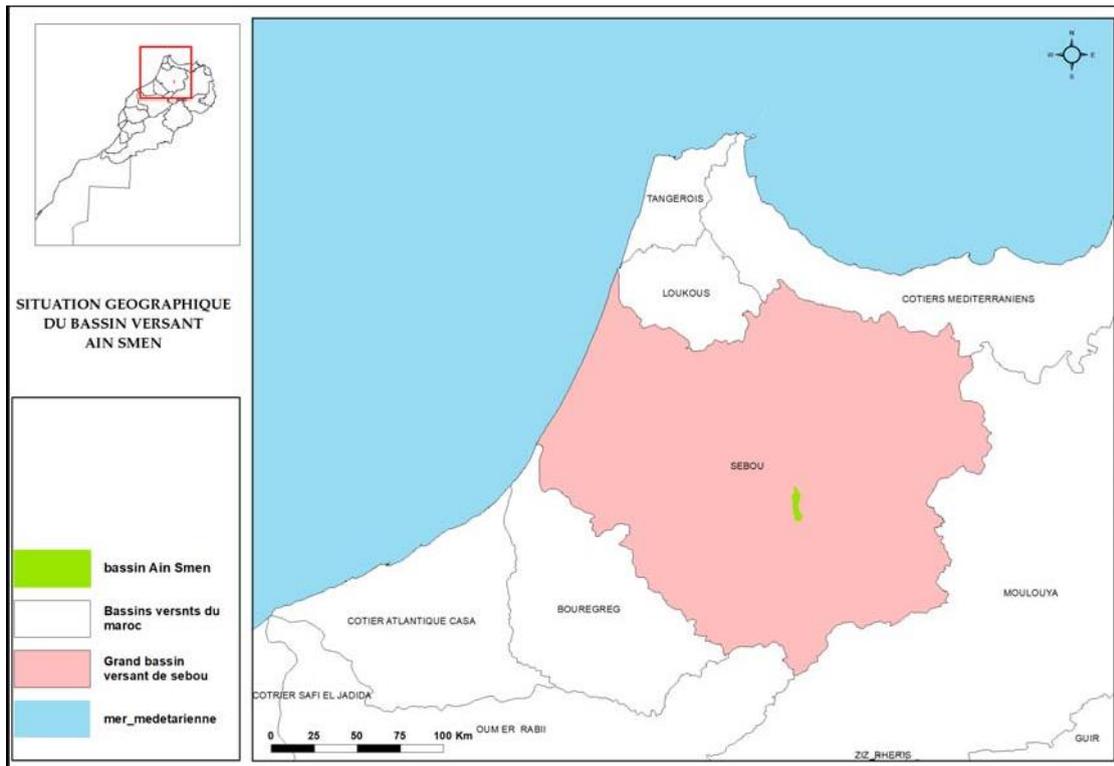


Figure3 : Situation géographique du site étudié

Climat :

Le climat de la ville de Fès est caractérisé par un climat subhumide, méso thermique, à surplus d'humidité, modéré en hiver, à déficit d'humidité important en été et à influence océanique assez marquée. Le relief de la région Fès-Meknès est constitué essentiellement des collines au pied du Rif dans la zone du Nord, des montagnes du Moyen Atlas et des plaines de Saïss.

Précipitation:

La pluviométrie annuelle dans le cercle d'étude est d'environ 412 mm sur la période de 1978 à 2018 (Source ABHSebou). Le régime annuel de pluie est caractérisé par l'existence de deux saisons bien tranchées, une saison sèche de Juin à Septembre, et une saison humide d'Octobre à Mai.

Tableau n° 2 : Pluviométrie moyenne annuelle

ANNEE	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	
Pluie annuelle en mm	472	504	314	479	383	380	324	476	372	436	440	480	445	350	191	331	186	564	578	458	
Pluviométrie moyenne 412 mm																					
ANNEE	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Pluie annuelle en mm	205	208	364	276	536	457	270	472	293	270	789	843	535	358	694	368	399	232	302	432	439
Pluviométrie moyenne 412 mm																					

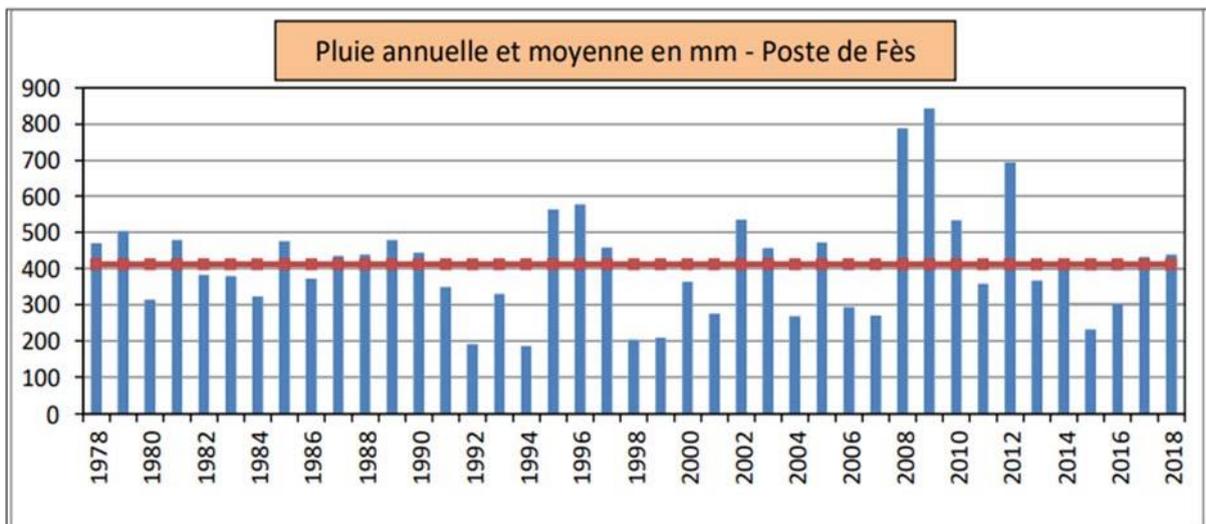


Figure 4: Histogramme de la pluie annuelle (station de Fès)

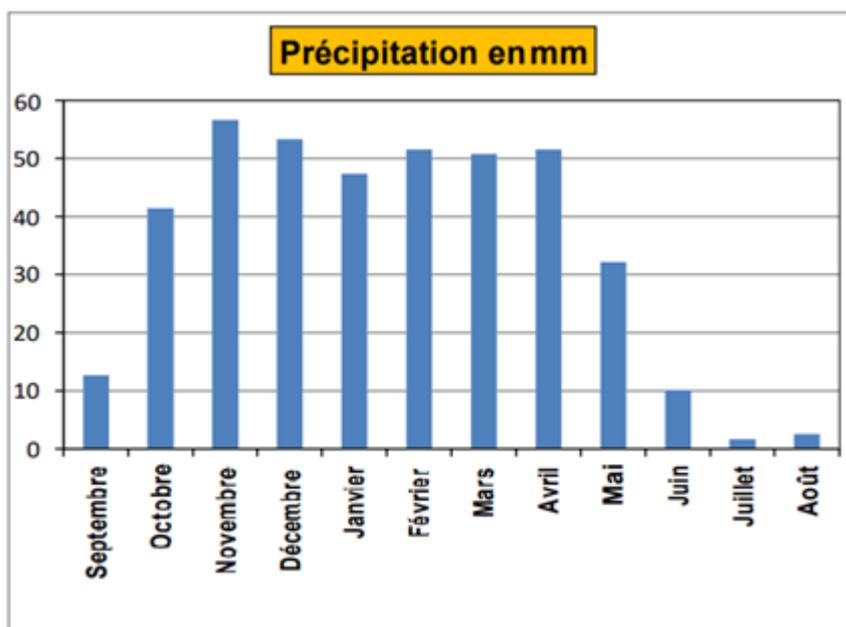
Il s'avère clairement que les précipitations sont variables d'une année à l'autre avec un pic observé en 2009 comme le montre la figure 1

De point de vue pluviométrie mensuelle, le graphique suivant illustre la répartition des précipitations par mois au niveau de la station de Fès sur une période de plus de 40 ans.

Tableau 3 : Moyennes mensuelles des précipitations (mm) à Fès

<i>Mois</i>	<i>Précipitation en mm</i>
<i>Septembre</i>	13
<i>Octobre</i>	41
<i>Novembre</i>	57
<i>Décembre</i>	53
<i>Janvier</i>	47
<i>Février</i>	52
<i>Mars</i>	51
<i>Avril</i>	52
<i>Mai</i>	32
<i>Juin</i>	10
<i>Juillet</i>	2
<i>Août</i>	3
<i>Total</i>	412

Figure 5 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (mm) à Fès



Le graphe (Figure 5) montre que les précipitations dans la zone de Fès-Saïs sont généralement importantes pendant la période allant du Novembre à Avril. C'est durant cette période que la zone reçoit la presque totalité des précipitations. Ainsi, on peut constater que la période pluvieuse s'étend du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril, alors que l'été est pratiquement sec. Ceci explique le régime annuel des pluies caractérisé par l'existence de deux saisons bien distinctes : une saison sèche, allant de Juin à Septembre et une saison humide qui s'étale d'Octobre à Mai.

Pour le volume d'eau tombé sur le bassin, on l'a pu calculer en utilisant la méthode suivante:

$$v = P_{\text{moy}} * S$$

Avec :

V : volume d'eau (m³)

P_{moy} : précipitation moyenne sur le bassin (m)

ST : surface totale du bassin (m²),(par arc gis)

$$v = 24,495.10^6$$

Température

L'hiver se distingue par un froid rigide. La moyenne des températures pour le mois le plus froid indique 3,7°C, l'été est chaud et sec, puisque la moyenne de température pour les mois le plus chauds, Juillet et Août, peut dépasser les 40°C.

Les mois de Juillet et Août ont les températures les plus élevées. L'amplitude thermique quotidienne moyenne est de l'ordre de 12°C pour les mois d'Octobre à Mai. Elle atteint 17°C durant les mois d'été.

