



Année Universitaire : 2013-2014

Licence Sciences et Techniques : Eau et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Licence Sciences et
Techniques

ETUDE DES RISQUES D'INONDATION MENACANT LA VILLE DE FES

Présenté par:
Nizar RMILI

Youssef LOTFI LQORI

Encadré par:

-Prof. Hassan TABYAOUI, FST – Fès

-Leila MIZANE, ABHS, Fès

Soutenu Le **9 Juin 2014** devant le jury composé de:

- | | |
|----------------------|---------------------|
| - Prof.H.TABYAOUI | Encadrant |
| - Prof.F.EL HAMMICHI | Examineur |
| - Prof.A.CHAOUNI | Examineur |
| - Mlle.M.LAHSAINI | Co-Encadrant |
| - Leila MIZANE | Encadrant |

Stage effectué à : ABHS, Fès





RESUME

L'étude menée dans le cadre de mon travail de fin d'étude prend part dans le programme national de lutte contre les risques naturels et la protection des villes marocaines exposées à ces risques.

Elle concerne plus spécifiquement le contexte particulier de la ville de Fès. Cette dernière se caractérise par des crues historiques fortes et par une vulnérabilité importante.

Cette étude a pour objectif l'étude de mise en place d'un dispositif de prévision et d'alerte aux crues pour la ville de Fès.



DEDICACE

À nos très chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'estime, le dévouement et le respect qu'on vous porte acceptez ce modeste travail en reconnaissance du sacrifice et de l'effort que vous n'avez cessé de déployer

*Vous méritez tout éloge, vous qui avez fait de nous ce que nous sommes, nous ne pouvons le reconnaître en quelques lignes, nous espérons être à la hauteur de l'image que vous vous êtes faite de nous
Puisse Dieu vous donner longue vie pour qu'on puisse vous combler
à notre tour*

À nos frères et sœurs bien aimés.

En vous souhaitant courage et succès dans l'avenir.

À tous les membres de nos familles

Que ce travail soit l'aboutissement de votre soutien et de votre encouragement.

À nos amis

À tous ceux qui nous aiment



Youssef

Nizar

REMERCIEMENT

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

En premier lieu, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers notre encadrant, **Mr. HASSAN TABYAOUI**, pour sa disponibilité, ses conseils, ses critiques constructives ainsi que son grand soutien pour pouvoir mener à terme ce travail.

Ensuite, Nous tenons à remercier vivement notre encadrant **Mme. LAILA MIZANE**, chef de service de qualité des eaux à l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou, pour son aide précieuse et sa disponibilité sans faille.

Le présent rapport n'aurait pu être réalisé sans l'aide précieuse de **Mlle. MERIAM LAHSAINI**, doctorante à la faculté des sciences et technique, que nous la remercions infiniment.

Nous tenons aussi à remercier **Mr. OMAR EL AROUSSI**, pour son aide.



Nous ne saurons terminer ces remerciements sans un mot de gratitude à l'ensemble de nos professeurs de l'option Eau et environnement, Département de géologie et à tous ceux qui nous ont apporté concours dans la poursuite de notre travail de projet de fin d'études.

infiniment.

Merci

INTRODUCTION GENERALE

L'eau, source de vie, a pour origine principale la pluie. Cependant au cours des épisodes pluvieux les zones réceptrices sont souvent risquées par les inondations qui menacent la vie humaine ainsi que leurs secteurs d'activités.

Les phénomènes hydrométéorologiques extrêmes que connaît dernièrement le Maroc, perturbent de manière notoire le cycle hydrologique saisonnier au niveau de l'ensemble des bassins hydrographiques du pays. Ce qui impose d'importantes contraintes sur les ressources en eau, entre autres la génération de crues dévastatrices. De ce fait, il s'avère indispensable de recourir à une gestion et une planification adaptative de ces ressources en vue de renforcer la protection contre les inondations des zones vulnérables.

Ce projet dont l'objectif principal est la protection d'une partie de la ville de Fès contre les inondations.

Le but de ce rapport est de comparer plusieurs études hydrologiques et hydrauliques en vue de corriger en cas d'incompatibilité les caractéristiques



physiographiques du bassin versant et qui vont nous informer sur son comportement en cas de crue.

Le présent rapport comprend trois chapitres qui sont les suivants :

- le premier chapitre est dédié à la collecte de l'ensemble des données naturelles disponibles sur la région, à savoir les données géomorphologiques, géologiques, et climatiques.
- Le deuxième chapitre est consacré pour l'étude hydrologique du bassin versant en s'appuyant sur l'analyse du réseau hydrographique du bassin ainsi que les résultats de débits de crue.
- Le troisième chapitre présente une étude hydraulique comparative du bassin versant selon deux approches différentes.



CHAPITRE I : CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

I. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

I.1 Situation géographique du bassin de l'oued el Himer

Le bassin de l'oued el Himer se situe entre sillon pré-rifain au nord et l'Atlas au Sud (Moyen Atlas). Il est d'une superficie de 80.74 km², Cette zone est drainée par plusieurs affluents. (Figure.1) :

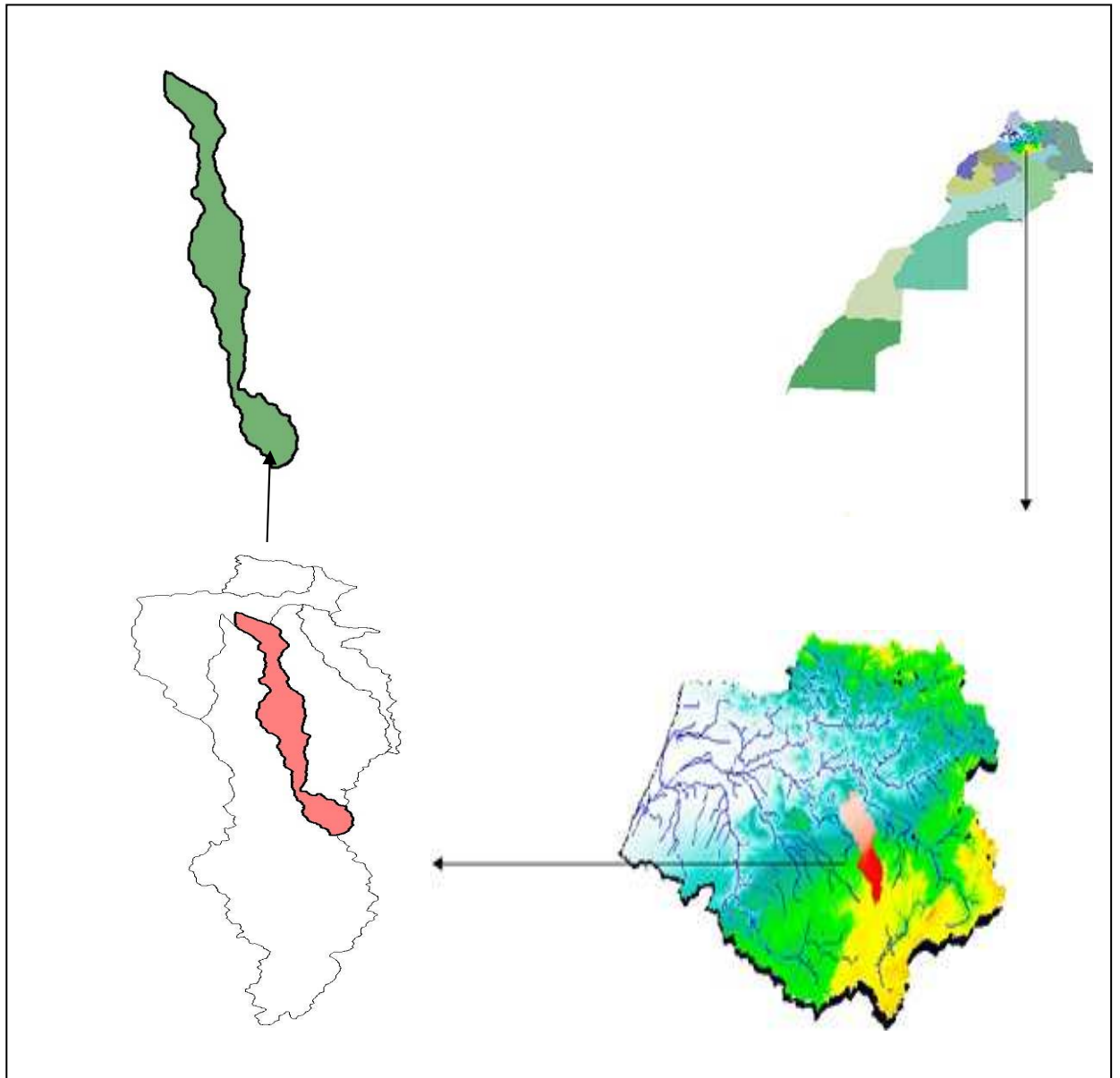


Figure 1: Carte de situation du bassin versant de l'Oued el Himer

I.2 Relief :

Le relief du bassin versant de l'Oued El Himer est montagneux en amont qui se décline progressivement vers l'aval, où on trouve les plaines.

