



Année Universitaire : 2015-2016



Licence Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement

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

Etude hydrologique des crues des bassins versants de Zalagh

Présenté par:

**Ikram LAHMIDI
Meriem GUENNOUNI HASSANI**

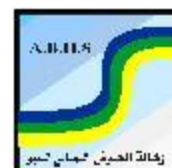
Encadré par:

**Pr. CHAOUNI Abdel-Ali, FST-Fès
Ing. SKALLI El Mehdi, ABHS-Fès
Pr. BENJELLOUN Faiza, FST-Fès**

Soutenu Le 10 Juin 2016, devant le jury composé de:

**Pr. GHFIR Younes, FST-Fès
Pr. LAHRACH Abderrahim, FST-Fès
Pr. CHAOUNI Abdel-Ali, FST-Fès
Pr. BENJELLOUN Faiza, FST-Fès**

Stage effectué à : ABHS, Fès





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

Ikram LAHMIDI

Meriem GUENNOUNI HASSANI

Année Universitaire : 2015/2016

Titre : Etude hydrologique des crues des bassins versants de Zalagh

Résumé

Les bassins versants de Jbel Zalagh s'écoulent au Nord de Fès qui se situe entre le massif du préif et le bassin de Saïs, la superficie totale de ces bassins occupe 7,7km², alors que chaque bassin occupe : 0,56 km² ; 0,46 km² ; 0,50 km² ; 0,68 km² ; 1,28 km² ; 1,43 km² ; 1,75 km² ; 1,04 km². Ces bassins reçoivent en moyenne 403 mm de pluie par an, avec un temps de concentration moyen de

La géologie de ces bassins est assez diversifiée on trouve des terrains plus anciens du calcaire jurassique et créacé à la partie la plus redressée de Jbel zalagh, alors qu'on trouve à la partie inférieure des terrains tertiaires des marnes bleues du Miocène supérieur.

La maîtrise et l'atténuation des conséquences des inondations provoquées par ces bassins nécessitent des mesures continus et des analyses des variables hydro-pluviométriques qui gouvernent tout le processus de genèse des crues.

Mots clés : crues, délimitation, bassins versants, Jbel Zalagh, Arc GIS

Remerciements

Au terme de ce sujet de fin d'études réalisé à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, nous avons l'honneur de remercier tous les personnes qui nous ont aidés dans cette formation surtout les personnes qui nous ont apportés leur soutien et qui ont contribué à l'élaboration de ce projet.

En premier temps Mr.Chaouni : professeur dans la Faculté des Sciences et Techniques de Fès ; Mr.Lahrach : professeur dans la Faculté des Sciences et Techniques de Fès ; Mr.BOURAK : chef de division de gestion durable des ressources en eau, Mr.SKALLI Mehdi : chef de service des travaux d'équipements hydrauliques.

Nos remerciements s'adressent également aux membres de jury pour avoir accepté de juger ce travail. Nous remercions également notre famille qui nous a soutenu tout au long notre cursus, et à tous ceux qui nous ont aidé, de près ou de loin, pour accomplir ce projet.

Sommaire

Remerciements.....	1
Introduction générale.....	5
Chapitre 1 : Données générales	6
1. Contexte géographique	7
2. Climat :.....	8
2.1. Précipitations :	8
2.2. Températures	8
3-Géologie :	9
Chapitre 2 : Paramètres physiographiques	11
des bassins versants de la région de Zalagh	11
1. Caractéristiques morfo-métriques :	12
1.1. Surface, périmètre :.....	12
1.2. Indice de compacité de CRAVELIUS :.....	13
1.3. Le rectangle équivalent :	13
2. Les altitudes caractéristiques :.....	14
2.1. Les altitudes maximales et minimales :.....	14
2.2. Les indices de pentes :	14
3. Résultats :.....	15
3. Conclusion :.....	16
Chapitre 3 : Etude hydrologique	18
1. Introduction :	19
2. Données d'entrées :.....	19
3. Calcul de temps de concentration :	19
3.1. Résultats :.....	20
3.2. Conclusion :.....	22
4. Calcul des débits de pointe par les formules usuelles	23
Rationnelle :.....	24
Mac Math.	25
Formule de Fuller II :	25
Hazan Lazarevic	25
Mallet Gautier :	25
5. Résultats :.....	26
6. Conclusion :.....	30
Conclusion générale :	33
Annexes.....	34

Références bibliographiques	38
-----------------------------------	----

Liste des figures

Figure 1 : Découpage administrative du bassin versant de l'oued Sebou	7
Figure 2 : Précipitations moyennes annuelles de la période de 1980 à 2014. (ABHS).....	8
Figure 3 : Carte géologique du bassin Fès-Meknès (Taltasse, 1953, modifié)El Boumeshouli S.M (2010).	9
Figure 4 : Carte géologique du bassin Fès-Meknès (Taltasse, 1953, modifié).....	9
Figure 5 : Coupe géologique du bassin de Saïs de Fès (Reynard et al 2011)	10
Figure 6 : La carte de Fès Ouest 1/50000	12
Figure 7 : Délimitation des bassins versants du Zalagh à l'aide du logiciel ArcGIS.....	13
Figure 8 : Carte des pentes de la ville de Fès	14

Liste des tableaux

Tableau 1 : Record max et min de la température de la ville de Fès	8
Tableau 2 : surfaces et périmètres des bassins versants de Zalagh.....	15
Tableau 3 : Les indices de compacités des bassins versants de Zalagh	15
Tableau 4 : longueurs et largeurs du rectangle équivalent pour les bassins versants de Zalagh	15
Tableau 5 : Altitudes max et min des bassins versants de Zalagh.....	16
Tableau 6 : Pentés moyennes en (m/m) et (%) des bassins versants de Zalagh.....	16
Tableau 7 : les caractéristiques physiographiques des bassins versants de Zalagh.....	17
Tableau 8 : Les coordonnées Lambert de cette station (ABHS)	19
Tableau 9 : Tc des bassins versants étudiés par la formule Turazza	21
Tableau 10 : Tc des bassins versants étudiés par la formule Ventura	21
Tableau 11 : Tc des bassins versants étudiés par la formule Espagnol.....	21
Tableau 12 : Tc des bassins versants étudiés par la formule de Van Te Chow	22
Tableau 13 : Tc des bassins versants étudiés par la formule Californienne.....	22
Tableau 14 : Tc des bassins versants étudiés par la formule de Giondotti	22
Tableau 15 : Le temps de concentration des bassins versants de Zalagh en minutes.....	23
Tableau 16 : Coefficient de ruissellement de la ville de Fès en fonction de période de retour	24
Tableau 17 : Coefficient de Montana	24
Tableau 18 : Les pluies journalières max et les pluies de 24h.....	25
Tableau 19 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 10ans	26
Tableau 20 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 20ans	26
Tableau 21 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 50ans	26
Tableau 22 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 100ans	27
Tableau 23 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 10ans	27
Tableau 24 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 20ans	27
Tableau 25 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 50ans	27
Tableau 26 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 100ans	28
Tableau 27 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 10ans	28
Tableau 28 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 20ans	28
Tableau 29 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 50ans	28
Tableau 30 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 100ans	28
Tableau 31 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 10ans	29
Tableau 32 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 20ans	29
Tableau 33 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 50ans	29
Tableau 34 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 100ans	29
Tableau 35 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 10ans	29
Tableau 36 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 20ans	30
Tableau 37 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 50ans	30
Tableau 38 : Débit de pointe des bassins versants en m ³ /s pour 100ans	30
Tableau 39 : Débit moyen des bassins versants en m ³ /s pour 10ans	31
Tableau 40 : Débit moyen des bassins versants en m ³ /s pour 20ans	31
Tableau 41 : Débit moyen des bassins versants en m ³ /s pour 50ans	31
Tableau 42 : Débit moyen des bassins versants en m ³ /s pour 100ans	32

Introduction générale

Les inondations sont l'aléa climatique naturel le plus répandu dans le monde et peut survenir dans toutes les régions du globe c'est un des phénomènes naturels qui touche le plus d'êtres humains. En France par exemple, sur les 160 000 km de cours d'eau qui coulent, il y a une surface de 22 000 km² qui serait particulièrement reconnue inondable, répartie sur 7 600 communes soit 2 000 000 de riverains seraient concernés.