Les données mensuelles de température en degré Celsius, à la station Fès-Saïss sont comme suit :

Tableau 4: Les températures maximales et minimales (station Fès Saïss)

<i>Mois</i>	<i>T max</i>	<i>T min</i>	<i>T moy</i>
<i>Septembre</i>	30.1	15.0	22.5
<i>Octobre</i>	24.7	11.5	18.1
<i>Novembre</i>	19.4	7.7	13.5
<i>Décembre</i>	16.0	4.9	10.4
<i>Janvier</i>	15.3	3.7	9.5
<i>Février</i>	16.8	4.7	10.8
<i>Mars</i>	18.9	6.1	12.5
<i>Avril</i>	20.3	7.6	13.9
<i>Mai</i>	24.4	10.5	17.4
<i>Juin</i>	29.1	13.8	21.4
<i>Juillet</i>	34.0	17.0	25.5
<i>Août</i>	33.8	17.2	25.5

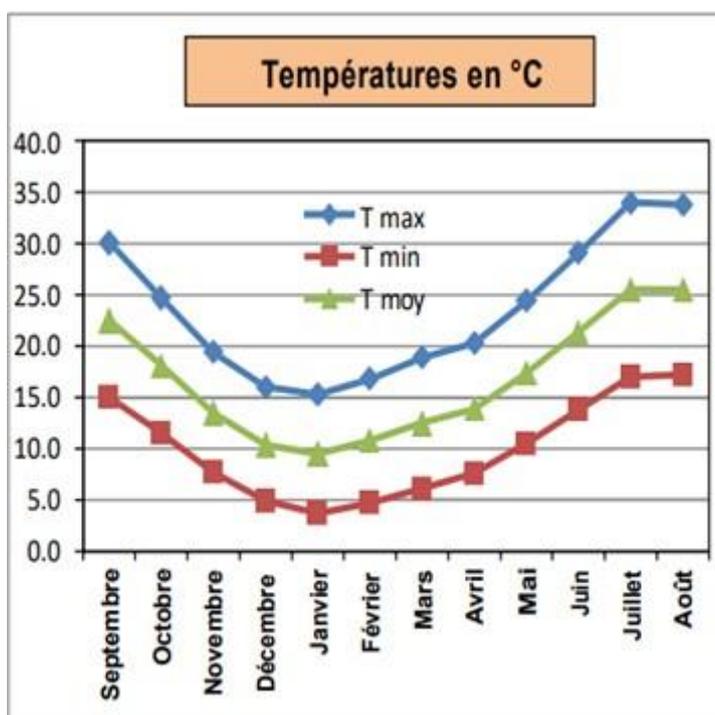


Figure 6: Variation des températures maximales et minimales (station Fès Saïss)

Avec :

T max: Moyenne mensuelle des températures maximales journalières

T min : Moyenne mensuelle des températures minimales journalières

T moy: Moyenne mensuelle des températures moyennes journalières

Diagramme Ombrothermique :

C'est un type particulier de diagramme climatique représentant les variations mensuelles sur une année des températures et des précipitations selon des gradations standardisées : une gradation de l'échelle des précipitations correspond à deux gradations de l'échelle des températures ($P = 2T$).

Il a été développé par Gaussen et Bagnouls (1952), botanistes célèbres, pour mettre en évidence les périodes de sécheresses. Il permet de comparer facilement les climats de différents endroits d'un coup d'œil du point de vue pluviosité.

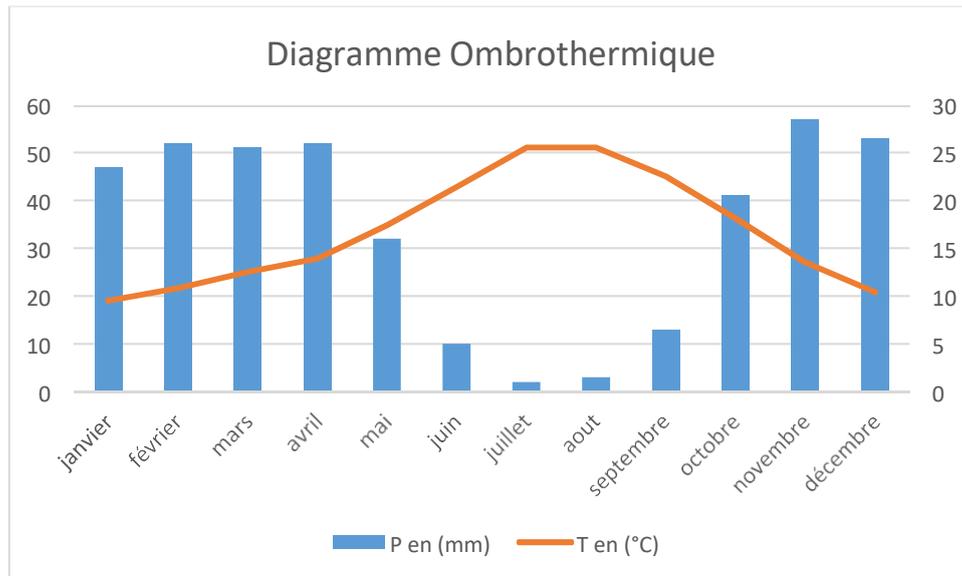


Figure 7 : Diagramme Ombrothermique

D'après le diagramme ci-dessus (Figure 7), on constate qu'à partir du mois de janvier la saison est humide jusqu'à la fin du mois d'avril, puis la température commence à augmenter avec une diminution de précipitations ce qui favorise le passage à a saison sèche au mois de juillet et août), puis la température diminue et les précipitations augmentent vers le mois d'Octobre ce qui favorise le passage à la saison humide une 2^{ème} fois.

Humidité relative à l'air :

Selon la station météorologique de Fès Saïss, les moyennes mensuelles de l'humidité relatives à l'air sont élevées, dont le maximum d'humidité est enregistré au mois de Décembre.

Tableau 5 : Valeurs de l'humidité relative de l'air en % (station Fès Saïs)

<i>Mois</i>	<i>Humidité relative en %</i>
<i>Septembre</i>	55
<i>Octobre</i>	58
<i>Novembre</i>	59
<i>Décembre</i>	60
<i>Janvier</i>	57
<i>Février</i>	58
<i>Mars</i>	58
<i>Avril</i>	57
<i>Mai</i>	56
<i>Juin</i>	50
<i>Juillet</i>	49
<i>Août</i>	49

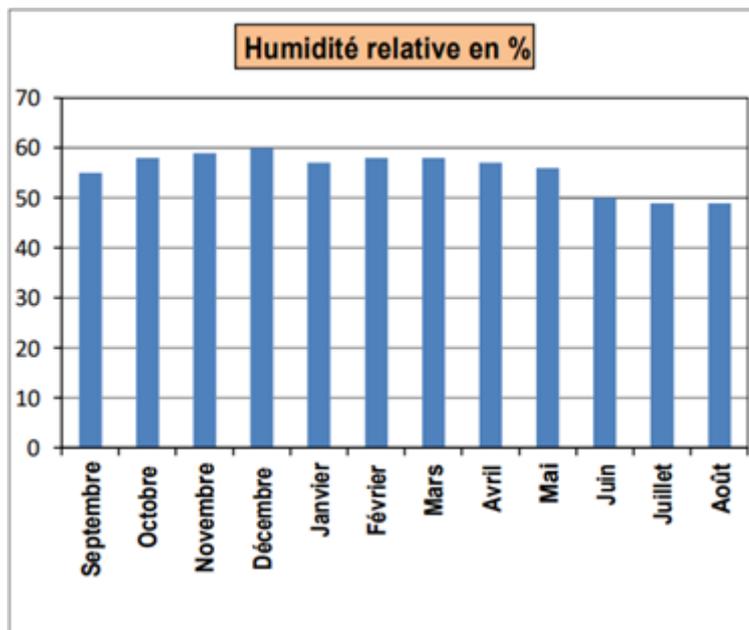


Figure 8: Histogrammes de l'humidité relative mensuelle de l'air en %

Les hygrométries moyennes mensuelles connaissent une fluctuation au cours de l'année. Leurs moyennes sont relativement élevées en hiver, ceci est dû au caractère continental de la région.

Climagramme d'Emberger :

Ce climagramme de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée. Emberger a précisé cinq étages bioclimatiques : humide, sub-humide, aride, semi-aride, et saharien

Le climagramme d'Emberger permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée à partir de la formule suivante :

$$Q^2 = \frac{2000 * P}{(M^2 - m^2)}$$

Avec :

Q2 : Coefficient d'Emberger

P : Pluviométrie moyenne annuelle (mm)

M : Moyenne des maxima thermiques du mois le plus chaud en degré Kelvin (°K)

m : Moyenne des minima thermiques du mois le plus froid en degré Kelvin (°K)

$$T^{\circ K} = T (^{\circ}C) + 273,15$$

Le climagramme d'Emberger représente la moyenne des minima du mois le plus froid (°C) en abscisse, et le quotient pluviométrique (Q²) en ordonnée. Ainsi, Il est subdivisé en zones correspondant à différents étages bioclimatiques comme le montre la figure suivante (Figure 9) :

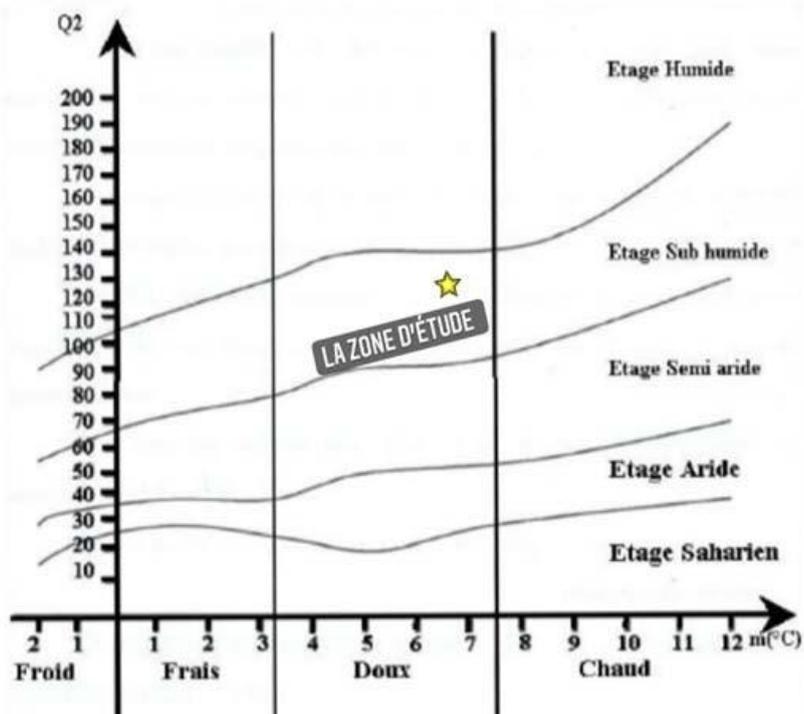


Figure 9 : Climagramme d'Emberger et la zone d'étude

Tableau 6: Les paramètres utilisés pour déterminer la classification du climat

P (mm)	M (°K)	m (°K)	Q2
412	298,65	282,65	88,59

D'après la valeur de Q^2 obtenue (88,59) et en comparaison avec la moyenne des minima en ($^{\circ}\text{C}$), on trouve que le bioclimat de notre bassin versant est de type sub-humide doux.