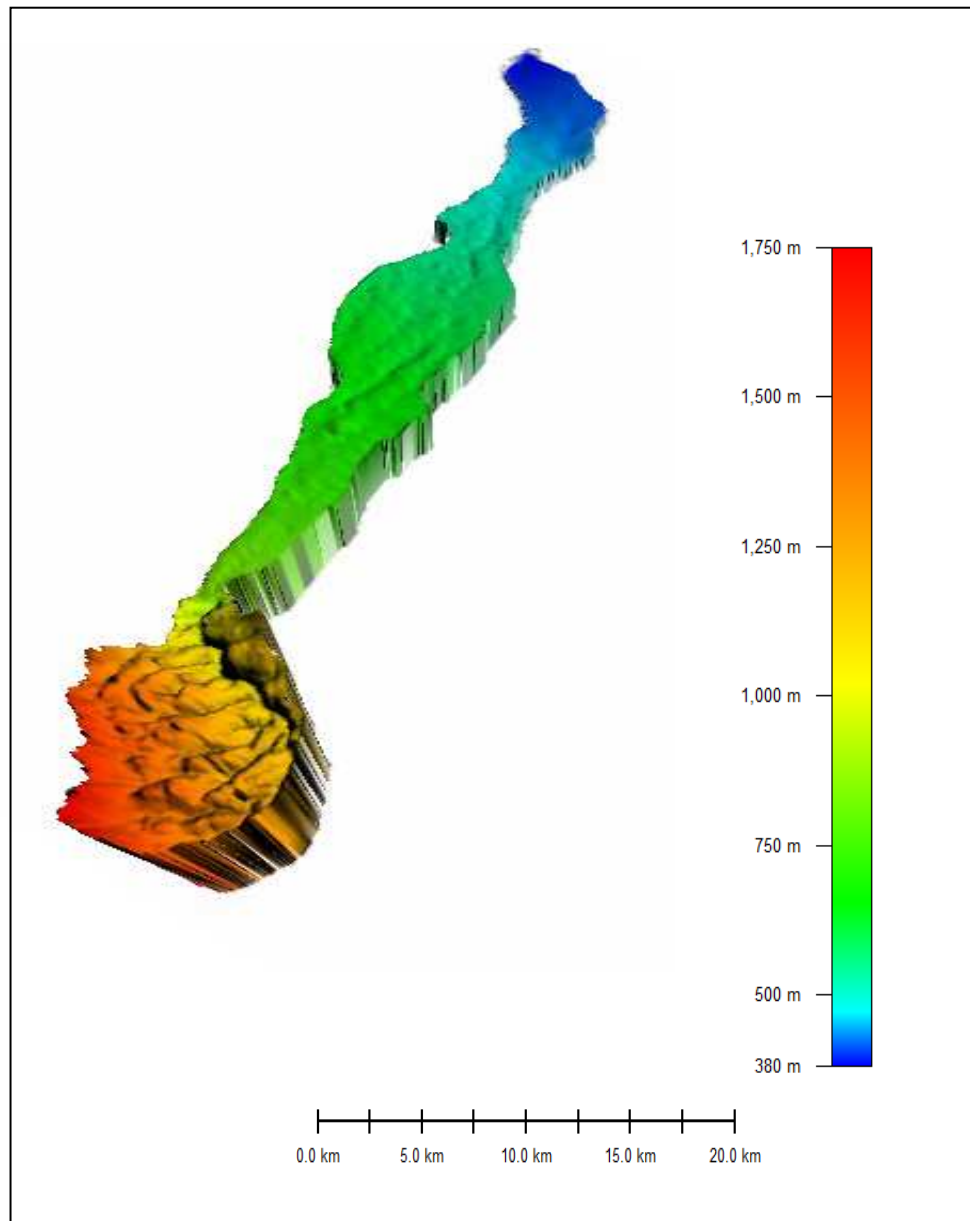


Figure 2 : MNT du bassin versant de l'oued el Himer

I.3 Hypsométrie

La carte hypsométrique est nécessaire pour avoir une idée sur la variation en altitude dans le bassin versant, et déterminer les superficies qu'occupe chaque tranche ce qui va nous aider par la suite à préciser le type de bassin versant et comme ça on peut interpréter son comportement hydrologique.

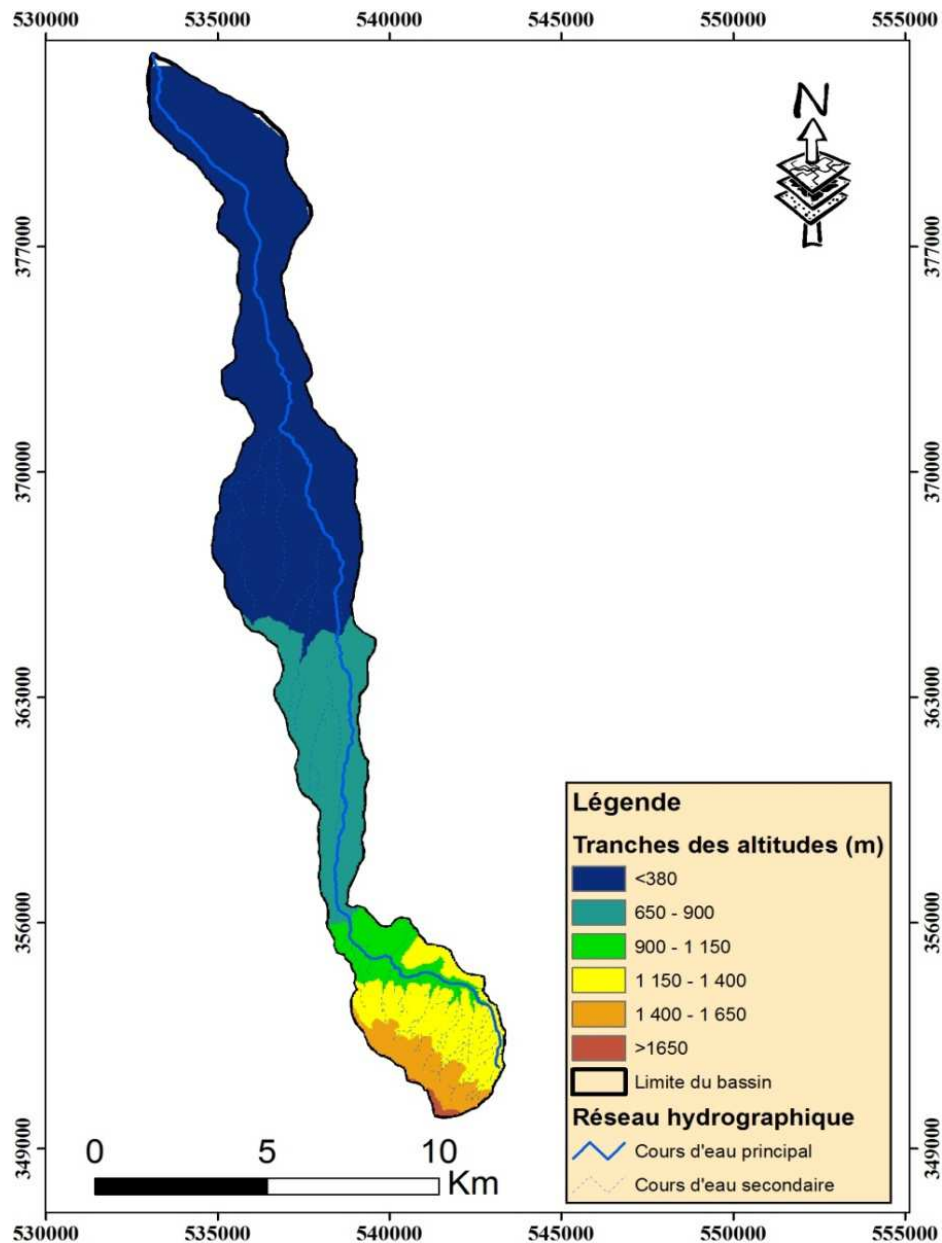


Figure 3: Carte hypsométrique et les pourcentages de superficie en fonction des classes



La carte hypsométrique (Figure. 3) montre que les altitudes les plus hautes sont situées au sud (le Causse Moyen Atlasique), avec un pourcentage de 5% et une superficie de 400 ha

Du sud vers le nord, on remarque une diminution des altitudes et que la plus grande partie du bassin (<380 m) avec un pourcentage de 58% et une superficie de 4600 ha est située entre le centre de la commune kandar sidi khiar « province de sefrou » et l'exutoire de oued el Himer (confluence avec l'oued Fès au point (X=533310 ; Y=382820) où le relief est généralement plat.