Le Maroc n'est pas une exception, chaque année les inondations couvrent de nombreuses zones des provinces du pays à cause de fortes pluies, comme la province de Taroudant, Ouarzazate ...

La ville de Fès a connu à partir du milieu du vingtième siècle (septembre 1950 et octobre 1989) des crues excessivement violentes qui ont causé de très importants dégâts (inondation et destruction des maisons, destruction de ponceaux, érosion et effondrement des berges, érosion des chaussées, coupures de route, etc.). Cette période coïncide avec l'expansion de l'agglomération urbaine sur des zones à risques d'inondations vers le Sud et des glissements vers le Nord.

L'objectif de ce projet est de faire une étude hydrologique des crues des bassins versants de Zalagh, en se basant sur le plan suivant :

- Une étude générale de la zone de la ville de Fès,
- une étude sur les paramètres physiographiques des bassins versants de Zalagh en utilisant le logiciel Arc GIS,
- et une étude hydrologique.

Chapitre 1 : Données générales

1. Contexte géographique

Le bassin hydraulique de l'oued Sebou s'étend sur la partie nord du royaume. Il s'étend sur une superficie de 40000 km² et situé entre les méridiens 3°50 et 6°40 ouest et les parallèles 33° et 35° nord. L'altitude maximale du versant rifain est de 2448 m du JBEL TIDGHINE et elle est de 3080m sur le versant moyen atlasique à JBEL BOUIBLANE. Le bassin est constitué administrativement par 6 régions, 16 provinces et 300 communes urbaines et rurales.

Figure 1 : Découpage administratif du bassin versant de l'oued Sebou



La ville de Fès est limitée par quatre provinces qui sont :

- La province de Taounate au nord
- La province de My yacoub à l'ouest
- La province de Séfrou au sud
- La province de Taza à l'est

Elle s'étend sur une superficie de 360 Km² avec une population de 1112000 habitants (RGPH 2014)

2. Climat :

2.1. Précipitations :

La ville de Fès est relativement bien arrosée, vu son emplacement géographique au nord-ouest du Maroc et sa localisation orographique au pied des reliefs rifains et moyen-atlasiques, les précipitations annuelles sont comprises entre 500 et 900 mm.

Fin mai 2015, la ville était sujet des précipitations torrentielles cumulant 117,2 mm en une seule journée.

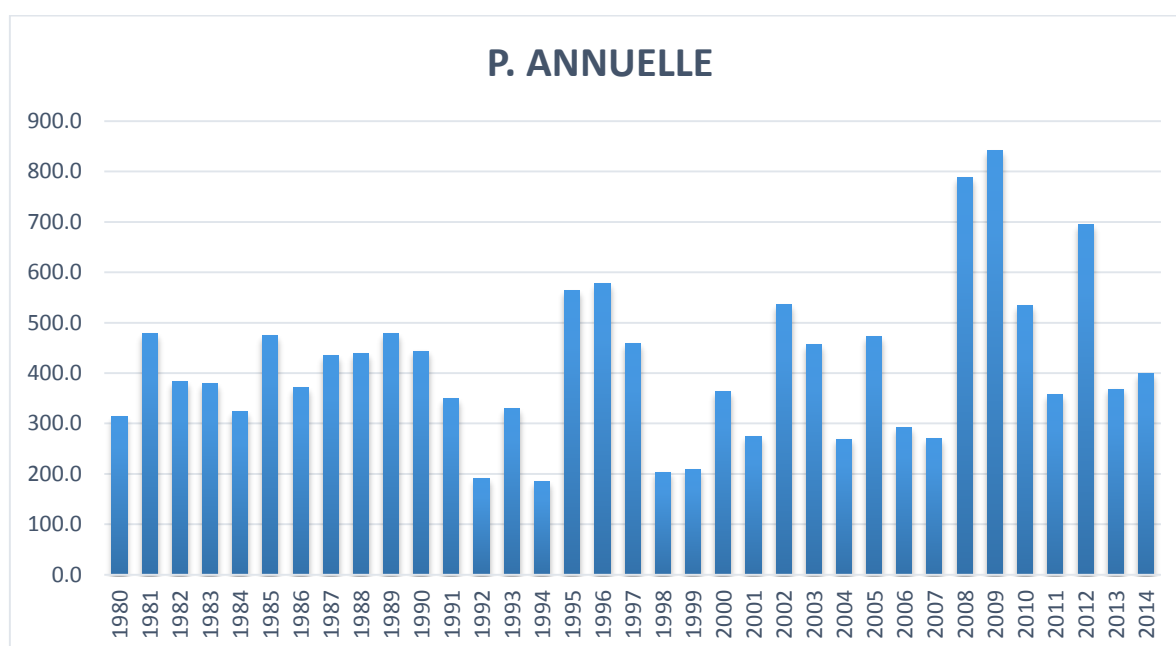


Figure 2 : Précipitations moyennes annuelles de la période de 1980 à 2014. (ABHS)

2.2. Températures

L'hiver est plutôt doux voire froid, et humide. En janvier, les minimales moyennes avoisinent les 4 °C, tandis que les maximales sont légèrement supérieures à 14 °C. En ce qui concerne l'été, les températures moyennes maximales montent jusqu'à 40 °C.

Tableau 1 : Record max et min de la température de la ville de Fès

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Record de chaud	25,0	27,6	30,9 (mars 2008)	37,6 (avril 2011)	40,7 (mai 2012)	43,4	46,9 (juillet 2007)	46,7	42,1	38,4	29,1	26,2
Record de froid	-8,2 (28 janvier 2005)	-5,4	-2,0	0,1	3,2 (mai 2004)	8,2	10,2 (juillet 2007)	10,1	8,3	3,4	-3,2	-5,7

3-Géologie :

La ville de Fès est située à l'extrémité orientale du bassin lacustre de Fès -Meknès orienter SW-NE. Ce bassin occupe la partie centrale d'un sillon dit 'sillon sud rifain'. Ce dernier est inséré entre deux grandes unités structurales, le domaine rifain au Nord et le domaine moyen atlasique au Sud. Le bassin de Fès –Meknès se compose de deux unités structurales : le plateau de Meknès à l'ouest et la plaine de Sais à l'Est, séparée par la flexure de Ain Taoujdade de direction générale WNW-ESE (Taltasse, 1953).