F. Evaporation

Au point de vue évaporation, les valeurs d'évaporation totale mensuelle mesurée, au niveau de la station sont présentées par la figure ci-dessous, avec une lame évaporée annuelle de 1.713 mm.

Tableau 7 : Valeurs de l'Evaporation mensuelle au Bac en mm (station Fès Saïss)

<i>Mois</i>	<i>Evaporation mensuelle en mm</i>
<i>Septembre</i>	195
<i>Octobre</i>	120
<i>Novembre</i>	80
<i>Décembre</i>	50
<i>Janvier</i>	60
<i>Février</i>	70
<i>Mars</i>	99
<i>Avril</i>	104
<i>Mai</i>	150
<i>Juin</i>	205
<i>Juillet</i>	300
<i>Août</i>	280
Total	1713

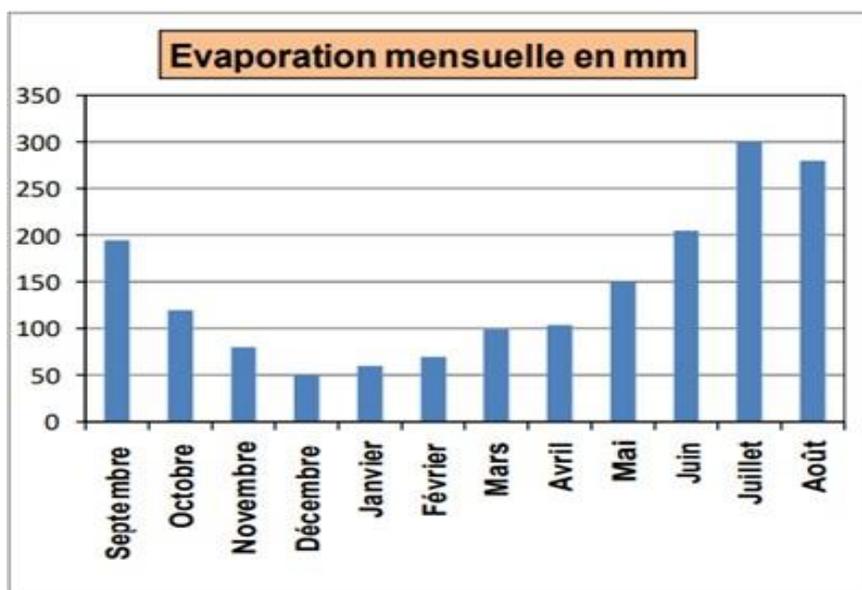


Figure 10 : Histogramme de l'Evaporation mensuelle au Bac en mm (station Fès Saïss)

D'après le graphique, l'évaporation maximale est observée en Juillet, par contre le minimum est enregistré en décembre - Janvier.

Evapotranspiration

L'émission de la vapeur d'eau, ou évapotranspiration (exprimée en mm), résulte de deux phénomènes : l'évaporation, qui est un phénomène purement physique, et la transpiration des plantes. La recharge des nappes phréatiques par les précipitations tombant en période d'activité du couvert végétal peut être limitée. En effet, la majorité de l'eau est évapotranspirée par la végétation. Ce paramètre englobe la perte en eau due au climat, les pertes provenant de l'évaporation du sol et de la transpiration des plantes.

Evapotranspiration Potentielle :

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est celle qui correspond à un sol humide et à des plantes qui ont assez d'eau à leur disposition. En pratique, on utilise une ETP climatique, qui correspond à celle d'un gazon humide. Cependant l'évaporation potentielle qui est introduite dans le bilan dépend du but poursuivi. Ainsi, en ce qui concerne cette étude du bassin de l'Oued Aïn Smen, nous avons utilisé la méthode de Thornthwaite (1948) qui se base sur la formule basée essentiellement sur les températures de l'air.

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

Avec : ETP : l'évapotranspiration potentielle (mm) ;

T : la température moyenne mensuelle du mois considéré en (°C) ;

I : indice thermique annuel

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \text{ mensuel ;}$$

$$\text{Et } a = \left(\frac{16}{100}\right)$$

Mois	sept	oct	nov	Déc	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juill	Aout
P(mm)	13	41	57	53	47	52	51	52	32	10	2	3
T _{moy}	22,5	18,1	13,5	10,4	9,5	10,8	12,5	13,9	17,4	21,4	25,5	25,5
I	9,75	7,01	4,5	3,03	2,64	3,21	4,00	4,7	6,61	9,04	11,78	11,78
I	78,05											
A	1,75											
ETP (mm)	102,04	69,73	41,74	26,44	22,57	28,25	36,48	43,93	65,08	93,47	127,03	127,03
K	1,03	0,97	0,87	0,86	0,88	0,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16
ETP _C (mm)	105,1	67,64	36,31	22,74	19,86	24,01	37,57	47,88	78,1	112,16	154,98	147,35

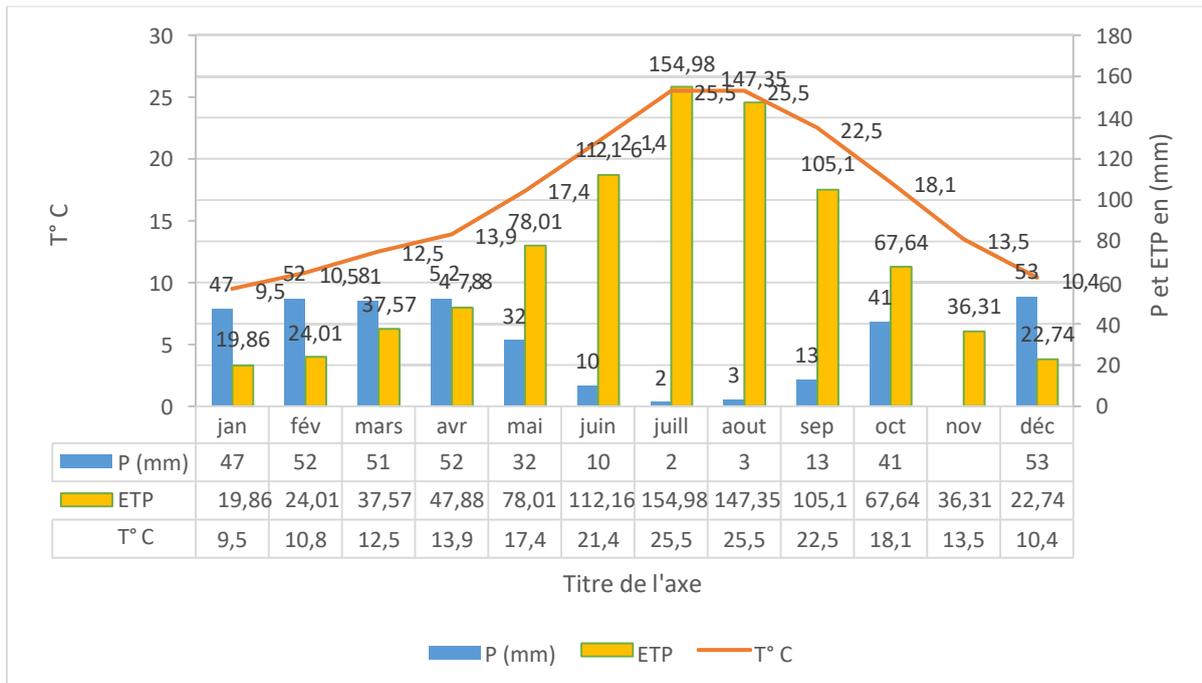


Figure 11: Diagramme d’ETP en comparaisant avec les températures et précipitations

On constate que la courbe l’ETP dépend de la température. En effet, elle augmente lorsque la température augmente et elle diminue lorsque cette dernière diminue. Les valeurs de précipitations sont supérieures aux valeurs d’ETP et atteignent leurs maximums lors des mois novembre jusqu’au avril. Au contraire, l’ETP atteint son maximum lors des mois juillet et Août.

L’Evapotranspiration Réelle

On obtient l’evapotranspiration réelle ETR par la différence entre la hauteur moyenne annuelle des précipitations et la hauteur moyenne annuelle de la lame d’eau supposée uniformément répartie sur le bassin. Nous allons utiliser :

La formule de Turc

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

Avec : ETR : évapotranspiration réelle (mm/an).

P : précipitations moyennes annuelle (mm).

T température moyenne annuelle (°C)

$$L = (0,05 * T^3) + (25 * T) + 300 = 1005,45$$

$$ETR = \mathbf{398,7} \text{ (mm/an)}$$

Un **bilan hydrologique** est un bilan hydrique de l'eau. Pendant un certain intervalle de temps, le total des apports à un bassin versant ou à une formation aquatique doit être égal au total des sorties plus la variation, positive ou négative, du volume d'eau stocké dans le bassin ou la formation. Alors on calcul les différents paramètres hydro-climatiques en se basant sur les données nécessaires pour calculer l'ETR.

En effet la méthode de Thornthwaite est basée sur la notion de saturation du sol, dans les zones arides a semi-arides le sol est considéré saturé quand il absorbe une lame d'eau équivalente à des précipitations de 50 mm. La RFU est défini comme étant la ressource en eau facilement utilisable et qui dépend de la saturation du sol et des précipitations.