Classes d'altitudes en (m)	Superficie en (ha)	% du totale	% au-dessus de la limite inférieure
<380	4628.82	57%	100
650-900	1591.68	20%	43
900-1150	509.51	6%	23
1150-1400	909.45	11%	17
1400-1650	408.02	5%	6
>1650	26.49	0.5%	0.5

Tableau 1 : Tableau de fréquences et des pourcentages cumulés au dessus de la limite inférieure



I.4 Pente

La carte des pentes permet de distinguer les zones à pente raide aux zones à pente douce, ce qui influence la vitesse d'écoulement. En amont d'oued el Himer on remarque des pentes >25 ce qui favorise l'apparition des écoulements torrentiels lors des averses.

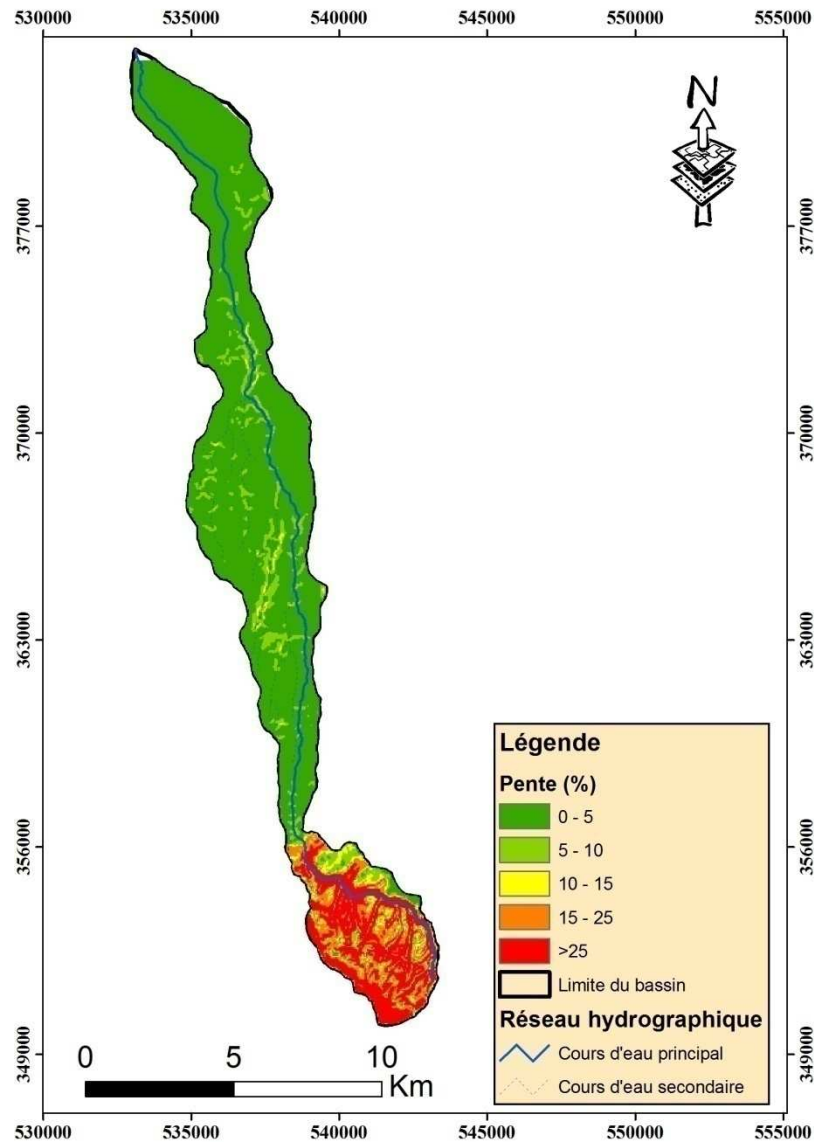


Figure 4: carte des pentes et les pourcentages de superficie en fonction des classes.

La carte des pentes (figure 4) montre que les fortes pentes sont concentrées plus au SE (Causse Moyen Atlasique), occupant la plus faible superficie des terrains du bassin versant de l'Oued el Himer, représentées par la classe des pentes >35 , tandis



que les faibles pentes occupent en grande partie le nord jusqu'au centre du bassin versant (Plaine de Saïss), avec la plus grande superficie

D'après l'étude de la carte des pentes on peut conclure que notre bassin versant à une pente faible.



I.5 Réseau hydrologique

L'oued Himer prend naissance au niveau de Jbel Kander, et il s'étend depuis le point ayant les coordonnées (X=539214 ; Y=353384) jusqu'à son embouchure, située au niveau de la ville de

Fès au point (X=533310 ; Y=382820) sur une distance avoisinant les 33.96 km. Les bassins limitrophes sont ceux de l'oued Mehrez à l'Est, et l'oued Chkou à l'ouest.

Le relief du bassin versant de l'Oued El Himer est montagneux en amont qui se décline progressivement vers l'aval, où en trouve les plaines.

Le cours d'eau principal est alimenté à travers plusieurs affluents et chaabats détaillés, en allant de l'amont vers l'aval, comme suit :

- *Oued Lekhnig* : Il constitue l'affluent sur la rive droite de l'oued El Himer. Il est situé entre le Jbel Kandar au Sud- Ouest et Jbel Bni Alahem au Nord- Est. Les pentes de son bassin sont fortes et l'altitude varie généralement entre 1530 m et 1000 m. L'Oued a comme affluents Chaâbet El Hallouf, Chaâbet Si Lahsene, Chaâbet Jenanate et d'autres Chaâbet temporaires.
- *Oued Ahllal* : il est situé dans une zone de passage entre le relief montagneux et le relief collinaire à plat, avec des pentes relativement faibles et des altitudes passant de 837 m à 672 m (Koudiet Si Khier 711 m)
- *Chaâbat Mansoura* : qui traverse douar El Fnidek et qui présente des ramifications sur sa partie gauche. On y note la prédominance du relief collinaire, avec des altitudes allant de 670 m à 550 m ; Plus en aval, l'Oued El Himer est peu ramifié : à ce niveau, il traverse les douars Ito Lahsene, Ouald Taeib, Oulad Hamou, Oulad El Houar, Douîminia, jusqu' à son embouchure dans la ville de Fès. Au niveau de ce tronçon, on note la prédominance des plaines avec des altitudes avoisinant les 400 m.