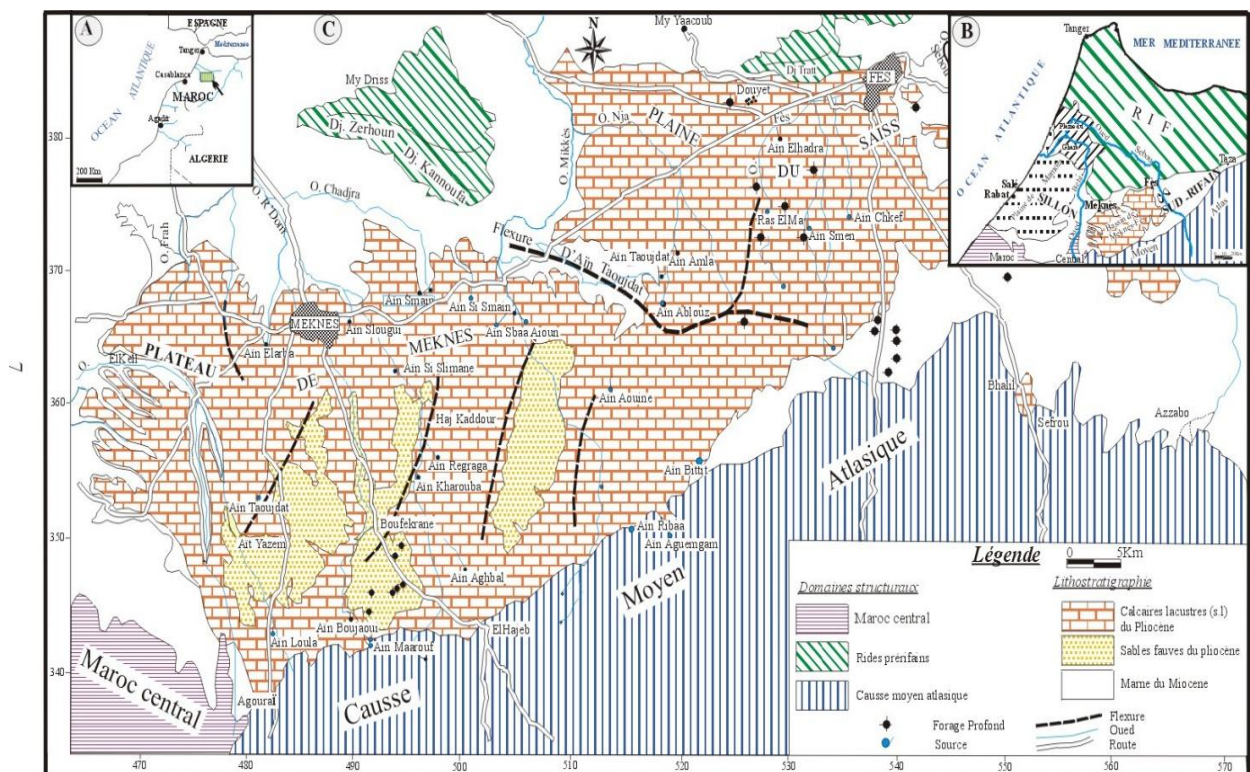


Figure 3 : Carte géologique du bassin Fès-Meknès (Taltasse, 1953, modifié)El Boumeshouli S.M (2010).

- (A) Localisation à l'échelle du Maroc;
- (B) Domaines structuraux qui encadrent le bassin de Meknès-Fès ;
- (C) Unités géologiques du bassin Meknès-Fès.

Cette plaine est formée en profondeur par le même calcaire d'origine marine que celui des causses du Moyen Atlas sur lequel se sont déposés des marnes bleues datées du Miocène. Ces marnes sont surmontées d'une mince couche de calcaires d'origine lacustre (le lac du Sais n'étant plus en communication avec la mer). Une fois le lac asséché, est apparu le plateau calcaire à l'extrémité duquel est construite la ville nouvelle.

Orienté Nord-Est / Sud-Ouest, Le Djebel Zalagh (le bouc en berbère) culmine à 902 mètres (l'altitude de la Médina de Fès est de 375m). C'est une ride pré Rifaine au sud de la chaîne du

même nom. Il correspond aux derniers plissements du Rif dans cette direction. La partie la plus redressée de cet anticlinal est composée des terrains les plus anciens du calcaire jurassique et crétacé. La partie inférieure, la rupture de pente, est composée de terrains tertiaires : les marnes bleues du Miocène.

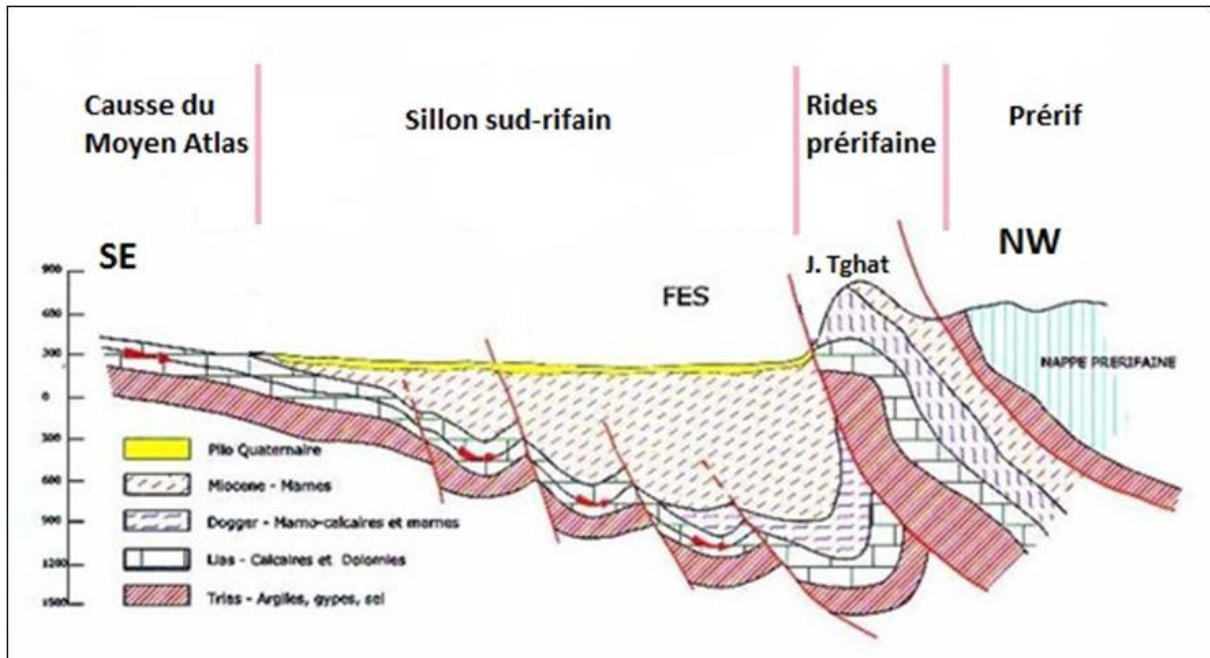


Figure 5 : Coupe géologique du bassin de Saïs de Fès (Reynard et al 2011)

Chapitre 2 : Paramètres physiographiques des bassins versants de la région de Zalagh

1. Caractéristiques morpho-métriques :

On s'est basé sur la carte ci-dessous pour avoir les caractéristiques morpho métriques obtenus par l'Arc gis.