Le bilan hydrique du bassin est calculé en se basant sur les données du tableau 8.

Tableau 8: Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite

mm	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Ju	A
P	13	41	57	53	47	52	51	52	32	10	2	3
ETP	105.1	67.64	36.31	22.74	19.86	24.01	37.57	47.88	78.1	112.16	154.98	147.35
RFU	-	-	20.69	50	50	50	50	50	3.9	-	-	-
ETR	13	41	36.31	22.74	19.86	24.01	37.57	47.88	78.1	13.9	2	3
Exc	-	-	-	0.95	27.14	27.99	13.43	4.12	-	-	-	-
Déf	92.1	26.64	-	-	-	-	-	-	-	98.23	152.98	144.35

La lecture du tableau ce dessus montre un niveau d'évapotranspiration très élevé pendant l'été, qui atteint son maximum en mois juillet, indiquant un déficit hydrique durant la majeure partie de l'année allant jusqu'à (-152,98 mm)

On remarque aussi la saturation du notre bassin (50 mm) du mois Décembre jusqu'à Mai ce qui laisse des excédents; quantités d'eaux supérieur à la demande

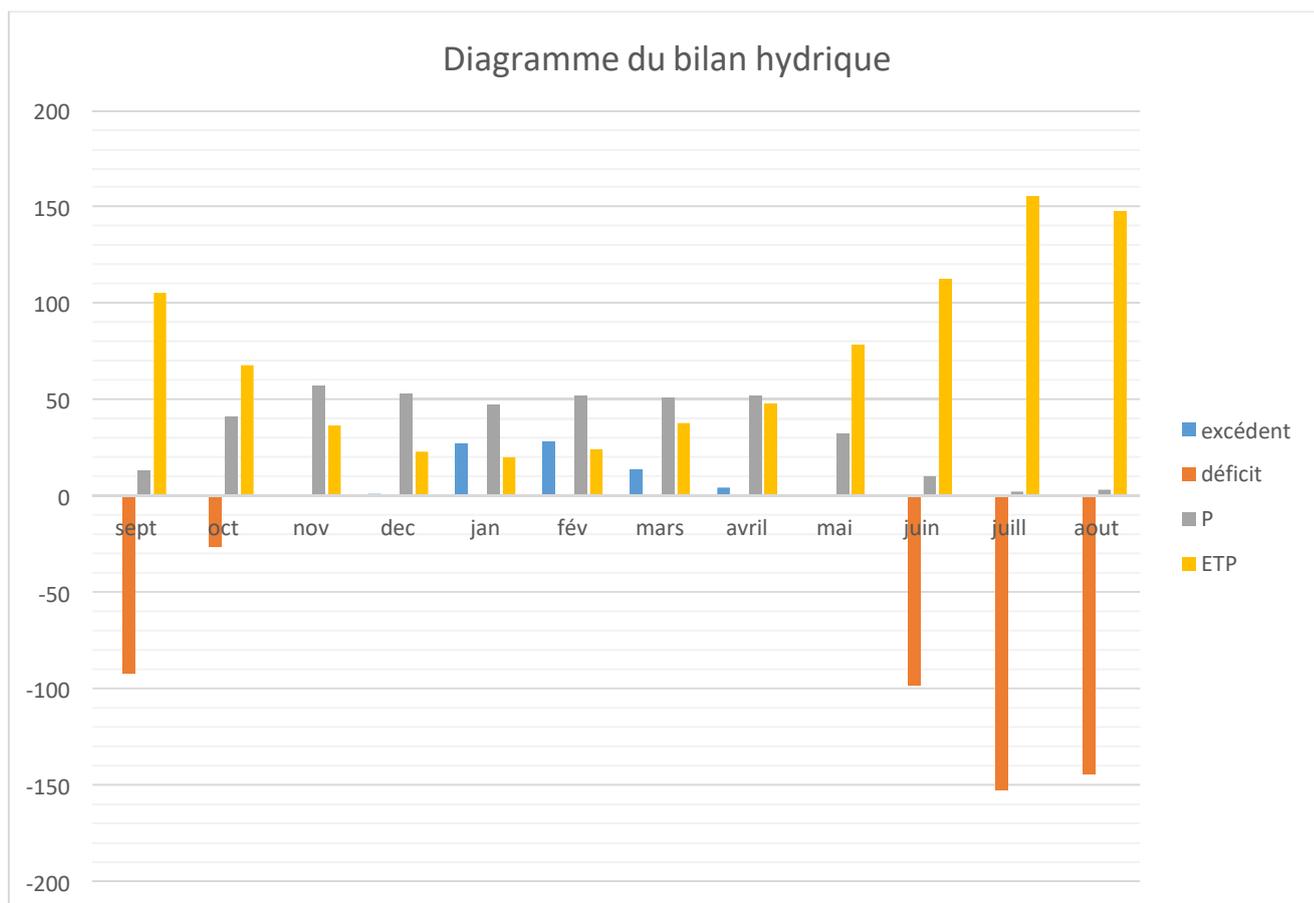


Figure 12: diagramme de bilan hydrique

Insolation

La durée d'ensoleillement est appréciée par les valeurs mensuelles de l'insolation en heures. Ces valeurs mensuelles sont comme suit :

Tableau 9 : Insolation moyenne mensuelle en heure (station de Fès)

<i>Mois</i>	<i>Insolation en heures</i>
<i>Septembre</i>	250
<i>Octobre</i>	220
<i>Novembre</i>	180
<i>Décembre</i>	180
<i>Janvier</i>	180
<i>Février</i>	170
<i>Mars</i>	205
<i>Avril</i>	210
<i>Mai</i>	250
<i>Juin</i>	290
<i>Juillet</i>	330
<i>Août</i>	310

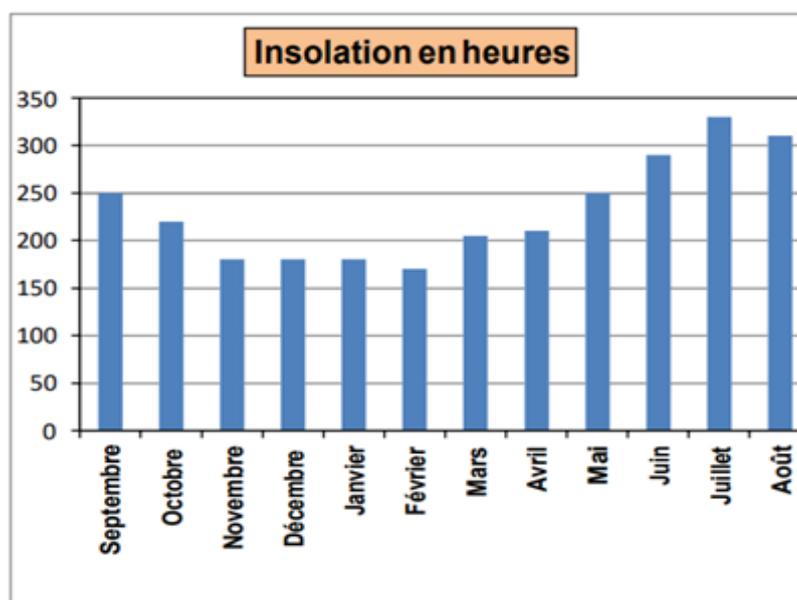


Figure 13 : Histogramme de l'insolation moyenne mensuelle en heure (station de Fès)

Comme pour l'évaporation, le maximum est enregistré en Juillet et Août et le minimum en Février.

Régime des vents

Les vents ne présentent pas de particularités spécifiques car leur régime et leur répartition sont communs à toute la partie septentrionale du Maroc nord-atlasique. Les vents d'Ouest prédominent en saison humide, et ceux du Nord-Ouest en saison sèche. Le Gharbi ou vent

d'Ouest apporte la pluie et la fraîcheur, tandis que parfois durant l'été, souffle le Chergui ou vent de l'Est qui apporte une vague de chaleur desséchante.

Géologie

Le couloir Sud-Rifain constitue un large synclinal plongeant vers l'Ouest. Il se rétrécit progressivement vers l'Est et disparaît à 100 km à l'Est de Fès. La pente méridionale de ce syndical s'incline doucement du Causse Moyen-atlasique vers le Nord. Sa pente septentrionale est plus accentuée et se termine abruptement contre le domaine rifain.

Le sillon Sud-rifain est rempli de calcaires liasiques suivis par une séquence très épaisse de dépôts miocènes, puis par un faciès transgressif de molasse, grès, conglomérat et de calcaires sableux. Au-dessus de ces derniers, se déposent les formations Pilo-villafranchien.

Les calcaires lacustres reposent directement sur les marnes bleues du Tortonien et leurs faciès sont très variables. On trouve des plateaux sableux sur le plateau de Meknès, des calcaires à algues et des calcaires détritiques à pseudo-oolithes dans la plaine de Saïss. Des niveaux de travertins et des niveaux marneux sont fréquemment inter-stratifiés avec des calcaires lacustres proprement dit. Très souvent, ces calcaires présentent des formes karstiques caractéristiques et des réseaux de fissures élargies donnant naissance à des sources à fort débit. Toutefois, il s'agit d'un karst peu évolué car les formations sont récentes et la présence des niveaux marneux ne facilite pas cette évolution.