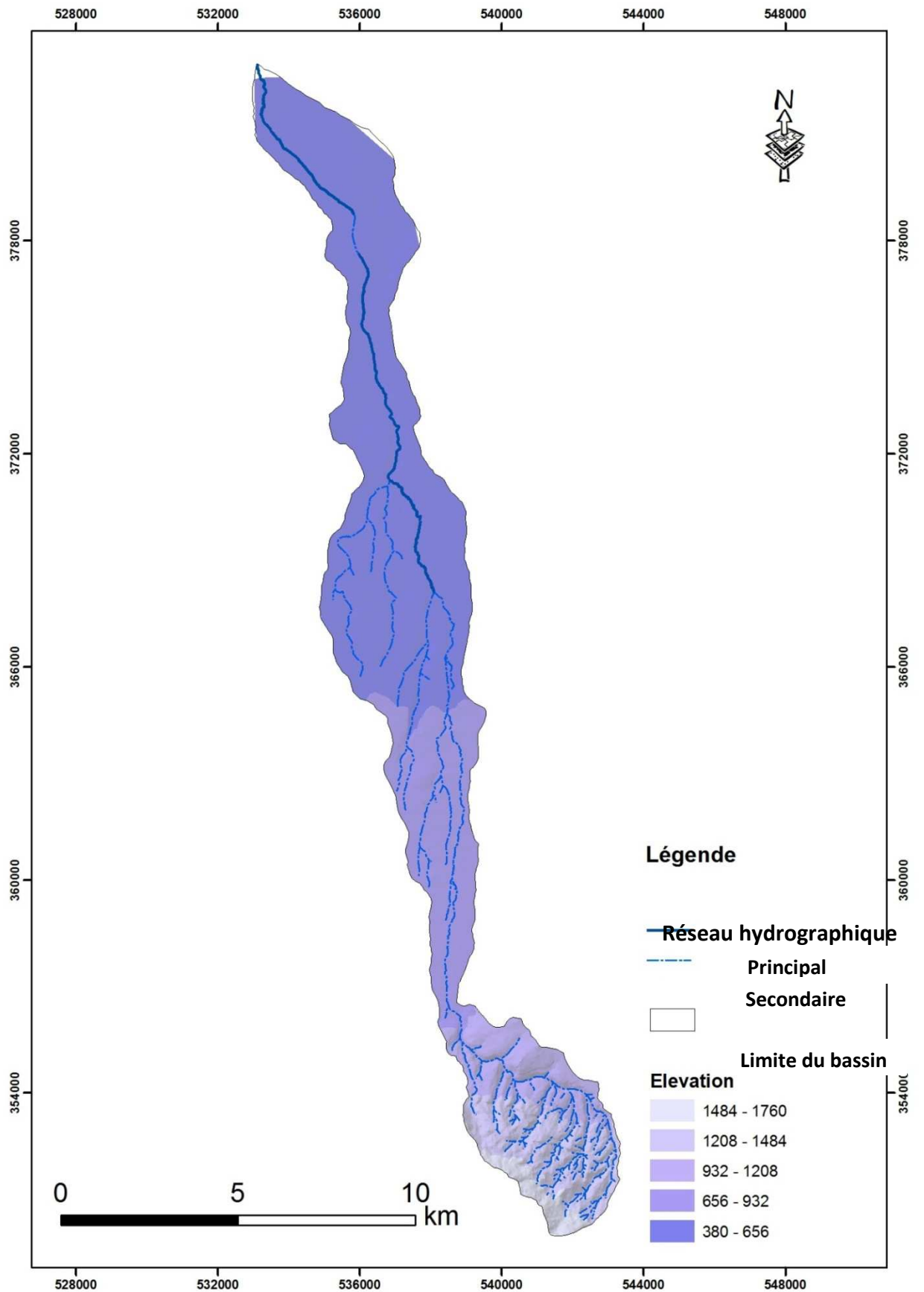




Figure 5 : carte de réseau hydrographique

I.6 Bilan hydrologique du bassin versant.

Caractéristiques	Oued el Himer
Surface du bassin [km ²]	42.43
L longueur du talweg [km]	15.9
Dénivelée [m]	700
Pente moyenne [%]	4.40
Périmètre [km]	45.13
Coefficient de Gravelius	1.94
L'altitude maximum [m]	1290
L'altitude minimale (exutoire) [m]	590
Lag Time (min)	143
Temps de concentration [H]	4
Cr pris (coefficient de ruissellement)	0.6

Caractéristiques	Oued el Himer
Surface du bassin [km ²]	80.74
L longueur du talweg [km]	-
Dénivelée [m]	1380
Pente moyenne [%]	3.63
Périmètre [km]	80.03
Coefficient de Gravelius	2.49
L'altitude maximum [m]	1360
L'altitude minimale (exutoire) [m]	380
Lag Time (min)	126
Temps de concentration [H]	3.5
Cr pris (coefficient de ruissellement)	-

Tableau 2 : Caractéristiques physiographiques du bassin versant d'oued el Himer (ABHS).

Tableau 3:Caractéristiques physiographiques du bassin versant d'oued el Himer (laasri al).

- D'après la comparaison des deux tableaux, on remarque des différences notables dans les caractéristiques physiographiques du bassin versant d'oued el Himer.

I.7 Géologie

De point de vue géologique, la zone d'étude est située entre deux grands domaines géologiques, le Rif au Nord (Sillon et pré-rifain et des formations Pré rifaines) et l'Atlas au Sud (Moyen Atlas).

Les formations géologiques rencontrées au niveau de la zone Nord comprennent les débris de pentes calcaires, il s'agit :

- Calcaires et marnes sableux ; Tufs et conglomérats sur le plateau de Saïs ;
- Terrasses alluviales limoneuses dans la vallée de Sebou :

Plus au Sud, on trouve les dolomies et les calcaires du Lias reposant sur les marnes « bleues » altérées sur les collines.

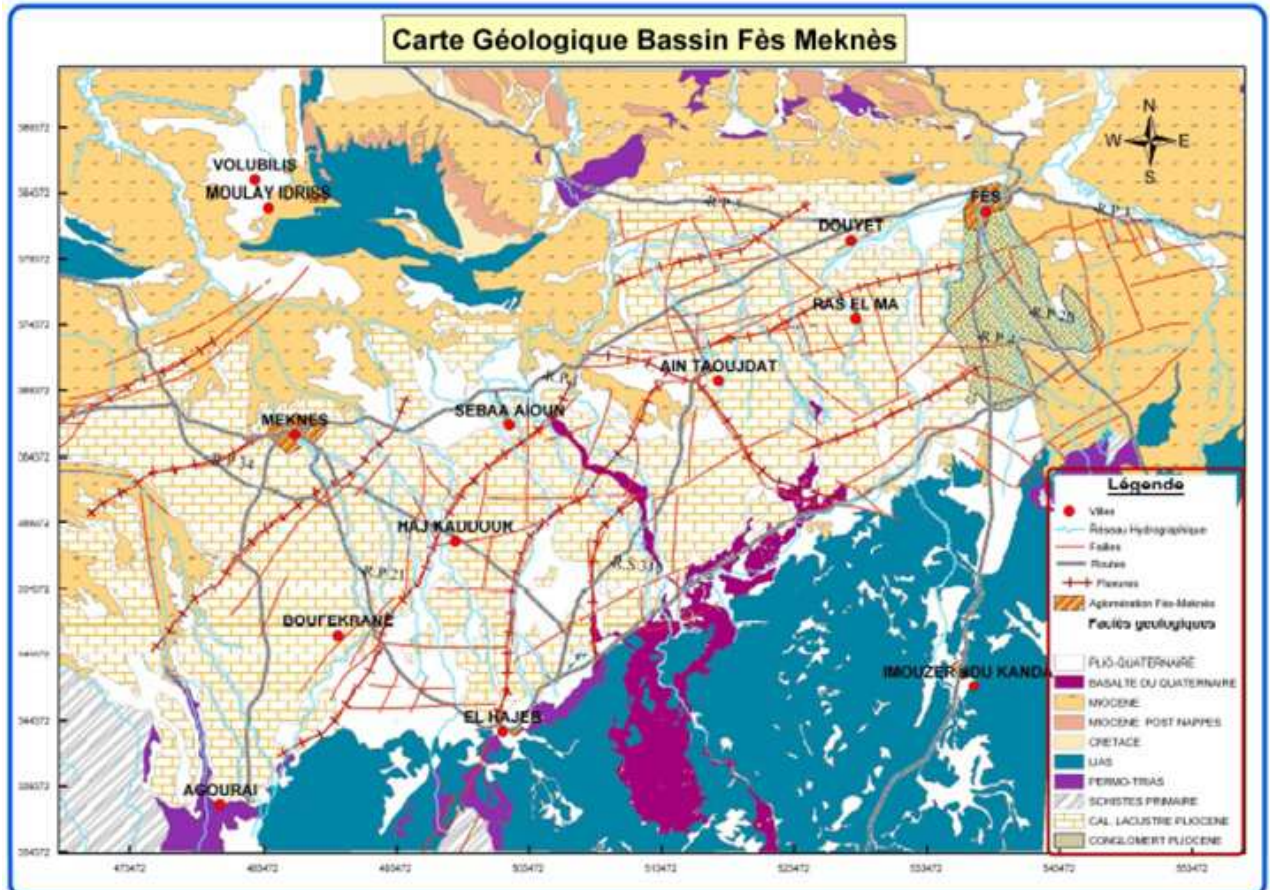


Figure 6:carte géologique du bassin de Fès-Meknès (Taltasse, 1953).

II. CLIMAT

La région de Fès est caractérisée par un climat continental froid avec souvent des gelées pendant la saison hivernale, et chaud en été. **La station météorologique de Fès Saïs** est située au niveau de l'aéroport de Fès au sud de la ville. Le suivi de cette station est assuré par la **Direction de la météorologie Nationale** et ses données historiques donnent une idée sur le climat de la région. En effet, la température maximale au niveau de la station tourne autour de 34°C au mois de Juillet et Août et 16 °C aux mois de Décembre et Janvier. Et pour la température minimale, elle varie



entre 18 °C observée au mois de Juillet et Août et 6 °C observée aux mois de Décembre et Janvier. En ce qui concerne les précipitations moyennes mensuelles, la valeur maximale enregistrée est de 65 mm, enregistrée au mois d'avril et la valeur minimale est de 0 mm, enregistrée au mois de juillet.

II.1 Postes pluviométriques actuelle :

L'observation pluviométrique au niveau de la zone d'étude est assurée par un réseau de deux postes pluviométriques relevant de l'autorité de différents organismes. Le tableau ci-après présente un récapitulatif de ce réseau.