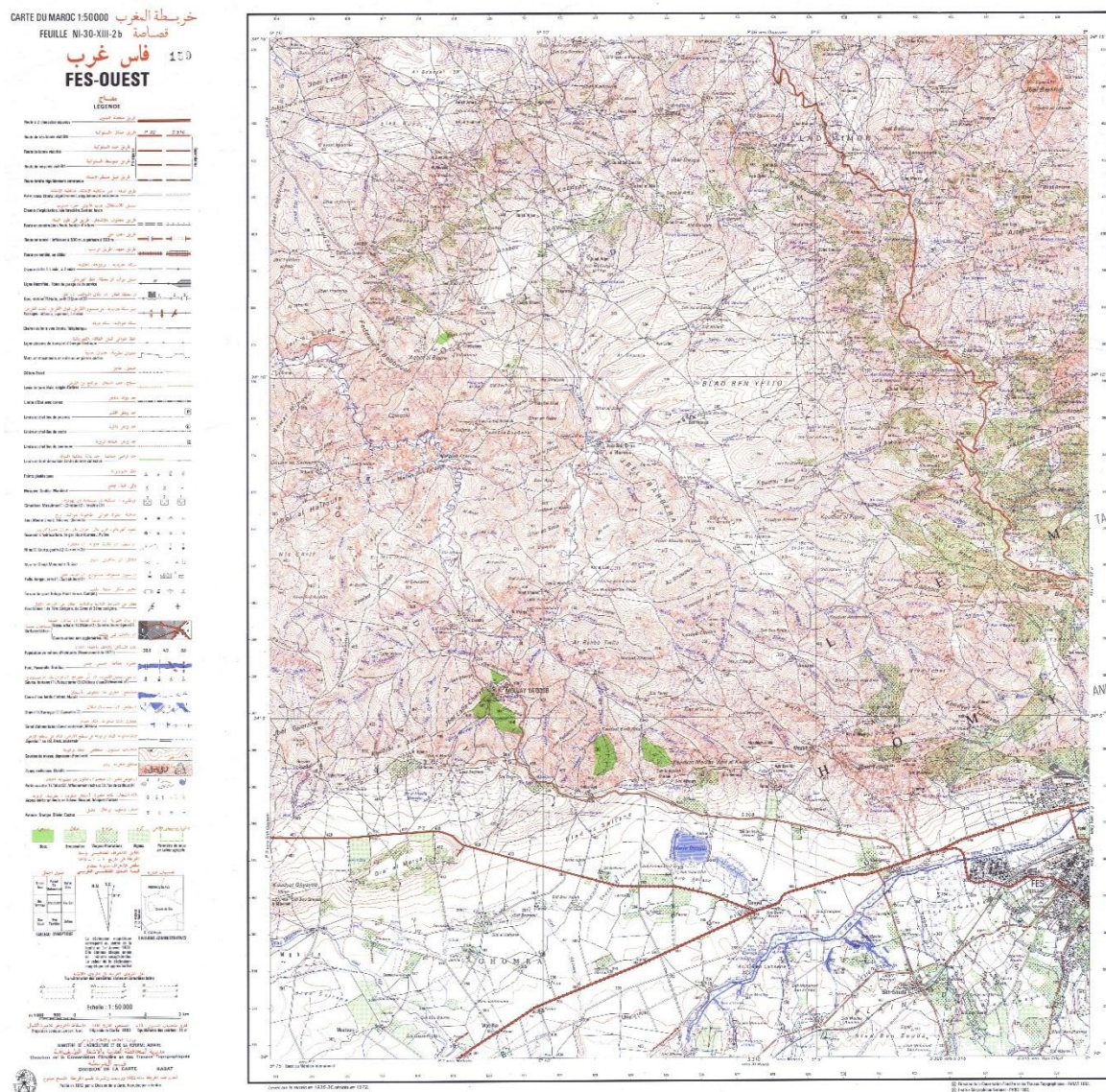


Figure 6 : La carte de Fès Ouest 1/50000

1.1. Surface, périmètre :

Les paramètres physiques du bassin versant ont des conséquences directes sur le comportement hydrologique de celui-ci. On a pu calculer ces caractéristiques automatiquement à l'aide de logiciel Arc gis.

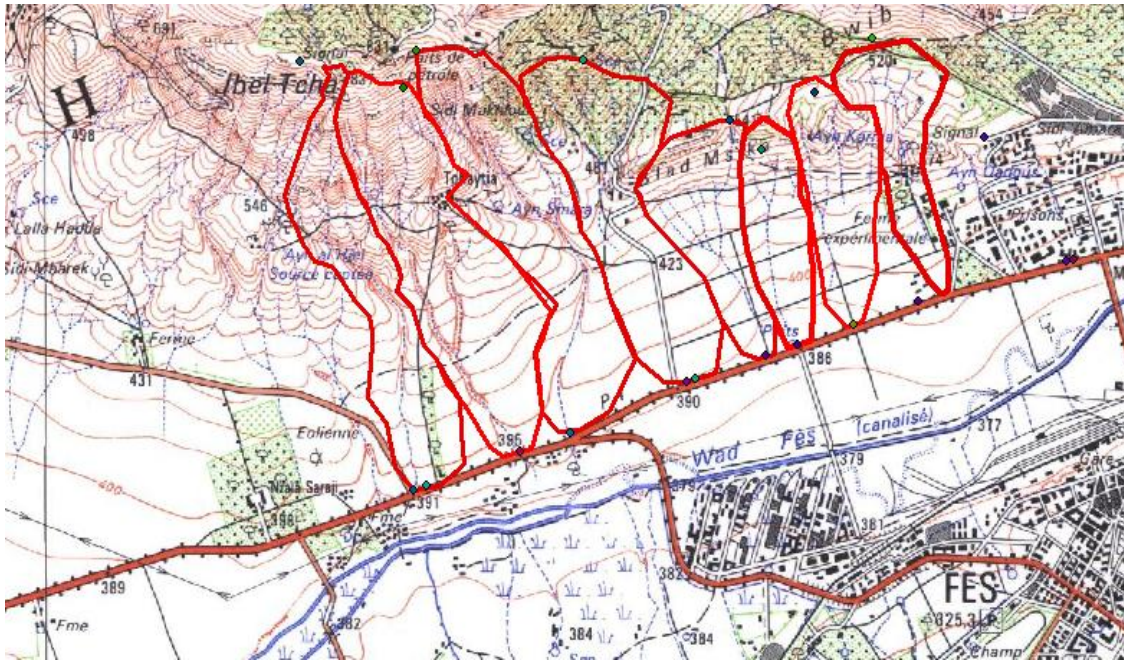


Figure 7 : Délimitation des bassins versants du Zalagh à l'aide du logiciel ArcGIS

1.2. Indice de compacité de CRAVELIUS :

L'indice de compacité de Gravelius (1914) K_G , défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

K_G 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.

1.3. Le rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est une représentation graphique du bassin versant résultant d'une transformation géométrique du bassin réel et conservant son périmètre, sa superficie et sa répartition altimétrique. Ses dimensions sont respectivement :

- longueur : $L = (Kc \text{ racine } S/1,12) (1+\text{racine}1-(1,12/Kc)^2)$
- largeur : $l = (Kc \text{ racine } S/1,12) (1-\text{racine}1-(1,12/Kc)^2)$

Avec S : surface du bassin versant (Km²),

KC : indice de compacité, $KC \geq 1.12$.

2. Les altitudes caractéristiques :

2.1. Les altitudes maximales et minimales :

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas généralement à l'exutoire. Ces deux données sont très importantes car elles interviennent dans le calcul de la pente.

2.2. Les indices de pentes :

La pente moyenne est égale au quotient de la différence entre les hauteurs extrêmes par la longueur du rectangle équivalent. Il nous renseigne sur la topographie du bassin. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct donc sur le temps de concentration T_c .

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

P_{moy} : pente moyenne du bassin(m).

H_{max} : l'altitude maximale du bassin versant (m).

L : longueur du rectangle équivalent (m).

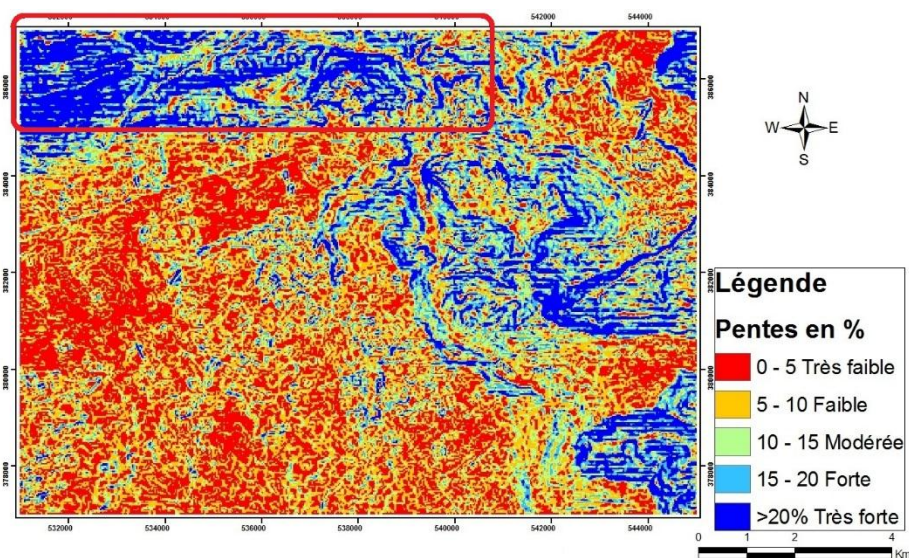


Figure 8 : Carte des pentes de la ville de Fès

3. Résultats :

Les résultats des caractéristiques physiographiques sont présentés dans les tableaux suivants :

- Pour les surfaces et les périmètres :

Tableau 2 : surfaces et périmètres des bassins versants de Zalagh

Nom du bassin	Périmètre en km	Surface (km ²)
BV1	4,113409	0,562716
BV2	3,702467	0,646734
BV3	3,273928	0,504646
BV4	3,920703	0,68631
BV5	5,645178	1,278549
BV6	6,396354	1,433061
BV7	6,211913	1,572845
BV8	6,384231	1,037512

- Pour l'indice de compacité de GRAVELIUS :

Tableau 3 : Les indices de compacités des bassins versants de Zalagh

Nom du bassin	Indice de compacité
BV1	1,54
BV2	1,29
BV3	1,29
BV4	1,33
BV5	1,39
BV6	1,50
BV7	1,38
BV8	1,75

- Pour la longueur et la largeur du rectangle équivalent :

Tableau 4 : longueurs et largeurs du rectangle équivalent pour les bassins versants de Zalagh