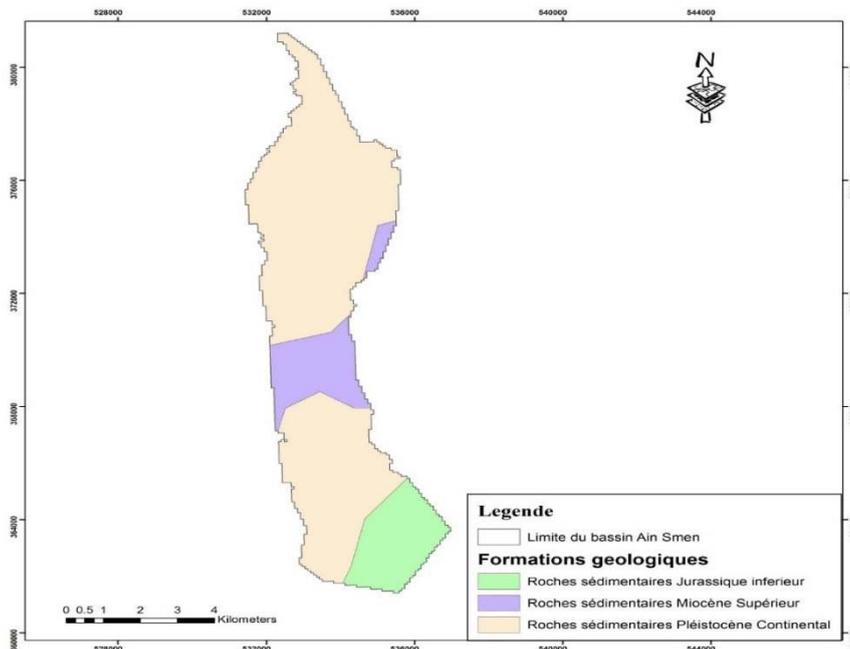


Figure 14: carte géologique du bassin Ain Smen

Réseau hydrographique et hydrologie

Le périmètre urbain de la ville de Fès est parcouru par un important réseau hydrographique axé principalement sur l'oued Fès qui comporte 5 affluents venant y déverser de l'Ouest vers l'Est qui sont: Oued Smen, Oued Aïn Chkef, Oued Himer, Oued Mehraz et Oued Boufekrane.

Les principaux oueds (Himer, Boufekrane et Mehraz) prennent naissance dans le massif de Kander se trouvant au Sud de la ville de Fès. Avant d'atteindre la ville, ils traversent la plaine de Saïs. Leurs bassins versants présentent donc une hétérogénéité topographique entre l'amont et l'aval.

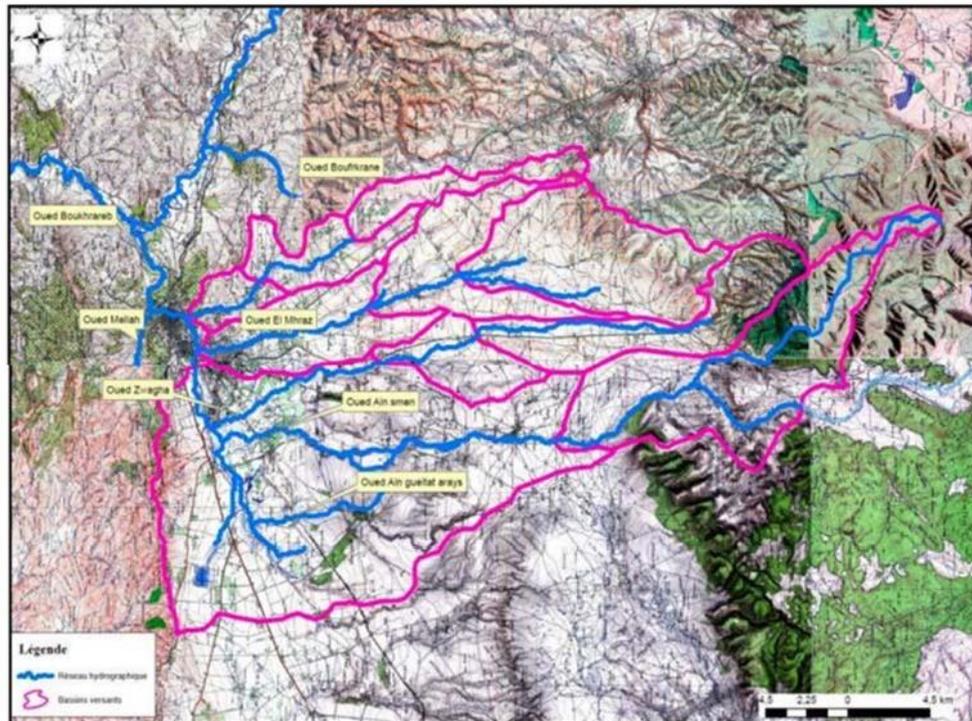


Figure 15 : Sous bassins versants des oueds traversant le périmètre urbain de la ville de Fès

Conclusion :

Le calcul et l'analyse de ces données nous donne une idée globale sur le climat, les précipitations et l'évaporation qui s'est montrée très importante dans la saison sèche ce qui influence sur les calculs des débits indiqués au chapitre suivant.

Chapitre 2 : Etude morphologique du bassin versant d'Ain Smen

Introduction :

L'étude morphologique vise à définir les caractéristiques de la zone à étudier. En fait, elle influe énormément la réponse hydrologique du bassin versant. La synthèse de la morphologie, la nature du sol et le couvert végétal mènent à construire une idée qualitative sur l'évolution des pluies en écoulements à l'échelle du bassin versant.

Délimitation du bassin étudiée (bassin Ain Smen) :

Les étapes de la délimitation de la zone d'étude :

La délimitation du bassin versant a été effectuée par le logiciel **Global Mapper**. En effet, avant j'ai pris l'image depuis Google Earth pour cela j'ai marqué deux routes pour identifier la zone d'étude

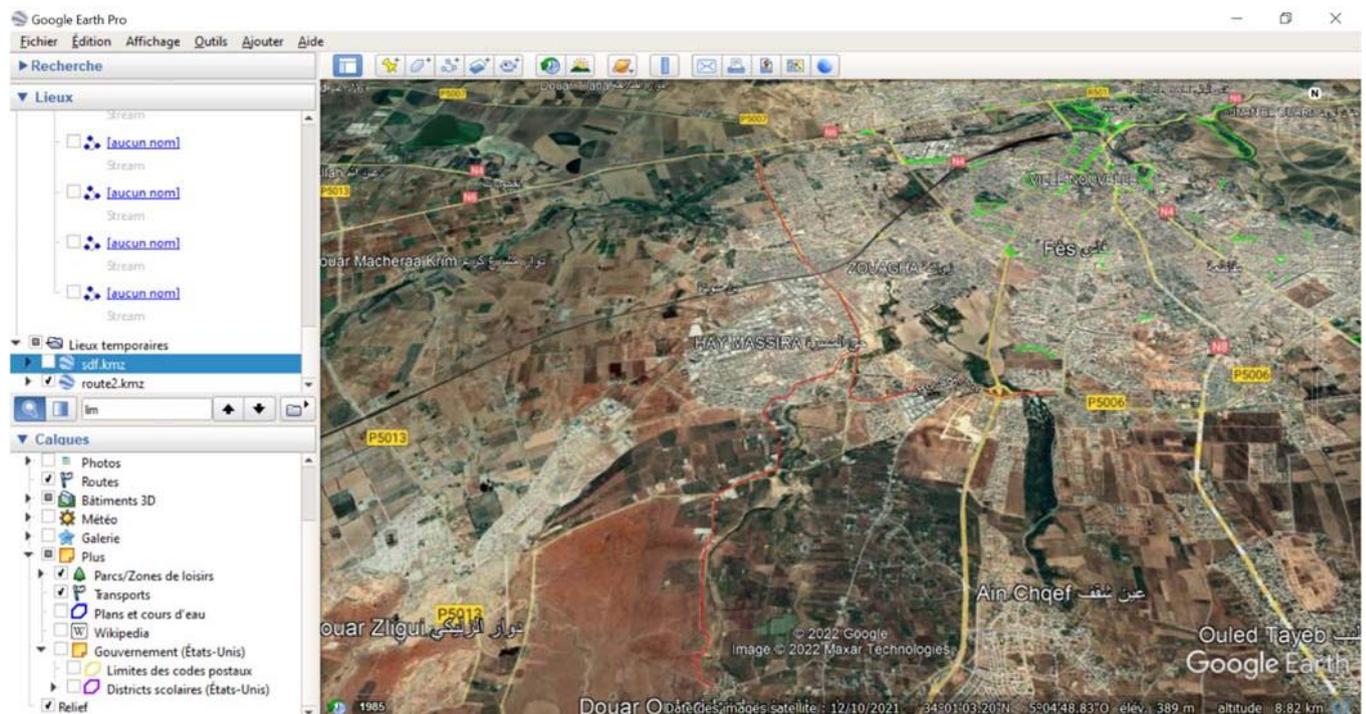


Image 1 : capture d'écran de Google earth

Et après j'ai extrait l'image vers global mapper pour faire la délimitation ainsi que l'extraction du réseau hydrographique.

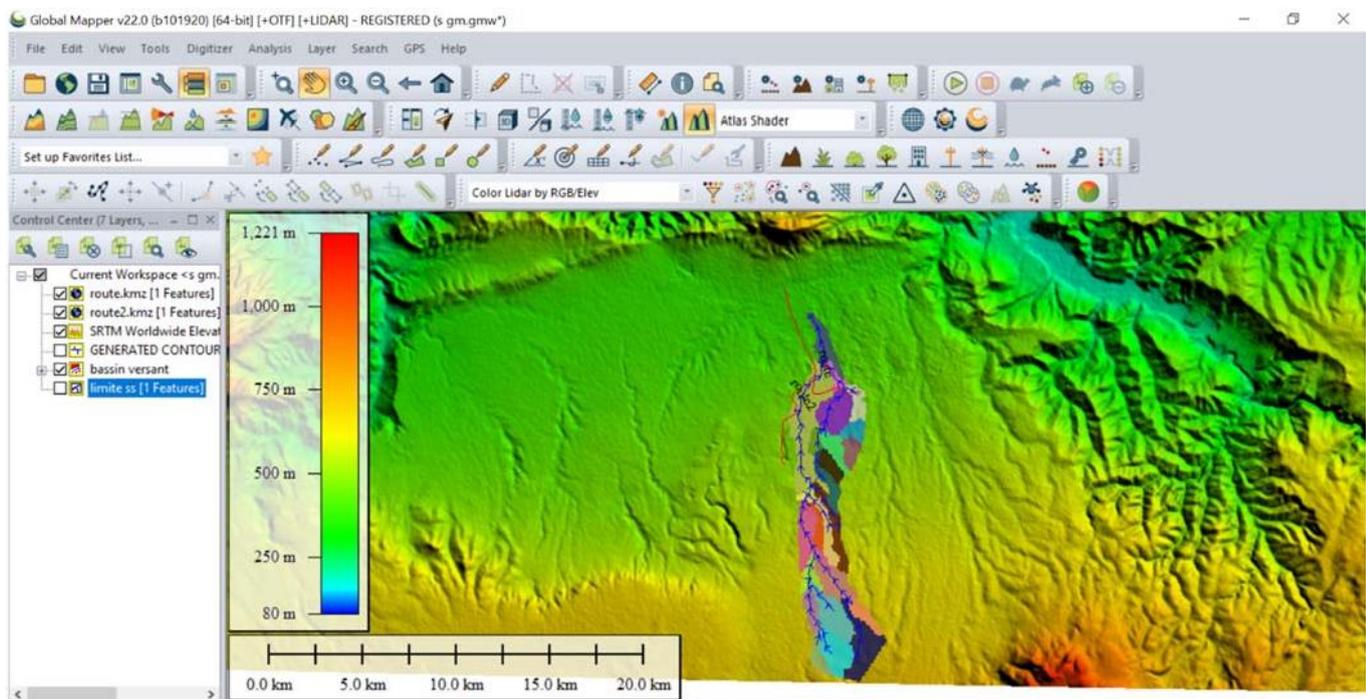


Image 2 : capture d'écran de Global mapper

Après j'ai enregistré l'image sous forme de Shape file vers Arc Gis pour associer les sous bassins ainsi que extraire la carte finale.