Poste	Type	Autorité	Localisation
Fès-Saiss	Station météorologique	DMN	Aéroport de Fès- Saiss
Sefrou	Poste pluviométrique	ABHS	Ville de Sefrou

Tableau 4: Tableau récapitulatif des postes pluviométriques de la zone d'étude

II.2 Données climatiques

Dans le cadre de cette étude, on dispose des données historiques mesurées au niveau des stations, Sefrou (ABHS), et Fès-Saiss (station DMN). Ces données sont synthétisées dans ce paragraphe et exploitées pour les besoins de l'étude comme détaillé dans le paragraphe suivant :

- Poste pluviométrique Sefrou :

L'historique enregistré au niveau de ce poste couvre la période allant de 1968/1969 jusqu'à 2009/2010, soit 42 ans. En effet, l'année la plus humide est celle de 1970/1971 avec un cumul de 608.3 mm, alors que la plus faible valeur a été



enregistrée en l'an 2009/2010/ de 206.1 mm. La figure suivante illustre l'évolution de la pluie annuelle au niveau du poste de Sefrou sur la période de mesures disponible.

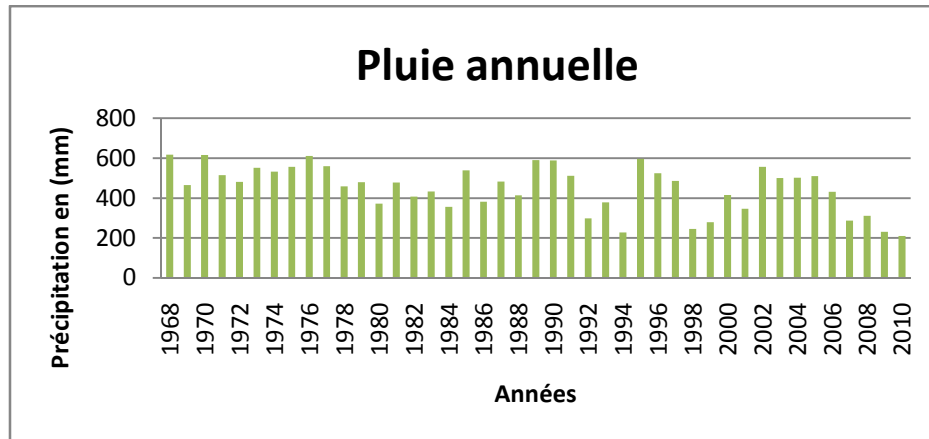


Figure 7 : Variation interannuelle des précipitations au poste Sefrou

• Station météorologique de Fès-Saiss :

La station de l'aéroport de Fès-Saiss est une station météorologique synoptique qui a été équipée par une station automatique depuis presque une quinzaine d'années. Les mesures dont on dispose couvrent une assez longue période, mais intercalée de quelques années pour lesquelles on ne dispose pas des données complètes. La période totale de fonctionnement de la station est de 66 ans (depuis 1944) dont seulement 33 ans exploitables pour la pluviométrie. Pour le cumul annuel, ce nombre se réduit encore à uniquement 19 années, et ce en raison de quelques manques observés dans la série de mesure.

La variation interannuelle des précipitations au niveau du poste pour les années disponibles montre que l'année la plus humide est celle de 1996 avec un cumul de 713.52 mm, alors que le plus faible a été enregistré en l'an 1983, soit de 246.39 mm. La figure suivante illustre l'évolution de la pluie annuelle au niveau de la station météorologique de Fès-Saiss sur la période de mesures disponible.

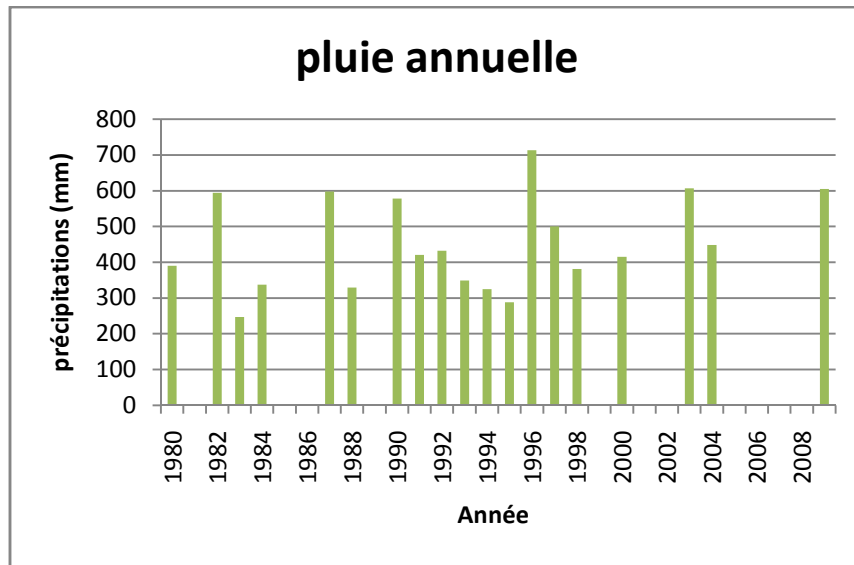


Figure 8: Variation interannuelle des précipitations à la station de Fès-Saiss

II.3 Analyse de la répartition spatiale de la pluviométrie

Pour calculer l'influence de chacun des pluviomètres sur chaque bassin versant, on a utilisé la méthode de Thiessen. Cette méthode consiste à définir des zones pour lesquelles chacun de ses points à l'intérieur soit plus proche en distance horizontale du pluviomètre considéré. A chaque poste est attribué un poids proportionnel à la surface de sa zone. Les zones représentatives sont ainsi des polygones obtenus en traçant, entre les stations prises deux à deux, les médiatrices, lieux géométriques des points situés à égale distance des extrémités d'un segment de droite.

La pluie moyenne sur le bassin est égale à la somme des pluies partielles :



$$R = \sum_i \left(\frac{S_i}{S} \right) P_i$$

Où S_i est la surface relative à la zone de chaque pluviomètre et S la surface totale du bassin versant.

Le tracé de cette méthode pour le cas des bassins versant d'étude est présenté dans la figure 9 de la page suivante. Les pluviomètres considérés sont ceux de Sefrou et l'Aéroport de Fès-Saiss.

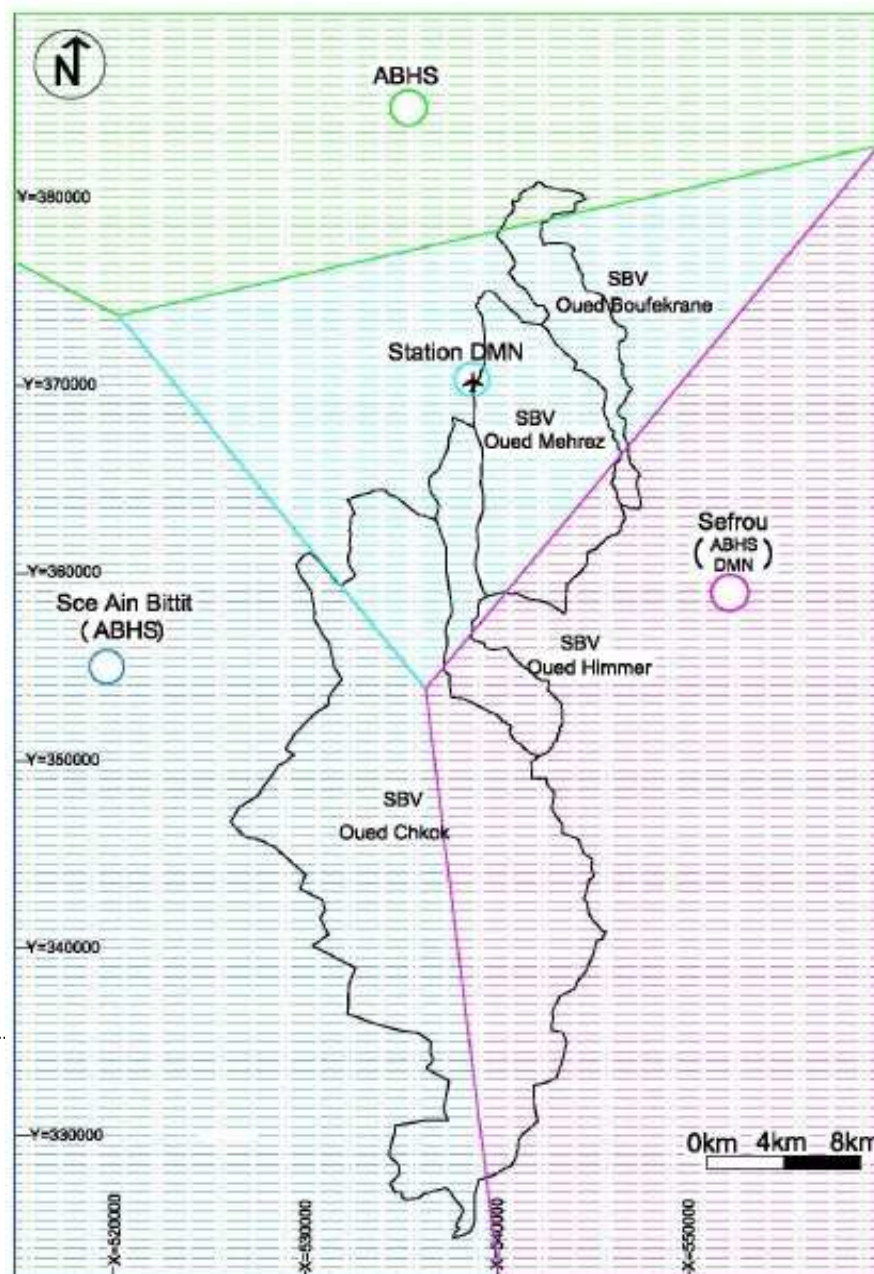




Figure 9: Méthode de Thiessen graphique pour les bassins objet de l'étude

Ainsi, les poids correspondant à chaque pluviomètre et pour chaque bassin sont récapitulés dans le tableau suivant :

Bassin	Poids des postes pluviométrique	
	Sefrou	Aéroport Fès-Saiss
El Himer	0,52	0,48

Tableau 5 : Coefficients de Thiessen des postes pluviométriques considérés dans l'étude du bassin el Himer (ABHS 2010).