Nom du bassin	Longueur du rectangle équivalent (km)	largeur du rectangle équivalent (km)
BV1	1,739380	0,323516
BV2	1,177311	0,396441
BV3	1,224165	0,612228
BV4	1,51433	0,45321
BV5	2,232066	0,5716
BV6	2,669755	0,536777
BV7	2,448047	0,64249
BV8	2,814433	0,368639

➤ Pour les altitudes max et min :

Tableau 5 : Altitudes max et min des bassins versants de Zalagh

Nom du bassin	H max (m)	H min (m)
BV1	530	393
BV2	530	386
BV3	541	385
BV4	540	384
BV5	630	390
BV6	810	392
BV7	830	395
BV8	830	393

➤ Pour les pentes moyennes :

Tableau 6 : Pentes moyennes en (m/m) et (%) des bassins versants de Zalagh

Nom du bassin	Pente moyenne (m/m)	Pente moyenne (%)
BV1	0,09	9
BV2	0,122	12,2
BV3	0,127	12,7
BV4	0,103	10,3
BV5	0,107	10,7
BV6	0,156	15,6
BV7	0,178	17,8
BV8	0,155	15,5

3. Conclusion :

D'après les résultats qu'on a trouvés, on voit que les indices de compacités des bassins versants sont supérieurs à 1, cela veut dire qu'ils ont une forme allongée, ceci favorise les faibles débits de pointe de crues à cause du retard de l'acheminement de l'eau à l'exutoire.

Les caractéristiques physiographiques des bassins versants de Zalagh sont présentées dans le tableau ci-dessous

Tableau 7 : les caractéristiques physiographiques des bassins versants de Zalagh

Nom du bassin	Surface (km²)	longueur (m)	Périmètre (km)	Dénivelée (m)	Indice de compacité	penne moyenne (m/m)
BV1	0,562716	1,739380	4,113409	157	1,54	0,09
BV2	0,646734	1,177311	3,702467	144	1,29	0,122
BV3	0,504646	1,224165	3,273928	156	1,29	0,127
BV4	0,68631	1,51433	3,920703	156	1,33	0,103
BV5	1,278549	2,232066	5,645178	240	1,39	0,107
BV6	1,433061	2,669755	6,396354	418	1,50	0,156
BV7	1,572845	2,448047	6,211913	435	1,38	0,178
BV8	1,037512	2,814433	6,384231	437	1,75	0,155

Chapitre 3 : Etude hydrologique

1. Introduction :

L'objectif de cette étude est de déterminer les débits de pointe (Q_p) des crues de fréquences caractéristiques de Fès.

2. Données d'entrées :

On dispose des pluies journalières maximales annuelles depuis 1980 jusqu'à 2014 de DRH FES station N°3817 qui nous ont été fournis par l'ABHS.

Tableau 8 : Les coordonnées Lambert de cette station (ABHS)

X	Y	Z
53540	38480	415

3. Calcul de temps de concentration :

Le temps de concentration (T_c) ou temps de pointe, est le temps nécessaire pour qu'une particule d'eau provenant de la partie la plus éloignée du bassin pour parvenir à l'exutoire. Son calcul se fait en utilisant les formules suivantes :

- **La formule de Turazza est :**

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

TC: temps de concentration en h

L: Longueur de Talweg en km

S: Surface du BV en km²

I: Pente moyenne en m/m.

- **La formule Ventura est:**

$$T_c = 76,3 * (S/I)^{0,5}$$

TC: temps de concentration en minute.

S: Surface du BV en km².

I: Pente moyenne en m/m.

- **La formule Espagnol est :**

$$T_c = 18 * (L^{0,77}) * (I^{0,1925})$$

TC: temps de concentration en minute.

L: Longueur de Talweg en km.

I: Pente moyenne en m/m.

➤ **La formule Van Te Chow est :**

$$TC=60*0,123*(L*I^{0,5})^{0,64}$$

TC: temps de concentration en minute.

L: Longueur de Talweg en km.

I: Pente moyenne en m/m.

➤ **La formule Californienne est :**

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

TC: temps de concentration en minute.

L: Longueur de Talweg en km.

I: Pente moyenne en m/m.

➤ **La formule de Giordotti est:**

$$TC = (4* S^{0.5}+1.5*L)/(0.8* H^{0.5})$$

TC: temps de concentration en h.

L: Longueur de Talweg en km

S: Surface du BV en km²

H: Dénivelée en m

➤ **La formule d'Us corps est:**

$$TC = 16.682*(L*I^{-0,25}/1000)^{0,77}$$

TC: temps de concentration en minute.

L: Longueur de Talweg en km.

I: Pente moyenne en m/m.

3.1. Résultats :

Après voir faire les calculs, on a trouvé les résultats suivants :

➤ **Pour la formule Turazza et Passini :**

Tableau 9 : Tc des bassins versants étudiés par la formule Turazza

Nom du bassin	Tc en min
BV 1	0,36
BV 2	0,28
BV 3	0,26
BV 4	0,34
BV 5	0,47
BV 6	0,43
BV 7	0,4
BV 8	0,39

➤ **Pour la formule Ventura :**

Tableau 10 : Tc des bassins versants étudiés par la formule Ventura

Nom du bassin	Tc en min
BV 1	0,32
BV 2	0,29
BV 3	0,25
BV 4	0,33
BV 5	0,44
BV 6	0,38
BV 7	0,38
BV 8	0,33

➤ **Pour la formule Espagnol :**

Tableau 11 : Tc des bassins versants étudiés par la formule Espagnol

Nom du bassin	Tc en min
BV 1	0,73
BV 2	0,51
BV 3	0,52
BV 4	0,64
BV 5	0,85
BV 6	0,91
BV 7	0,83
BV 8	0,95

➤ **Pour la formule Van Te Chow :**

Tableau 12 : Tc des bassins versants étudiés par la formule de Van Te Chow

Nom du bassin	Tc en min
BV 1	0,38
BV 2	0,27
BV 3	0,27
BV 4	0,33
BV 5	0,42
BV 6	0,42
BV 7	0,38
BV 8	0,43

➤ **Pour la formule Californienne :**

Tableau 13 : Tc des bassins versants étudiés par la formule Californienne

Nom du bassin	Tc en min
BV 1	0,09
BV 2	0,07
BV 3	0,08
BV 4	0,08
BV 5	0,11
BV 6	0,15
BV 7	0,15
BV 8	0,16

➤ **La formule Giandotti :**

Tableau 14 : Tc des bassins versants étudiés par la formule de Giandotti

Nom du bassin	Tc en min
BV 1	0,59
BV 2	0,52
BV 3	0,47
BV 4	0,56
BV 5	0,63
BV 6	0,5
BV 7	0,52
BV 8	0,5

3.2. Conclusion :

Le tableau ci-dessous résume les calculs avec leurs formules utilisées :

Tableau 15 : Le temps de concentration des bassins versants de Zalagh en minutes

Nom du bassin	Turazza & Passini	Formule Californienne	Van Te Chow	Formule Espagnol	Formule d'Us Corps	Ventura	Giandotti:	Valeur Du projet
BV1	0,36	0,09	0,38	0,73	0,68	0,32	0,59	0,45
BV2	0,28	0,07	0,27	0,51	0,47	0,29	0,52	0,34
BV3	0,26	0,08	0,27	0,52	0,48	0,25	0,47	0,33
BV4	0,34	0,08	0,33	0,64	0,59	0,33	0,56	0,41
BV5	0,47	0,11	0,42	0,85	0,79	0,44	0,63	0,53
BV6	0,43	0,15	0,42	0,91	0,85	0,38	0,5	0,52
BV7	0,4	0,15	0,38	0,83	0,77	0,38	0,52	0,49
BV8	0,39	0,16	0,43	0,95	0,88	0,33	0,5	0,52

La valeur du projet est obtenue par le calcul de la moyenne des valeurs proches de temps de concentration.

N. B : La formule californienne est une méthode utilisée pour les bassins qui se trouvent dans un milieu saharien, c'est pour cela on a des valeurs qui sont très faibles dans les calculs

4. Calcul des débits de pointe par les formules usuelles

Les méthodes de calcul recensées en utilisant différentes formules tiennent compte de deux facteurs essentiels :

- La morphologie du bassin versant, par le biais de sa surface et /ou de sa longueur.
- Le gradient topographique du bassin versant par le biais de sa pente ou de sa dénivelée.