Le système d'information Géographique Arc GIS:

C'est un ensemble d'applications SIG développé par la compagnie américaine ESRI (Environment Systems Research Institute), fondée 1969 aux Etats-Unis. Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres.

Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées. Il comporte principalement trois composantes:

ArcCatalog: est un explorateur de données tabulaires et cartographiques. Il est vivement conseillé d'utiliser ArcCatalog pour effacer les fichiers car ces fichiers sont accompagnés d'autres fichiers que l'explorateur de Windows, s'il est utilisé, ne permet pas de les effacer automatiquement. ArcCatalog permet aussi de visualiser les données tabulaires et les couches géographiques ainsi qu'une exploration des différents thèmes qui le constituent.

ArcMap: ArcMap est l'application fondamentale du logiciel Arc GIS. Elle contient une boîte à outils, organisée sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données. ArcMap est l'équivalent de l'ancienne version d'ArcView.

ArcToolbox: est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et des transferts de format et aussi de projection aussi bien que la délimitation des sous-bassins et l'obtention des réseaux hydrographiques

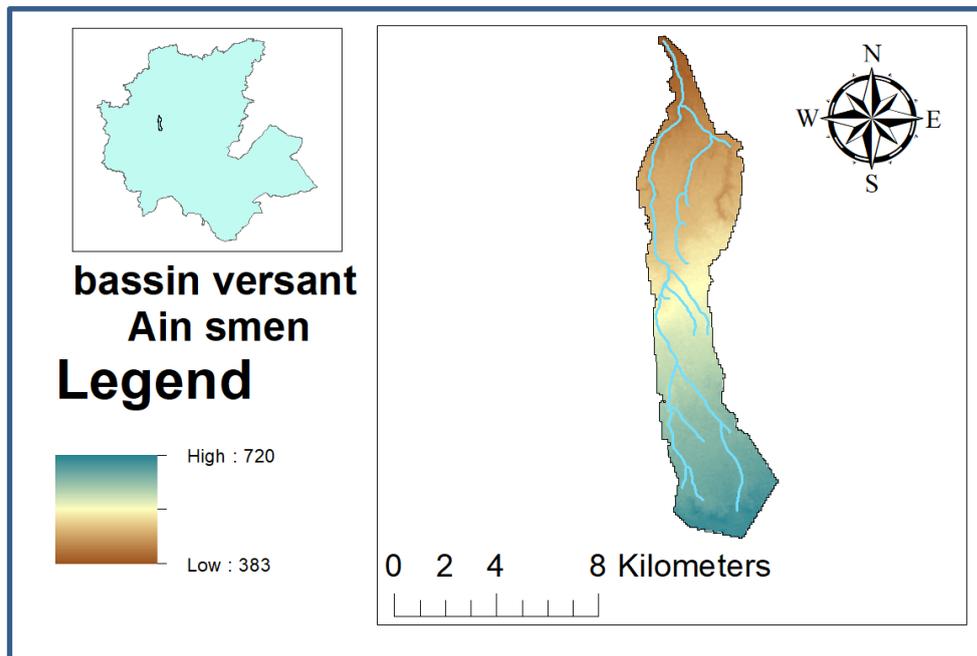


Figure 16 : La délimitation du bassin versant Ain Smen

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface. Celle-ci correspond à l'aire délimitée par l'ensemble des points les plus hauts qui constituent la ligne de partage des eaux. La surface (A) du bassin versant est exprimée en km².

Le périmètre et la superficie :

Le périmètre représente toutes les irrégularités du contour ou de la limite du bassin versant, il est exprimé en km. Le contour du bassin est constitué par une ligne joignant tous les points les plus élevés. Il n'influence pas l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. Ces deux paramètres sont automatiquement calculés par Arcgis.

Tableau 10: Périmètre et surface du bassin versant

<i>Périmètre (Km)</i>	<i>Superficie (Km²)</i>
52.28	59.45

L'indice de compacité de Gravelius (KG) :

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant, et renseigne sur la rapidité de la concentration des écoulements. Elle est définie comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$KG = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

KG est l'indice de compacité de Gravelius.

A : surface du bassin versant [km²].

P : périmètre du bassin [km].

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface.

Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

KG	1.89
----	-------------

D'après les calculs, on a un indice qui est $\gg 1$, d'où notre bassin a une forme allongée ce qui va induire de faibles débits de pointe de crue.

Le rectangle équivalent :

La notion de rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius, introduite par Roche (1963), permet de comparer facilement des bassins versants entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement.

Il résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle.

Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes :

- La longueur L :

$$L = \frac{KG\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12^2}{KG^2} \right)} \right]$$

- La largeur l :

$$l = \frac{KG\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12^2}{KG^2} \right)} \right]$$

Avec :

K_G : Indice de compacité de Gravelius

A : Superficie du bassin versant en km^2

L : Longueur du rectangle équivalent en km

l : Largeur du rectangle équivalent en km.

Tableau 11: Longueur et largeur du bassin versant (km)

Longueur	Largueur
23.645	2.518

Carte hypsométrique :

D'après le modèle numérique du terrain (M.N.T), on a pu déterminer les altitudes en tout point du bassin-versant. Quatre classes hypsométriques sont retenues. L'importance et la répartition de ces classes sont illustrées par les données du tableau 12 ci-dessous.

Tableau 12: La répartition de la surface en fonction d'altitudes

Altitudes (m)	Km^2	%
381 - 463	9.516067	18.18
463 - 536	15.19482	29.02
536 - 619	11.10497	21.21
619 - 718	16.53498	31.59
Total	52.357	100

D'après ce tableau on remarque ;

La classe d'altitude entre (381 – 463); constitue 18,18 % de la superficie du bassin versant et s'étend sur une surface de 9,51 Km^2

La classe d'altitude entre (463 - 536); constitue 29.02% de la superficie du bassin versant et s'étend sur une surface de 15.19 Km^2 ,

La classe d'altitude entre (536 - 619); constitue 21.21% de la superficie du bassin versant et s'étend sur une surface de 11.11 Km^2 ,

La classe d'altitude entre (619 - 718); constitue 31.59% de la superficie du bassin versant et s'étend sur une surface de 16.53 Km^2 ,

Donc la classe d'altitude la plus dominante est celle de (619 - 718).

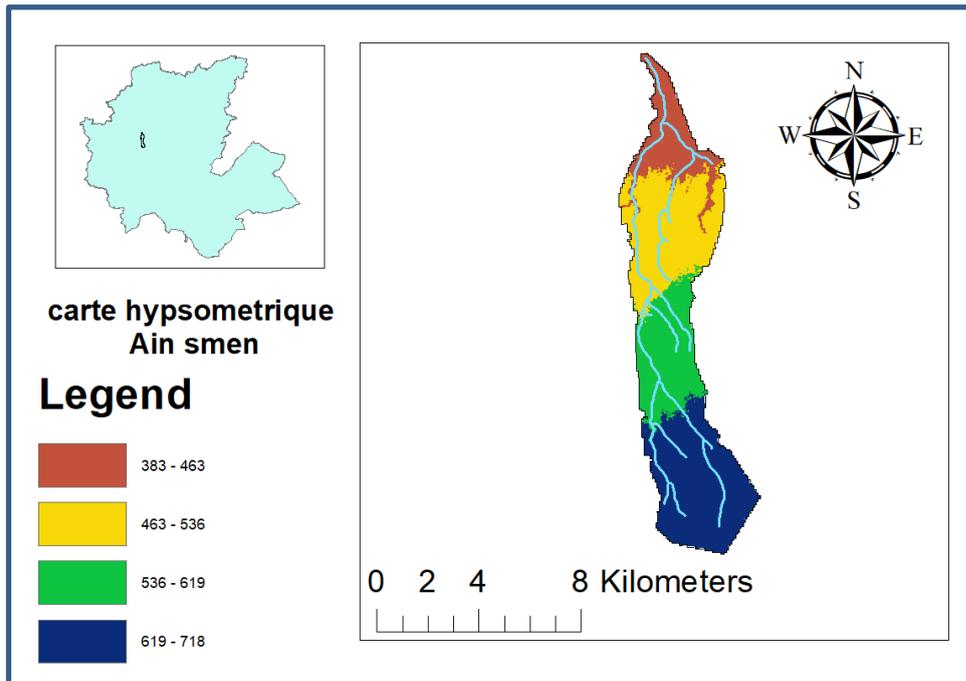


Figure 17: carte hypsométrique du bassin Ain Smen

Courbe hypsométrique :

Une **courbe hypsométrique** est un histogramme ou une fonction de répartition empirique des élévations pour une zone géographique. Il existe des différences de courbes hypsométriques entre les paysages car les processus géomorphologiques qui façonnent le paysage peuvent être différents. Elle est utile pour l'étude de l'hypsométrie, la mesure de l'élévation des terres par rapport au niveau de la mer.