➤ Configuration du réseau pluviométrique optimal

La zone d'étude est composée de deux unités morphologiquement et climatiquement distinctes. La première est constituée de la région de Fès avec les zones du plateau du Saiss, alors que la seconde est constituée de la zone d'Imouzzar et des montagnes en amont du bassin de l'oued el Himer.

De point de vue morphologique, la région de Fès est d'une topographie plate et dégagée permettant un écoulement diffus et plus lent au niveau des cours d'eau et une homogénéité pluviométrique. Cependant, la zone d'Imouzzar, d'une topographie accidentée, donne aux cours d'eau un aspect plus encaissé et des pentes plus importantes donnant lieu à des crues plus rapides.

Du côté pluviométrie, cette zone constitue un blocage aux vents pluvieux d'hiver venant du Nord-Ouest et aux vents chauds ascendants d'été. Ce blocage confère à la zone un caractère plus humide en hiver et plus orageux en été. Cette distinction sera la



base de la configuration des emplacements optimaux des postes pluviométriques du réseau d'annonce de crue.

La délimitation de ces deux zones est présentée dans la figure suivante :

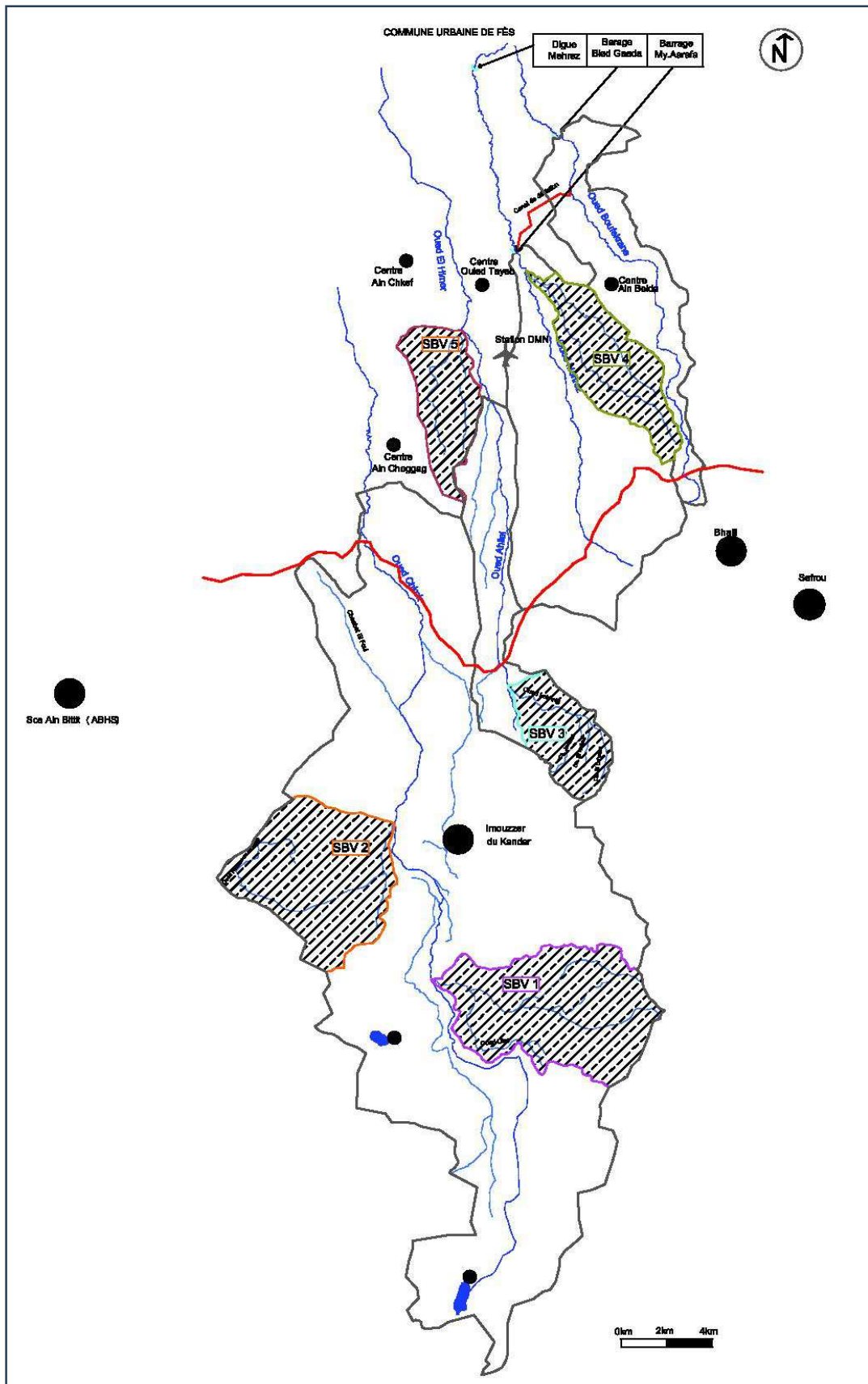




Figure 10: Carte de définition des zones climatiques homogènes (ABHS, 2010)

CHAPITRE II : ETUDE HYDROLOGIQUE



I. HISTORIQUE DES CRUES.

La crue la plus remarquable au niveau de cet oued a été enregistrée le 13/09/2009 suite à des précipitations très importantes qui ont atteint 37.8 mm le 12/09/2009 à la station météorologique de Fès-Saiss et 36.5 mm au poste pluviométrique ABHS siège. Une visite de terrain a été organisée le 15/09/2009 en collaboration avec l'Agence afin de relever les traces de la crue et d'estimer le niveau maximal d'eau atteint. Une autre visite a été organisée le 01/03/2010 pour réévaluer le débit de pointe de la crue. Le point de repère qui a été choisi est au niveau de la station service CMH (WINXO actuellement), juste après le franchissement de la route Fès-Imouzar. Un témoin de l'événement, riverain, a identifié le niveau maximal de la crue à environ 3.5 m au niveau du dalot principal de franchissement de la route (d'une largeur de 6.30 m). Cette estimation est concordante avec les traces relevées juste après la crue.



Figure 11 : Vue des traces de crues de l'oued El Himer au niveau de la route Fès-Imouzar (ABHS 2009)

L'estimation du débit de pointe, en considération des témoignages des riverains et des caractéristiques du point de repère, donne une valeur de **130 m³/s**.

II. Débits des crues

Les résultats détaillés de calcul des débits de pointe des bassins et sous bassins versants, en utilisant les différentes formules. Les valeurs obtenues ont été analysées afin d'en faire ressortir la valeur la plus adéquate pour chaque bassin. Les valeurs retenues sont présentées dans le tableau suivant :

Bassin versant	El Himer
Q10	65.88
Q20	79.03



Q50	96.51
Q100	109.31

Tableau 6 : Les débits de crues des bassins étudiés calculés par les différentes méthodes

Le tableau ci-dessus représente les valeurs moyennes des débits de crue pour chaque période de retours calculés par 4 méthodes empiriques différents.