Les débits retenus sont ceux calculées par ces formules dont les limites de validité dépendent essentiellement de la taille des bassins. Suivant ce critère, on distingue deux classes de bassin à chacune on applique les formules appropriées :

- Petits bassins versants (<100 ha)
 - ✓ Mac Math.
 - ✓ Rationnelle.
- Grands bassins versants (>100ha)
 - ✓ Rationnelle.
 - ✓ Fuller II
 - ✓ Hazan Lazarevic.

Notre zone d'étude contient quatre bassins versants qui sont inférieurs à 100 ha et quatre bassins qui sont supérieurs à 100 ha, donc on va utiliser toutes les méthodes situées ci-dessus.

Rationnelle :

Cette méthode est adaptée aux bassins versants dont la superficie n'excède pas 150 Km². Elle suppose que le débit de pointe de ruissellement ne peut être observé à l'exutoire d'un bassin versant que lorsque toute la superficie y contribue. Ceci est vrai si la durée de l'averse est uniforme, généralisée et au moins égale au temps de concentration t_c du bassin en question.

Si on admet que la période de retour du débit maximum déterminé est égale à celle de la pluie maximale au cours de la durée t_c , le débit de pointe pour une période de retour T s'écrit :

$$Q_{max}(T) = C(T) * P(t_c, T) * S / 3,6 * T_c$$

S : surface du bassin versant en km²

$P(t_c, T)$: intensité maximale correspondant au t_c de période de retour T

T_c : temps de concentration (heures)

$C(T)$: coefficient de ruissellement qui dépend de la période de retour T . les coefficients retenus sont issus de l'étude de crues au niveau du bassin de Sebou :

Tableau 16 : Coefficient de ruissellement de la ville de Fès en fonction de période de retour

Période de retour T (an)	10	20	50	100
C (T)	30%	40%	50%	55%

Tableau 17 : Coefficient de Montana

Période de retour T (an)	10	20	50	100
a	6,794	8,106	9,808	11,085
b	0,672	0,673	0,673	0,674

On a fait l'ajustement par la loi de Gumbel pour avoir les pluies journalières max pendant 10 /20/50/100 ans. (Voir annexes)

$$Or : P(T_c, T) = P_{24h} \times (T_c/24h)^{b(T)}$$

P_{24h} : déduites des quantiles déterminées par la loi d'ajustement des précipitations ($P_{24h} = 1,15P_{jmax}$)

Tableau 18 : Les pluies journalières max et les pluies de 24h

Période de retour T (an)	10	20	50	100
P _{jmax} (T) en mm	84.20263	95.73356	110.6592	121.8438
P 24h (T) en mm	96,83	110,09	127,26	140,12

Mac Math.

$$Q_t = K \times P \times (A^{0,58}) \times (I^{0,42})$$

Q_t : Débit max en l/s pour une période de retour donnée.

A : superficie du bassin versant en ha.

P : précipitation maximale n mm tombée en 24 h sur le bassin versant.

I : pente moyenne du bassin versant en millième (°/°°).

K : coefficient dépendant de la topographie et de la nature du Bv. K=0,35 pour notre région

Formule de Fuller II :

$$Q(T) = (1+a \times \log(T)) \times (S^{0,8} + 8/3 \times S^{0,5}) \times 4/3 \times N/100$$

Q(T) : débit de pointe.

T : période de retour.

a : coefficient régional fonction du climat, dans notre cas a=0,8 région aride.

S : superficie du bassin en Km².

N coefficient régional fonction de relief.

Hazan Lazarevic

$$Q(T) = Q(1000) \times (1+a \times \log(T)) / (1+a \times \log(1000))$$

Q(T) : Débit de pointe n m³/s de récurrence T.

Q(1000) = k₁ * S^{k₂} avec Q(1000) : Débit de pointe en m³/s de récurrence 1000 ans

S : superficie du bassin versant en km²

K₁ : 13,51 k₂ : 0,613

a : nous prenons a=2

Mallet Gautier :

$$Q(T) = 2 \times K \times \text{Log}(1+a \times H) \times (S/\text{Racine}(L)) \times \text{Racine}((1+4 \times \text{Log}(T)) - \text{Log}(S))$$

Q: Débit de pointe m³/s pour une période de retour donnée.

S: Superficie du bassin versant en km².

T: Période de retour égale (10, 20, 50, 100).

a : coefficient égale à 20 au Maroc.

L: Longueur du drain principal en km.

H : hauteur moyenne annuelle de pluie en m.

K : coefficient égale à 2 au Maroc.

5. Résultats :

➤ Pour la méthode Rationnelle

Tableau 19 : Débit de pointe des bassins versants en m³/s pour 10ans

Nom du bassin	S	Tc	Qt
BV1	0,562716	0,075	2,69
BV2	0,646734	0,006	3,33
BV3	0,504646	0,005	2,68
BV4	0,68631	0,007	1,12
BV5	1,278549	0,009	5,79
BV6	1,433061	0,009	6,47
BV7	1,572845	0,008	8,05
BV8	1,037512	0,009	4,7

Tableau 20 : Débit de pointe des bassins versants en m³/s pour 20ans

Nom du bassin	S	Tc	Qt
BV1	0,562716	0,075	4
BV2	0,646734	0,006	5,07
BV3	0,504646	0,005	3,98
BV4	0,68631	0,007	5,04
BV5	1,278549	0,009	8,68
BV6	1,433061	0,009	9,74
BV7	1,572845	0,008	12,16
BV8	1,037512	0,009	7,07

Tableau 21 : Débit de pointe des bassins versants en m³/s pour 50ans

Nom du bassin	S	Tc	Qt
BV1	0,562716	0,075	5,73
BV2	0,646734	0,006	5,26
BV3	0,504646	0,005	6,21
BV4	0,68631	0,007	7,28
BV5	1,278549	0,009	12,46
BV6	1,433061	0,009	14
BV7	1,572845	0,008	15,2
BV8	1,037512	0,009	10,17

Tableau 22 : Débit de pointe des bassins versants en m³/s pour 100ans

Nom du bassin	S	Tc	Qt
BV1	0,562716	0,075	6,87
BV2	0,646734	0,006	6,42
BV3	0,504646	0,005	6,87
BV4	0,68631	0,007	10,36
BV5	1,278549	0,009	15,04
BV6	1,433061	0,009	16,92
BV7	1,572845	0,008	20,99
BV8	1,037512	0,009	12,29

➤ **Pour la formule Mac Math**

Tableau 23 : Débit de pointe des bassins versants en m³/s pour 10ans

Nom du bassin	S	I ‰	Qp en m ³ /s
BV1	56,2716	0,009	0,048
BV2	64,6734	0,112	0,151
BV3	50,4646	0,127	0,14
BV4	68,631	0,103	0,151

Tableau 24 : Débit de pointe des bassins versants en m³/s pour 20ans

Nom du bassin	S	I ‰	Qp en m ³ /s
BV1	56,2716	0,009	0,055
BV2	64,6734	0,112	0,172
BV3	50,4646	0,127	0,157
BV4	68,631	0,103	0,172

Tableau 25 : Débit de pointe des bassins versants en m³/s pour 50ans

Nom du bassin	S	I ‰	Qp en m ³ /s
BV1	56,2716	0,009	0,063
BV2	64,6734	0,112	0,2
BV3	50,4646	0,127	0,182
BV4	68,631	0,103	0,2

Tableau 26 : Débit de pointe des bassins versants en m3/s pour 100ans

Nom du bassin	S	I ‰	Qp en m3/s
BV1	56,2716	0,009	0,07
BV2	64,6734	0,112	0,22
BV3	50,4646	0,127	0,2
BV4	68,631	0,103	0,22

➤ **Pour la formule de Fuller II :**

Tableau 27 : Débit de pointe des bassins versants en m3/s pour 10ans

Nom du bassin	S	Qp en m3/s
BV5	1,278549	8,63
BV6	1,433061	9,23
BV7	1,572845	9,75
BV8	1,037512	7,64