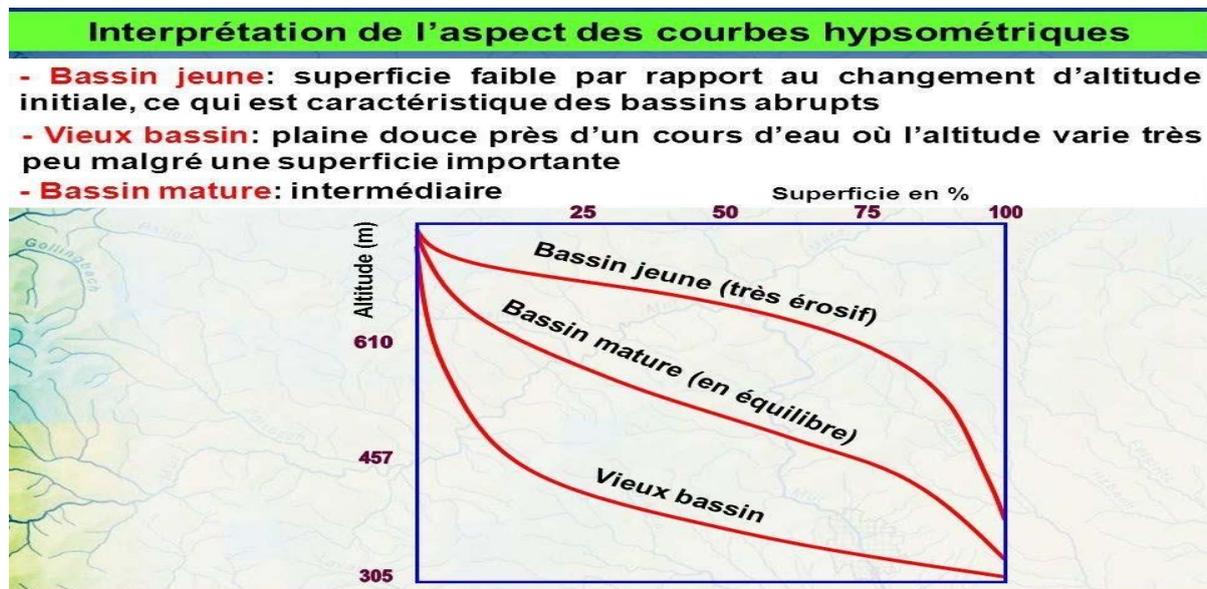


Figure 18: Détermination d'âge d'un bassin versant à partir de la courbe hypsométrique

Tableau 13: Les paramètres utilisés pour le traçage de la courbe hypsométrique

Altitudes (m)	Surface (Km ²)	Surfaces Cumulées (Km ²)	% Surfaces Cumulées
381 - 463	9.52	52,3508	100 %
463 - 536	15.195	42,83477	81,82
536 - 619	11.105	27,63995	59 ,8
619 - 718	16.535	16,53498	31,6

Courbe hypsométriques :

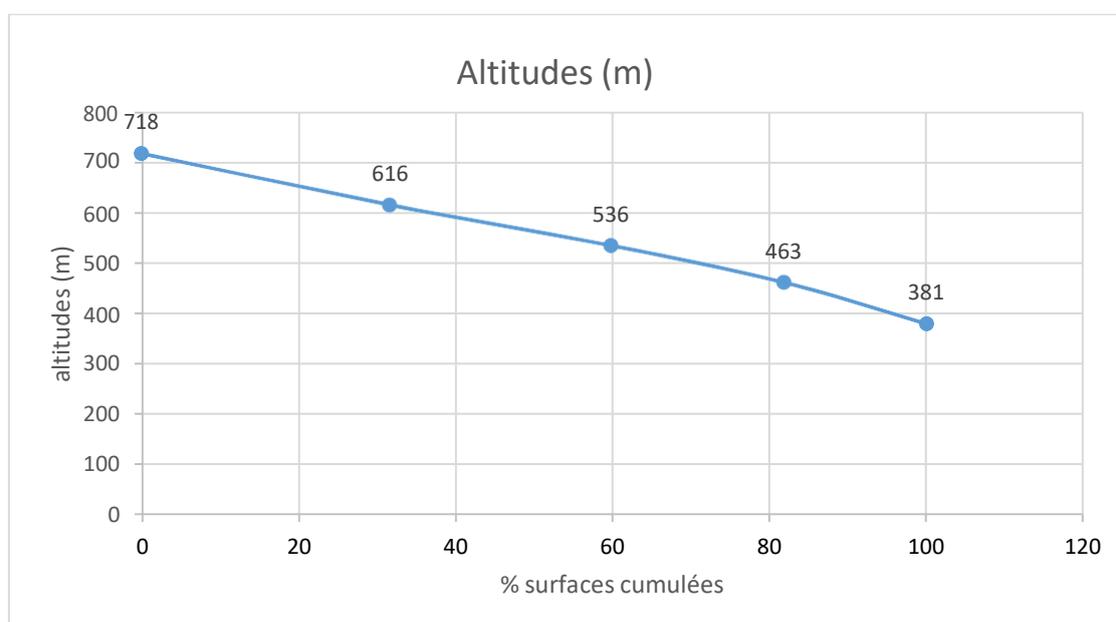


Figure 19: courbe hypsométrique

Interprétation :

D'après la courbe hypsométrique résultante (Fig.19), et en comparaison avec la classification donnée dans la figure 18, on remarque qu'il s'agit d'un jeune bassin versant érosif.

Les altitudes caractéristiques :

Les altitudes maximale et minimale :

Elles sont obtenues directement à partir de la carte hypsométrique. L'altitude maximale montre le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale indique le point le plus bas (l'exutoire):

Hmax	Hmin
718	381

L'altitude moyenne :

$$H_{\text{moy}} = \frac{H_{\text{max}} + H_{\text{min}}}{2}$$

Avec :

H_{moy} : L'altitude moyenne (m)

H_{max} : L'altitude la plus élevée (m)

H_{min} : L'altitude la plus basse (m)

Hmoy	549.5
------	--------------

L'altitude médiane :

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin sur la courbe hypsométrique.

Altitude médiane(m)	550
---------------------	------------

H95% et H5%

H95%	H5%
400	700

Les pentes :

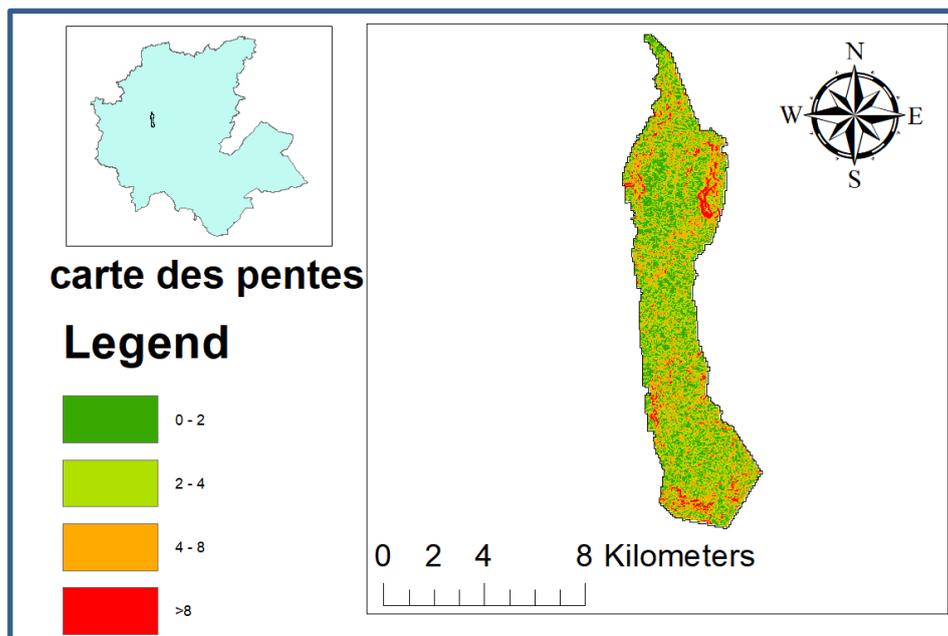


Figure 20: Carte des pentes du bassin versant en %

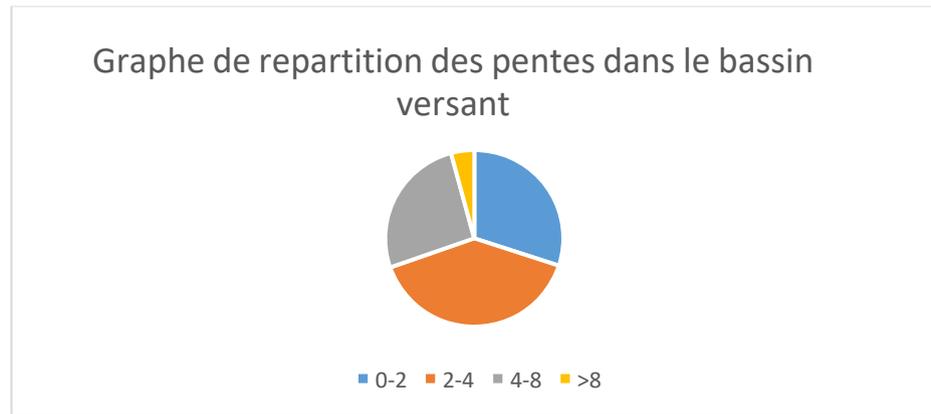


Figure 21 : graphe de répartition des pentes dans le bassin Ain

SmenTableau 14: Classification des pentes en fonction de leur pourcentage

Classe	Type de pente
1	Nulle à faible 0 – 5%
2	Modérée 5 – 10 %
3	Abrupte 10 – 15%
4	Très abrupte 15 – 25%
5	Extrême > 25%

D'après la carte des pentes réalisée sur Arc GIS (Fig.20); et en comparaison avec le tableau de classification (Tab.14); on trouve qu'on a une majorité des pentes qui sont nulles à faibles, tandis que le reste est entre modérée, abrupte et très abrupte.

La pente moyenne :

C'est une caractéristique intéressante, voire très importante, car elle renseigne, graphiquement, sur la topographie du bassin. De plus elle influence le débit de pointe lors d'une averse.

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

Avec :

P moy : La pente moyenne du bassin versant

ΔH : L'altitude moyenne (m)

L: La longueur du rectangle équivalent (km).