➤ **Formule rationnelle**

La méthode rationnelle décrite dans les recommandations pour l'assainissement routier SETRA de

1982, s'énonce comme suit :

$$Q_T = C_R \times I(T, t_c) \times A / 3.6$$

Avec :

Q_T : Débit de pointe en m³/s pour la période de retour T ;

$I(T, t_c)$: Intensité de la pluie en mm/h ;

T : Période de retour (ans) ;

t_c : Temps de concentration en min (par la formule de Kirpich) ;

A : Superficie du bassin versant en km² ;

C_R : Coefficient de ruissellement (suivant les normes françaises) ;

➤ **Formule de Mallet Gauthier**

Cette formule se présente sous la forme suivante:

$$Q(T) = 2 \times K \times \log_{10}(1 + aH) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \text{Log}(T) - \text{Log}_{10}(S)}$$



Avec :

Q(T) : Débit maximal en m³/s pour la période de retour T ;

S : Superficie du bassin versant en km² ;

T : Période de retour en ans ;

L : Longueur du talweg en km ;

H : Hauteur moyenne annuelle de pluie en mm ;

a : Coefficient variant entre 20 et 30. Il est pris égal à 20 pour un bassin normal ;

K : Coefficient variant de 0.50 et 6 (pris égal à 1 pour un bassin normal) ;

La formule de Mallet Gauthier est d'une application délicate surtout à cause de la forte amplitude de la variation du coefficient K. Dans le cas où on ne dispose pas avec certitude de la valeur de K, il est nécessaire de faire la comparaison des débits avec les résultats d'autres formules.

➤ **Méthode de Fuller II**

Cette formule s'énonce comme suit :

$$Q(T) = (1 + a \times \log(T)) \times (S^{0.8} + 8/3 \times S^{0.5}) \times 4/3 \times N/100$$

Avec :

Q(T) : Débit de pointe en m³/s de récurrence T ;

T : Période de retour en ans ;

a : Coefficient variant entre 0.7 et 0.8 au Maroc.

S : Superficie du bassin versant en km² ;

L : Longueur du talweg en km ;

N : Coefficient régional pris égal à 80 en plaine, 85 en région accidentée et 100 en montagne ;

➤ **Méthode de Hazan & Lazarevic**

Ce sont des formules simples reliant les débits des crues milléniales (en m³/s) et la surface du bassin versant (en km²). Elles couvrent tout le territoire marocain et s'énoncent comme suit :



$$Q_t(1000) = k_1 \times S^{k_2}$$

$$Q_t(10) = Q_{1000} \times \frac{(1 + a \times \text{Log}10)}{(1 + a \times \text{Log}1000)}$$

Avec :

$Q_t(1000)$: Débit de pointe en m³/s de récurrence 1000 ans ;

$Q_t(10)$: Débit de pointe en m³/s de récurrence 10 ans ;

a : Coefficient variant entre 0.8 et 1.2, pour un bassin normal, a est prise égale à 1 ;

S : Superficie du bassin versant en km² ;

k_1 et k_2 : Paramètres dépendants de la situation géographique de la zone et de sa pluviométrie moyenne annuelle.

❖ Calcul de Temps de concentration

Le temps de concentration des eaux sur un bassin versant se définit comme étant la durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un le point le plus éloigné du bassin et l'exutoire de ce dernier.

L'évaluation du temps de concentration est basée en général sur l'hypothèse que les gouttes de pluie se déplacent perpendiculairement aux lignes de niveau.

Le temps de concentration est composé de trois termes différents :

t_h : Temps d'humectation : Temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle ;

t_r : Temps de ruissellement ou d'écoulement : Temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur) ;

t_a : Temps d'acheminement : Temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire.

Le temps de concentration t_c est donc égal au maximum de la somme de ces trois termes, soit

$$t_c = \text{Max}(\sum (t_h + t_r + t_a))$$



Théoriquement, on estime que t_c est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement, le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou estimé en faisant recours aux formules empiriques, faisant intervenir certaines caractéristiques physiques du bassin.

Plusieurs formules sont utilisées pour les bassins versants du Maroc. Leurs formulations sont présentées et expliquées en détail en annexe.

Les valeurs prises sont la moyenne des valeurs proches données par les formules susmentionnées.

Les résultats des calculs pour le bassin d'oued el Himer, ainsi que les valeurs prises pour la suite de l'étude, sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Bassin versant	El Himer
Turazza et Passini	4.51
Ventura	3.95
Giandoti	2.36
Kirpich	1.83
Espagnole	4.61
Van Te Chow	1.96
Corps Of Engineers	4.27
Californienne	4.07
Valeur retenue(en heure)	4

Tableau 7: temps de concentration (en heures) pour le bassin versant oued el Himer par les différentes méthodes et valeur retenue.

III. Typologie des crues

À partir de la forme de l'hydrogramme de la crue on peut recenser un certain nombre de type de crues. Pour oued el Himer il y'a deux types de crues en fonction de relief.

- ✓ **Crues semi rapides des moyens bassins de plaine:** ce type de crues est observé généralement sur les plaines situées au piémont des grands reliefs du Rif et des Atlas. En effet, les pentes s'atténuent brutalement et la capacité de transit des cours d'eau issus des hautes montagnes ou de leurs piémonts, diminue fortement donnant aux cours d'eau une toponymie plate avec un lit étroit et peu profond.



A la moindre crue, ces oueds débordent largement de leur lit mineur et s'écoulent alors dans la plaine adjacente qui n'est pas un véritable lit majeur, au sens où elle est le réceptacle commun des débordements de plusieurs oueds sensiblement parallèles.

Ce type de crue est caractéristique d'oued El Himer. Les eaux des crues sont drainées depuis les parties amont des bassins versants (à cheval entre les zones montagneuses et les plaines), à travers les chaabats et affluents vers le cours d'eau principal qui, une fois arrivé à l'aval, ne permet plus l'évacuation complète des eaux de la crue sans débordement.

- ✓ ***Crues torrentielles des petits bassins de montagne*** : Elles caractérisent des bassins de taille réduite situés dans les grands reliefs Rifains et Atlasiques, caractérisés par de fortes pentes, des terrains escarpés, ravinés, dénudés, généralement imperméables et favorablement exposés aux perturbations météorologiques et notamment propices au développement de cellules orageuses, puisque c'est dans ces régions où on enregistre les plus fortes pluies maximales journalières.

Contrairement aux autres catégories, ce sont souvent les crues d'été qui sont les plus violentes dans ces bassins.

Ce type de crues est particulièrement caractéristique de l'oued El Himer et de ses affluents au niveau des parties en amont.



CHAPITRE III : ETUDE HYDRAULIQUE COMPARATIVE



I. APPROCHE GEOMORPHOLOGIQUE

La cartographie des événements historiques d'inondation constitue l'une des informations les plus pertinentes dans la cartographie des phénomènes (Fig. 10). Les événements de grande ampleur ayant eu lieu dans le passé (inondation du 26 septembre 1950 à Fès, par exemple) ont été impossibles à documenter. Par contre, les événements récents qui ont touché la ville de Fès peuvent être qualifiés d'événements de référence vue leur ampleur. A Fès, il s'agit de l'inondation de mars 2010 qui a provoqué des dégâts importants et affecté de nombreuses zones habitées (Lasri et al. 2011).

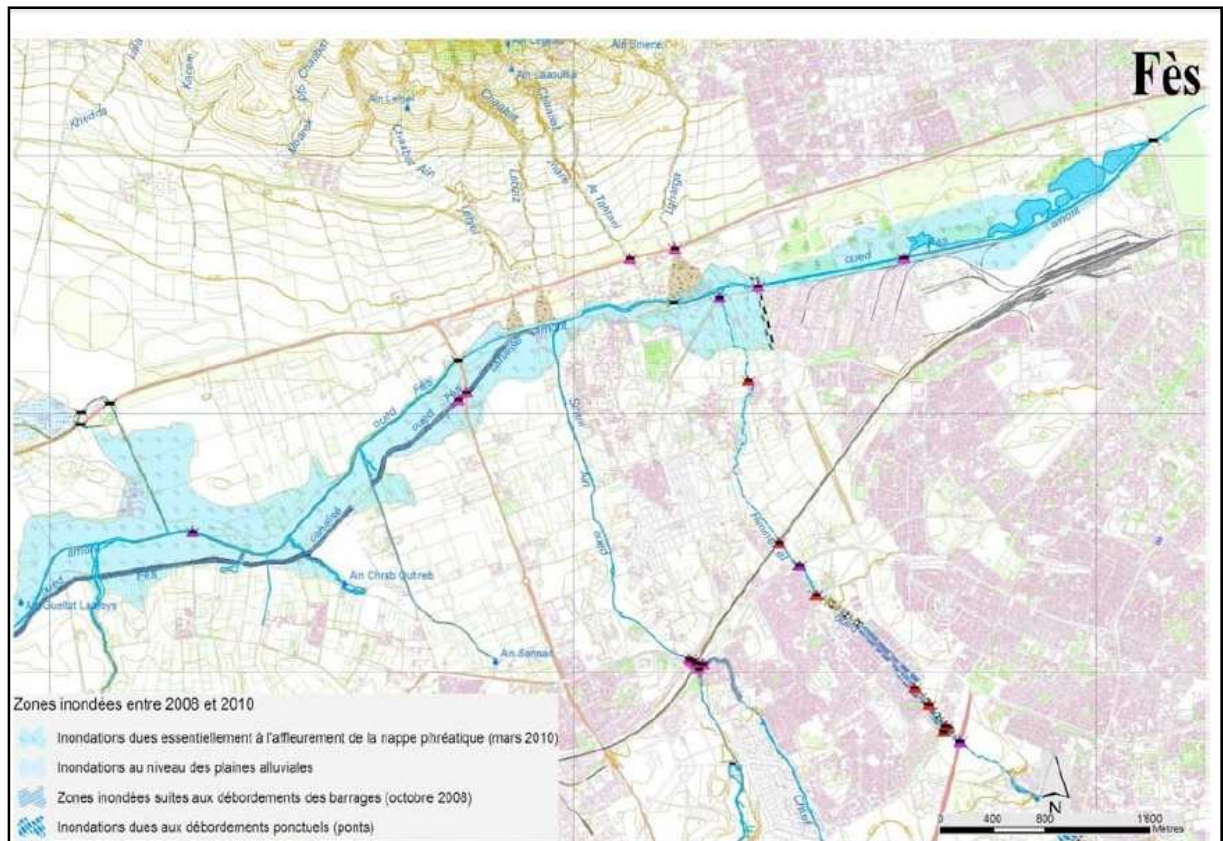


Figure 12: Documentation des épisodes d'inondation. (laasri al)