Tableau 28 : Débit de pointe des bassins versants en m3/s pour 20ans

Nom du bassin	S	Qp en m3/s
BV5	1,278549	9,79
BV6	1,433061	10,47
BV7	1,572845	11,06
BV8	1,037512	8,66

Tableau 29 : Débit de pointe des bassins versants en m3/s pour 50ans

Nom du bassin	S	Qp en m3/s
BV5	1,278549	11,32
BV6	1,433061	12,10
BV7	1,572845	12,78
BV8	1,037512	10,02

Tableau 30 : Débit de pointe des bassins versants en m3/s pour 100ans

Nom du bassin	S	Qp en m3/s
BV5	1,278549	12,47
BV6	1,433061	13,3
BV7	1,572845	14,08
BV8	1,037512	11,04

➤ **Pour la formule de Hazan Lazarevic**

Tableau 31 : Débit de pointe des bassins versants en m3/s pour 10ans

Nom du bassin	S	Qp en m3/s
BV5	1,278549	6,73
BV6	1,433061	7,22
BV7	1,572845	7,64
BV8	1,037512	5,92

Tableau 32 : Débit de pointe des bassins versants en m3/s pour 20ans

Nom du bassin	S	Qp en m3/s
BV5	1,278549	8,07
BV6	1,433061	8,47
BV7	1,572845	9,16
BV8	1,037512	7,10

Tableau 33 : Débit de pointe des bassins versants en m3/s pour 50ans

Nom du bassin	S	Qp en m3/s
BV5	1,278549	9,87
BV6	1,433061	10,57
BV7	1,572845	11,20
BV8	1,037512	8,68

Tableau 34 : Débit de pointe des bassins versants en m3/s pour 100ans

Nom du bassin	S	Qp en m3/s
BV5	1,278549	47,13
BV6	1,433061	50,52
BV7	1,572845	53,49
BV8	1,037512	41,46

➤ **Pour la formule Mallet Gautier :**

Tableau 35 : Débit de pointe des bassins versants en m3/s pour 10ans

Nom du bassin	S (km2)	L (km)	Qp en m3/s
BV5	1,278549	2,232066	7,96
BV6	1,433061	2,669755	8,33
BV7	1,572845	2,448047	9,28
BV8	1,037512	2,814433	5,80

Tableau 36 : Débit de pointe des bassins versants en m3/s pour 20ans

Nom du bassin	S (km2)	L (km)	Qp en m3/s
BV5	1,278549	2,232066	8,16
BV6	1,433061	2,669755	8,12
BV7	1,572845	2,448047	9,52
BV8	1,037512	2,814433	5,94

Tableau 37 : Débit de pointe des bassins versants en m3/s pour 50ans

Nom du bassin	S (km2)	L (km)	Qp en m3/s
BV5	1,278549	2,232066	8,42
BV6	1,433061	2,669755	8,59
BV7	1,572845	2,448047	9,52
BV8	1,037512	2,814433	6,12

Tableau 38 : Débit de pointe des bassins versants en m3/s pour 100ans

Nom du bassin	S (km2)	L (km)	Qp en m3/s
BV5	1,278549	2,232066	8,61
BV6	1,433061	2,669755	8,79
BV7	1,572845	2,448047	10,05
BV8	1,037512	2,814433	6,26

6. Conclusion :

Les résultats ont été regroupés dans les tableaux suivants pour calculer les débits moyens.

On n'a pas pris les résultats de la formule Mac Math, car ils sont très faibles par rapport aux résultats de la Rationnelle.

Pour les débits moyens de 100 ans, on n'a pas pris les résultats de Hazan Lazarevic car ils ont augmenté d'une manière très rapide, c'est une formule exponentielle.

Tableau 39 : Débit moyen des bassins versants en m3/s pour 10ans

Nom du bassin	Rationnelle	Fuller II	Hazan Lazarevic	Mallet Gautier	Qmoy
BV1	2,69	-----	-----	-----	2,69
BV2	3,33	-----	-----	-----	3,33
BV3	2,68	-----	-----	-----	2,68
BV4	1,12	-----	-----	-----	1,12
BV5	5,79	8,63	6,73	7,96	7,28
BV6	6,47	9,23	7,22	8,33	7,81
BV7	8,05	9,75	7,64	9,28	8,68
BV8	4,7	7,64	5,92	5,80	6,01

Tableau 40 : Débit moyen des bassins versants en m3/s pour 20ans

Nom du bassin	Rationnelle	Fuller II	Hazan Lazarevic	Mallet Gautier	Qmoy
BV1	4	-----	-----	-----	4
BV2	5,07	-----	-----	-----	5,07
BV3	3,98	-----	-----	-----	3,98
BV4	5,04	-----	-----	-----	5,04
BV5	8,68	9,79	8,07	8,16	8,67
BV6	9,74	10,47	8,47	8,12	9,2
BV7	12,16	11,06	9,16	9,52	10,47
BV8	7,07	8,66	7,10	5,94	7,19

Tableau 41 : Débit moyen des bassins versants en m3/s pour 50ans

Nom du bassin	Rationnelle	Fuller II	Hazan Lazarevic	Mallet Gautier	Qmoy
BV1	5,73	-----	-----	-----	5,73
BV2	5,26	-----	-----	-----	5,26
BV3	6,21	-----	-----	-----	6,21
BV4	7,28	-----	-----	-----	7,28
BV5	12,46	11,32	9,87	8,42	10,45
BV6	14	12,10	10,57	8,59	11,61
BV7	15,2	12,78	11,20	9,52	12,17
BV8	10,17	10,02	8,68	6,12	8,75

Tableau 42 : Débit moyen des bassins versants en m³/s pour 100ans

Nom du bassin	Rationnelle	Fuller II	Mallet Gautier	Qmoy
BV1	6,87	-----	-----	6,87
BV2	6,42	-----	-----	6,42
BV3	6,87	-----	-----	6,87
BV4	10,36	-----	-----	10,36
BV5	15,04	12,42	8,61	12,02
BV6	16,92	13,3	8,79	13,00
BV7	20,99	14,08	10,05	15,04
BV8	12,29	14,04	6,23	10,85

Conclusion générale :

Au milieu du vingtième siècle la ville de Fès a connue plusieurs crues qui ont causé des dégâts colossaux (matérielles et humaines). Cette période coïncide avec l'expansion de l'agglomération urbaine sur des zones à risques d'inondations, notamment les Oueds de Sud et les versants de Nord (Jbel Zalagh et Jbel Tghat).

Les bassins versants de Jbel Zalagh ont une forme allongée, sur une superficie totale de 7,7 km², avec des pentes moyennes (entre 9%et 15%).

Les valeurs de temps de concentration obtenus d'après les formules qu'on a utilisé sont très rapprochées (entre 0,33 min et 0,53min), ce qui avait une influence sur les résultats des débits calculés.

La maitrise et l'atténuation des conséquences des inondations provoquées par ces bassins nécessitent un suivi hydrologique continu .Ceci devra obligatoirement passer par la mesure et l'analyse des variables hydro-pluviométriques qui gouverne tout le processus de genèse des crues. Cela nécessite, en plus d'un équipement expérimental consistant, des outils informatiques adaptés pour l'analyse, le traitement des données et l'élaboration de consignes d'aide à la prévision hydrologique et la gestion de risque d'inondation.

Annexes

Présentation de l'organisme d'accueil :

L'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou est un établissement public doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière.

Elle 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 dans le but d'un développement durable. 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.