Pmoy (%)	14.25
----------	--------------

Indice de pente global :

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent. Il est donné par la formule

$$I_g = \frac{DG}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

Avec :

I_g: Indice de pente globale en m/km

DG: La dénivelée H5% - H95%

L: Longueur du rectangle équivalent

H5% : Altitude correspondant à 5% de la surface totale du bassin versant

H95% : Altitude correspondant à 95% de la surface totale du bassin versant.

I_g (%)	0,12
--------------------------	-------------

D'après le résultat et en comparaison avec le tableau ci-dessous on voit que l'indice de pente global est entre 0.05 et 0.5, alors on est dans la 6^{ème} classe ; il s'agit d'un relief fort.

Tableau 15: Classification du relief selon l'I_g donné par l'ORSTOM

Classes	Relief	Valeur d'I _g
1	Relief très faible	I _g < 0.002
2	Relief faible	0.002 ≤ I _g < 0.005
3	Relief assez faible	0.005 ≤ I _g < 0.01
4	Relief modéré	0.01 ≤ I _g < 0.02
5	Relief assez fort	0.02 ≤ I _g < 0.05
6	Relief fort	0.05 ≤ I _g < 0.5
7	Relief très fort	0.5 < I _g

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 Horton (1932), la densité de drainage est définie

comme la longueur totale du canal dans un bassin hydrographique divisée par la superficie totale, représentée par l'équation suivante :

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

Avec :

Dd : densité de drainage km/km²

Li : longueur de cours d'eau km

A : surface du bassin versant km².

Dd (Km ⁻¹)	0,76
------------------------	-------------

Tableau 16: Les caractéristiques physiographiques du bassin versant

Caractéristiques physiographiques	valeurs du projet	équation
périmètre (Km)	52.2874	par Arc GIS
superficie (Km ²)	59.4555	Arc GIS
Indice de compacité	1.8987	$0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$
Longueur du rectangle équivalent (Km)	23.645	$L = \frac{KG\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12^2}{KG^2}\right)} \right]$
Largueur du rectangle équivalent (Km)	2.518	$L = \frac{KG\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12^2}{KG^2}\right)} \right]$
Altitude maximal (m)	718	Arc GIS
Altitude minimal (m)	381	Arc GIS
Altitude médiane (m)	550	Courbe hypsométrique
L'altitude moyenne	549.5	$H_{moy} = \frac{H_{max} + H_{min}}{2}$
Indice de pente global en (%)	0,12	$Ig = \frac{DG}{L} = \frac{H5\% - H95\%}{L}$
Densité de drainage (km ⁻¹)	0,76	$Dd = \frac{\sum Li}{A}$
pente moyenne (%)	14.25	$P_{moy} = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$

Conclusion :

Les résultats obtenus dans ce chapitre (surface, périmètre, forme du BV, altitudes, pentes) représentent un pat essentiel pour avoir une idée sur le comportement hydrique du bassin versant et sont des paramètres nécessaires dans l'étude hydrologique qui suit.

Chapitre 3 : Etude hydrologique du bassin versant d'Ain Smen

Introduction :

L'étude hydrologique s'intéresse aux mécanismes qui concernent l'infiltration et le ruissellement qui ont une relation directe avec l'accélération ou le ralentissement des écoulements. En outre, la détermination du débit de pointe est nécessaire pour le dimensionnement des aménagements destinés à la protection contre les inondations de la zone étudiée.

Le temps de concentration

C'est le temps mis par les eaux écoulées arrivant de tous les points de bassin pour atteindre la section considérée. Le maximum de la crue se produit pour une durée égale au temps de concentration. Il dépend essentiellement de la superficie du bassin versant, la forme du bassin, la pente moyenne, l'intensité des pluies et le débit d'écoulement.

Il existe plusieurs formules pour calculer ce paramètre, mais j'ai choisi de travailler avec celles qui ont été applicables sur les bassins versants marocains.

Formule de Kent's

$$T_c = 0,123 * \left(\frac{L}{10,5}\right)^{0,2} * \left(\frac{1000}{-9+CN^{1,69}}\right)^{1,67}$$

Avec :

Tc : temps de concentration en heures.

L : longueur de talweg en km

I : pente du BV en %

$$CN = \frac{25400}{254+S}$$

Condition d'application : superficie du bassin versant > 10 km².

La superficie de notre bassin versant est de 59,45 Km² donc la formule de Kent's est applicable. La formule nous donne :

Tab17 : Temps de concentration calculé par formule de Kent's

Bassin versant	CN	Temps de concentration (h)
Ain Smen	81,03	0,07h

Formule de Turazza

$$T_c = 0,108 * (S * L)^{0,333} * I^{0,5}$$

Tc: temps de concentration en h

L: Longueur de Talweg en km

S: Surface du BV en km²

I: Pente moyenne en m/m

Tab 18: Temps de concentration calculé par la méthode de Turazza

Bassin versant	Temps de concentration (h)
Ain Smen	0,31 h

La formule de Kirpich:

$$T_c = (1/52) * (L^{1.15} * H^{-0.385})$$

TC: temps de concentration en minute.

L : Longueur de Talweg en m.

H: Dénivelée en m.

Tab 19: Temps de concentration calculé par la méthode de Kirpich

Bassin versant	Temps de concentration (h)
Ain Smen	0,95

La formule Espagnole:

$$T_c = 18 * (L^{0.77} * I^{0.1925})$$

Tc: temps de concentration en minute.

L: Longueur de Talweg en km.

I: Pente moyenne en m/m.

Tab 20: Temps de concentration calculé par la méthode d'Espagnole

Bassin versant	Temps de concentration (h)
Ain Smen	0,95

La formule Van Te Chow :

$$T_c = 60 * 0.123 * (L * I^{0.5})^{0.64}$$

Tc: temps de concentration en minute,

L: Longueur de Talweg en km,

I: Pente moyenne en m/m.

Tab 21: Temps de concentration calculé par la méthode de Van Te Chow

Bassin versant	Temps de concentration (h)
Ain Smen	0,24

La formule Californienne :

$$T_c = 60 * 0,1452 * (L * I^{0,5})^{0,77}$$

Tc: temps de concentration en minute,

L: Longueur de Talweg en km,

I: Pente moyenne en m/m.

Tab 22: Temps de concentration calculé par la méthode Californienne

Bassin versant	Temps de concentration (h)
Ain Smen	0,32

Tab 23 : Temps de concentration calculé par les différentes méthodes

Méthode utilisée	Tc (min)	Tc (h)
Turazza	18,6	0,31
Kent's	4,07	0,07
Kirpish	56,90	0,95
Espagnole	57,29	0,95
Van Te Chow	14,29	0,24
Californienne	19,05	0,32
Valeur du projet	24,31	0,41

Calcul du débit :

Le terme débit désigne le volume d'eau s'écoulant dans un cours d'eau ou dans une conduite pendant une période donnée

Formules utilisant uniquement la superficie du bassin

Des études (en Etats-Unis et en Italie) ont permis de développer des formules exprimant le débit spécifiques maximum q_{max} (m³/S/Km²) en fonction de la superficie du bassin (A) en (Km²) et quelques coefficients empiriques.

Voici quelques formules pour déterminer le débit maximum :

Formule de Scimemi ; $Q_{\max} = \frac{600}{A+10} + 1$

q_{\max} (m ³ /S/Km ²)	9,64
---	-------------

Formule de Pagliaro ; $Q_{\max} = \frac{2900}{90+A}$

q_{\max} (m ³ /S/Km ²)	19,40
---	--------------

Formule de Forti ; $Q_{\max} = 3,25 * \frac{500}{A+125} + 1$

q_{\max} (m ³ /S/Km ²)	9,9
---	------------

Conclusion :

Cette étude avait pour objet d'estimer les séries de débits de projet en se basant sur des formules empiriques qui nécessitent en premier la détermination des caractéristiques des bassins et l'ajustement statistique d'une série de pluie.

L'étude hydrologique nous a donc permis de comprendre le comportement hydrologique général de notre bassin versant et de voir dans quelles mesures l'aménagement du territoire pouvait contribuer à une meilleure gestion des crues .

Références :

Bagnouls F. et Gaussen H. (1952). Les climats biologiques et leur classification, Ann. de Géog., n° 288.

Horton (1932). Drainage basin characteristics. Eos Transactions, American Geophysical Union 13, 350-361.

Roche M. (1963). Hydrologie de surface » O.R.S.T.O.M. et Gauthier-Villars Ed. Paris.

Thornthwaite C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geographic Review 38: 55- 94.



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques
Salma LAKRAA

Année Universitaire : 2021/2022

Titre : Contribution à l'étude hydrologique du bassin versant d'Ain Smen, Fès

Résumé

Dans l'étude hydrologique du bassin versant d'Ain Smen, Fès, un enchainement d'étapes a été suivi, on a tout d'abord, donné une idée générale concernant la situation géographique du bassin étudié qui est située à la ville de Fès, idée sur les précipitations avec une valeur de pluie annuelle de 412mm, la température avec ses valeurs qui varient entre 9,5 et 25,5 et une valeur d'ETR de 398,7 (mm/an) la géologie de la zone avec les différents roches indiqués dans la zone (roches sédimentaires du jurassique inférieur, de miocène supérieur ainsi que les roches sédimentaires de pléistocène continental), sa caractérisation climatologique et la répartition hétérogène des périodes humides et sèches. Le bilan hydrique a permis de déterminer la nature du climat qui est caractérisé par un climat semi-aride modéré en hiver, a déficit d'humidité important en été.

Deuxièmement, la détermination des caractéristiques physiographiques du bassin versant à l'aide du logiciel Arc GIS, Global mapper et Google Earth ont montré qu'il s'agit d'un jeune bassin versant érosif d'une superficie de 59 Km², de forme allongée avec un rectangle équivalant de longueur de

23.6 Km et largeur de 2.5 Km avec un relief fort, des pentes faibles en aval et fortes en amont et une densité de drainage de 0,76 Km⁻¹. Ses paramètres ont été introduits dans l'étude hydrologique où on a déterminé les temps de concentrations et les débits max qui varient d'une équation à une autre

Mots clés : Bassin Ain Smen, bilan hydrologique, temps de concentration, débits maximum