Pour cartographier ces événements (2008 à 2010), nous nous sommes appuyés à la fois sur les traces des inondations repérées sur le terrain et sur les témoignages des riverains. Selon la genèse et les caractéristiques de ces événements, nous avons classé ces inondations en fonction de leur typologie, à savoir :

- les inondations dues essentiellement à l'affleurement de la nappe phréatique qui ont submergé une vaste surface tout au long de la vallée de l'oued Fès. Bien que ce phénomène entre dans le cadre des inondations statiques, il a causé des dégâts matériels très importants et affecté plusieurs dizaines de familles qui sont devenues sans abri ;
- les inondations des plaines alluviales : ce phénomène a été frappant après les grandes crues de l'oued Sebou et de ses affluents en février 2010 ;
- les inondations suite aux débordements de barrages en octobre 2008 à Fès. Ce phénomène s'est caractérisé par sa violence et sa brutalité ;



- les inondations dues à des débordements ponctuels, notamment au niveau des ponts sous-dimensionnés ou colmatés.

II. Approches Hydraulique par HEC-RAS

La simulation de ces débits correspondants aux pluies (mm/Tc) a été faite par le logiciel **HEC-RAS**.

HEC-RAS est un logiciel qui permet d'effectuer des calculs d'écoulements filaires à surface libre en régime permanent. Les calculs de lignes d'eau permettent tant l'analyse de la capacité de cours d'eaux (risques de débordement, inondations) que l'étude de l'impact de modifications des conditions de bords (ponts, endiguements).

Le tableau suivant donne les résultats correspondants à chaque débit simulé pour Oued el Himer.

<i>Oued El Himer</i>			
<i>Pluie (mm/Tc)</i>	<i>Q(m³/s)</i>	<i>Identification des zones inondables</i>	<i>Hauteur moyenne de la lame d'eau (m)</i>
10	1	Néant	0.45
20	8	Terrains agricoles en rive droite à l'entrée de la ville ; habitations en rive gauche de Hay Lalla Soukaina et du lot Fath et Hay Zouagha	0.75
30	25	Terrains limitrophes sur les deux rives à l'entrée de la ville en plus des habitations présentes sur les deux rives depuis Hay Nakhil jusqu'à Hay Tazi	0.90
40	43	Idem	1.00
50	63	Idem	1.15
100	180	Idem	1.50

Tableau 8: temps de concentration (en heures) pour le bassin versant oued el Himer par les différentes méthodes et valeur retenue.



➤ Résultats

Selon la carte d'extension des crues et sa comparaison aux tableaux d'identification des zones inondables on remarque que les mêmes zones sont inondées sur les rives d'oued El Himer (Terrains agricoles en rive droite à l'entrée de la ville , habitations en rive gauche de Hay Lalla Soukaina et du lot Fath et Hay Zouagha)correspondant a 20 mm/tc et 8 (m³/s) , ce qui prouve la correspondance de la carte(Documentation des épisodes d'inondation avec les tableaux d'identification des zones inondables, alors on déduit que même si les caractéristiques physiographiques du bassin d'oued el Himer sont différents dans les deux études ,la comparaison de l'étude hydraulique donne des les mêmes résultats(mêmes zones d'inondation « oued el Himer ») , pour cela on constate que les sites des stations pluviométriques actuels sont adéquats .



CONCLUSION

Dans le cadre de la présente l'étude, on a examiné par différentes méthodes, les débits de pointe pour le bassin oued el Himer. Le but étant de déterminer les éventuels débits et apports des crues au niveau de chaque cours d'eau et affluent afin de pouvoir constituer la base pour l'analyse hydraulique des zones inondables pour différentes périodes de retour. Et sa comparaison par la suite a la carte délimitation des zones inondables.

Pour cela, on a utilisé les données des postes pluviométriques de Fès-saïss et sefrou pour l'analyse statistique des pluies maximales journalières. Ces données ont servi pour la génération des débits de crues par les méthodes rationnelle, Mallet Gauthier, Hazen Lazervic et Fuller II.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Taltasse, 1953. Recherche géologique et hydrologique dans le bassin de Fès Meknès. Notes et Mémoires du service géologique du Maroc N° 115, 300p.
- ABHS, 2010, Etude de mise en place d'un dispositif de prévision et d'alerte aux crues pour la ville de face
- Masson M., Garry G. et Ballais J.-L. ,1996 . Cartographie des zones inondables : approche hydro géomorphologique, Paris, Les Editions Villes et Territoires.
- Laasri al, 2011. Carte des phénomènes d'inondation des bassins de Fès et Beni Mellal.
- Khaissidi chaymae, 2011 Elaboration de la carte de risque global de l'Oued Fès en périmètre urbain de la ville Fès.



ANNEXES

Annexe 1 :

Résultats de calcul des débits de crues par les différentes méthodes

	Méthodes			
	Rationnelle	Mallet Gauthier	Fuller II	Hazen Lazervic
Q10 (m3/s)	82.52	124.32	69.85	49.25
Q20 (m3/s)	97.93	142.99	78.87	60.13
Q50 (m3/s)	118.50	164.46	90.78	74.52
Q100 (m3/s)	133.22	179.00	99.79	85.41



Annexe 2 :

Présentation des méthodes empiriques de calcul des temps de concentration

La formule de Kirpich :

$$T_c = \frac{L^{0.77} \cdot I^{-0.385}}{52}$$

Avec : T_c : temps de concentration en minute ;

I : pente en m/m ;

L : longueur du thalweg principal en m.

La formule de Giandotti :

$$T_c = 60 \times \frac{(4 \cdot A^{(1/2)} + 1.5 \cdot L)}{0.8 \cdot H^{1/2}}$$

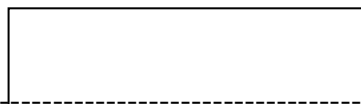
Où : T_c : temps de concentration en minutes ;

L: est la longueur du thalweg principal en km ;

A : est la superficie du bassin versant en km² ;

H : est la dénivelée du bassin versant en m.

La formule de Ventura





$$T_c = 76.3 \times \left(\frac{A}{I}\right)^{0.5}$$

Où: T_c : temps de concentration en minutes ;
 I : pente en % ;
 A : est la superficie du bassin versant en km^2 .

La formule de Turazza & Passini :

$$T_c = 60 \times 0.108 \times (L \times A)^{(1/3)} \times I^{-0.5}$$

Avec:
 T_c : Temps de concentration en minutes ;
 L : Longueur du thalweg principal en km ;
 A : Superficie du bassin versant en km^2 ;
 I : Pente en m/m.

La formule de Van Te Chow :

$$T_c = 60 \times 0.123 \times (L \times I^{-0.5})^{0.64}$$

Avec:
 T_c : Temps de concentration en minutes ;
 I : Pente en m/m ;
 L : Longueur du thalweg principal en km.

La formule Espagnole :

$$T_c = 18 \times L^{0.77} \times I^{-0.1925}$$

Avec:
 T_c : Temps de concentration en minutes ;
 I : Pente en m/m ;
 L : Longueur du thalweg principal en km.

La formule de l'US Corps of Engineers :

$$T_c = 16.682 \times (L \times I^{-0.25})^{0.77}$$



Avec :

Tc : Temps de concentration en minute ;

I : Pente en m/m ;

L : Longueur du thalweg principal en km.

La formule californienne :

$$T_c = 60 \times 0.1452 \times (L \times I^{-0.5})^{0.77}$$

Avec:

Tc : Temps de concentration en minutes ;

I : Pente en m/m ;

L : Longueur du thalweg principal en km.