Elle 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

1-2) Missions:

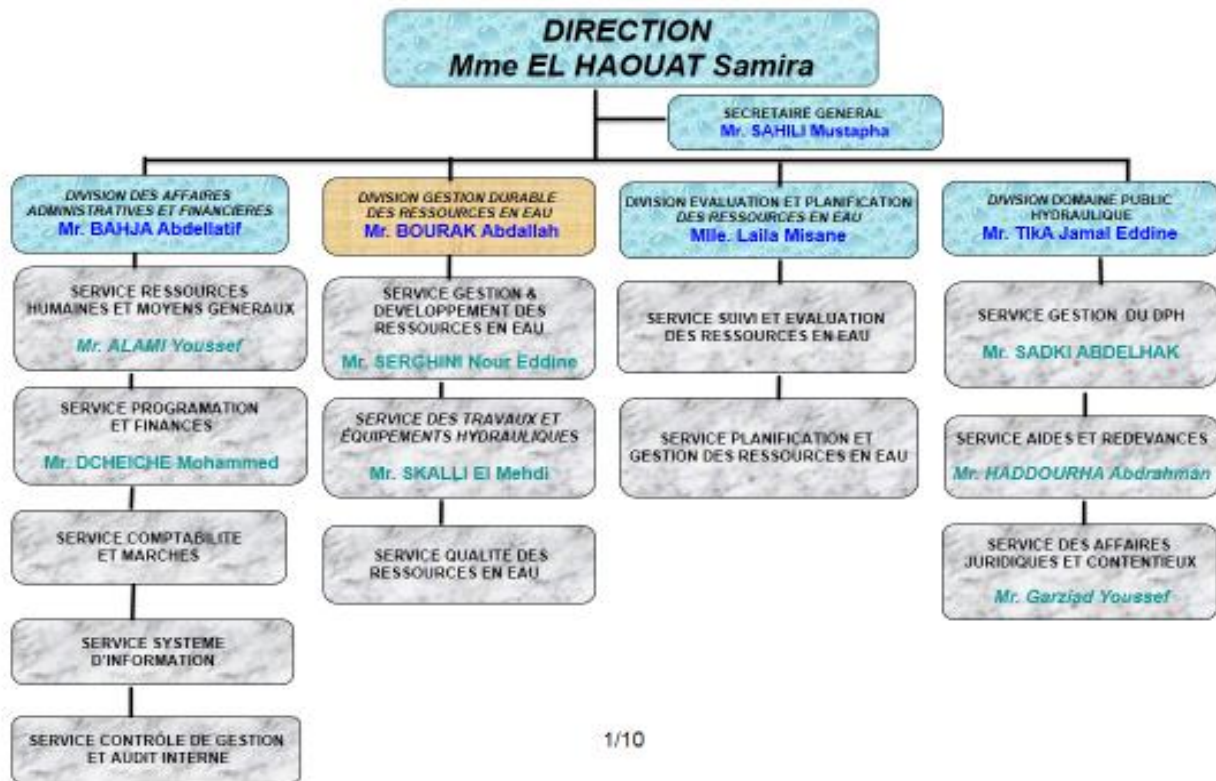
Organise le développement des Ressources en Eau.

Veille à la sécurité de la ressource et du patrimoine.

Est au service des tiers.

1-3) Organisme structurel de l'ABHS:

L'organigramme de l'Agence du Bassin hydraulique du Sebou se compose de quatre divisions comme on le voit dans le schéma ci-dessous :

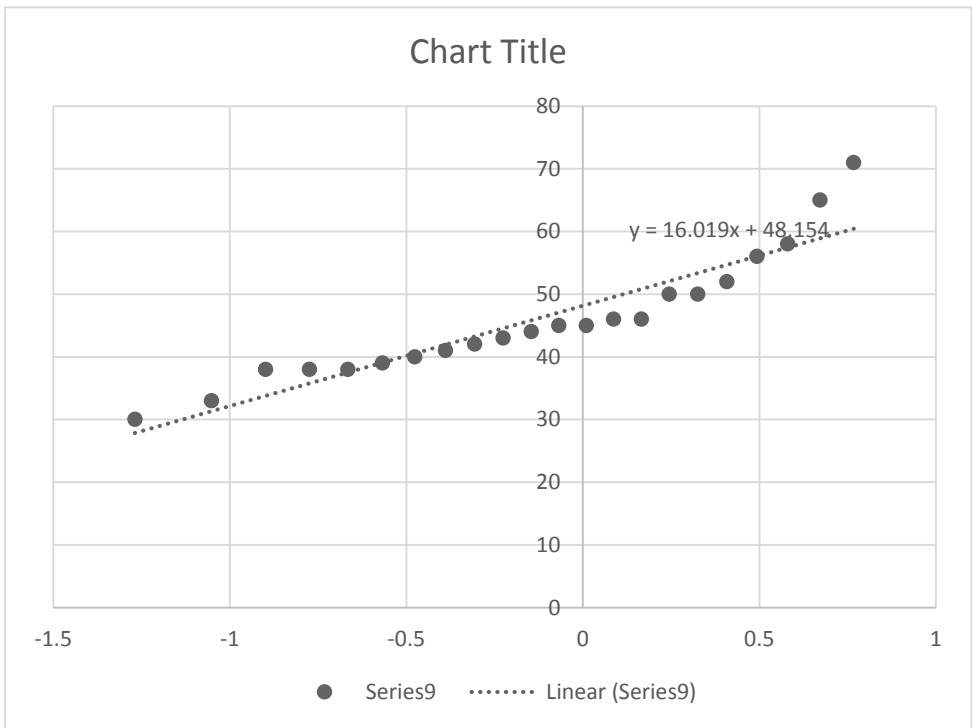


L'ajustement pour le calcul du débit par la méthode rationnelle

La loi de Gumbel une distribution de probabilité continue, peut, par exemple, servir à prévoir le niveau des crues d'un fleuve, si on possède le relevé des débits sur dix ans. Elle peut aussi servir à prédire la probabilité d'un événement critique, comme un tremblement

rang	Année	Pjmax	i/n+1	-Ln (-Ln (i/n+1))	Pjmax= aC+b
1	1992	18	0.028571	-1.26845	27.83465
2	1994	19	0.057143	-1.05159	31.30857
3	1999	19	0.085714	-0.89883	33.75559
4	1983	26	0.114286	-0.77429	35.75063
5	1993	28	0.142857	-0.66573	37.48967
6	1991	29	0.171429	-0.56735	39.06561
7	1998	29	0.2	-0.47588	40.5308
8	2004	29	0.228571	-0.38927	41.91825
9	1981	30	0.257143	-0.3061	43.25052
10	2000	31	0.285714	-0.22535	44.54409
11	1985	32	0.314286	-0.14622	45.81167
12	2014	33	0.342857	-0.06807	47.06357
13	1980	37	0.371429	0.009648	48.30855
14	1988	38	0.4	0.087422	49.55441
15	1996	38	0.428571	0.165703	50.8084
16	1997	38	0.457143	0.24493	52.07753
17	2005	38	0.485714	0.325544	53.36888
18	2001	39	0.514286	0.408004	54.68981
19	2007	40	0.542857	0.492807	56.04828
20	1990	41	0.571429	0.580505	57.45311
21	1995	42	0.6	0.671727	58.91439
22	2003	43	0.628571	0.767212	60.44397
23	1986	44	0.657143	0.867849	62.05607
24	1987	45	0.685714	0.97473	63.7682
25	2008	45	0.714286	1.08924	65.60253
26	2006	46	0.742857	1.213177	67.58788
27	2011	46	0.771429	1.348955	69.76292
28	1989	50	0.8	1.49994	72.18154
29	2013	50	0.828571	1.671036	74.92232
30	2010	52	0.857143	1.869825	78.10672
31	1984	56	0.885714	2.108987	81.93786
32	2002	58	0.914286	2.412264	86.79606
33	1982	65	0.942857	2.832925	93.53462
34	2012	71	0.971429	3.540889	104.8755

T	F	U	Pjmax(T)
2	0.50	0.366513	54.02517
5	0.80	1.49994	72.18154
10	0.90	2.250367	84.20263
20	0.95	2.970195	95.73356
50	0.98	3.901939	110.6592
100	0.99	4.600149	121.8438
1000	0.999	6.907255	158.8013
5000	#####	8.517093	184.5893
10000	#####	9.21029	195.6936



Références bibliographiques

El Boumeshouli S.M, (2010). Etude géotechnique du sous-sol urbain de la ville de Fès et cartographie des zones à risques moyennant le système d'information géographique (SIG)

L'agence du Bassin Hydraulique du Sebou

JALOUNI A, (2015) : Contribution à la mise à jour du zoning géotechnique de la ville de Fès

Webographie :

<http://fr.wikipedia.org/>

<http://la.climatologie.free.fr/inondation/inondation3.htm>