

Année Universitaire : 2013-2014



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Etude hydrologique de l'Oued Ighzer El Arba au niveau de la commune de Drarga, plaine de Souss

Présenté par:

Said OUABDERH

Encadré par

- Mr. Mohamed Oukbab, ABHSMD,
- Mr. Lahcen Benaabidate, FST - Fès

Soutenu le 04 Février 2014 devant le jury composé de:

- Mr. Abderrahim Lahrach
- Mr. Abdel-Ali Chaouni
- Mr. Alan E. Fryar
- Mr. Lahcen Benaabidate

Stage effectué à : ABHSMD



Résumé

Cette étude a pour objectif, de déterminer les débits de pointes des crues au niveau de l'Oued Ighzer El Arba, à la commune de Drarga; où on a distingué un bassin versant dont l'exutoire correspond à la tranche abordée des deux rives par une pépinière à plantes domestiques.

Ce travail fait une pratique d'approches d'étude hydrologique d'un bassin versant et ses ruissellements ; dans un cours d'eau non jaugé.

SOMMAIRE:

Introduction	
Chapitre 1 : généralités sur la zone d'étude.	
A) Localisation de l'aire de l'étude au sein de la commune de Drarga.....	2
B) Climat régional.....	4
II.1) Généralités	4
II.2) La Pluie.....	4
II.3) Les températures.....	4
II.4) Le vent régional.....	5
C) La géologie du bassin versant.....	7
Chapitre 2 : caractérisation morpho-métrique du bassin versant.	
A) Superficie.....	9
B) Périmètre.....	9
C) Longueur du cours d'eau principal.....	9
D) Forme.....	9
E) Rectangle équivalent.....	10
F) Relief.....	10
G) Récapitulatif des caractéristiques physiques.....	14
Chapitre 3 : approches de détermination des débits de crues	
A) Méthode suivie.....	15
B) Les pluies	16
II.1) Apport en eau.....	18
II.2) Etude fréquentielle des pluies journalières maximales à Agadir.....	18
C) Débits de pointe des crues.....	21
III.1) Calcul du temps de concentration.....	23
III.2) Pluies pendant T_c	24
III.3) Débits par la méthode rationnelle.....	25
III.4) Débits par Mallet Gauthier.....	36
III.5) Débits par Hazan Lazareviç.....	37
III.6) Débits par fuller 2.....	38
III.7) Débits par franco-rodier.....	30
III.8) Débits par la méthode du débit spécifique.....	32
III.9) Débits par la méthode USSCS.....	33
III.10) Débits par la méthode de Gradex	34
III.11) Résumé des résultats et discussion.....	
Conclusion	
Bibliographie.....	
Annexes	

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : Température moyenne mensuelle à Agadir, (1998-2007).....	4
Tableau 2 : classification OSTROM de la nature du relief.....	13
Tableau 3: récapitulatif des caractéristiques physiques du BV.....	14
Tableau 4 : Etude fréquentielle des Pjmax à Agadir, statistique de base.....	16
Tableau 5 : Résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel.....	17
Tableau 6: Récapitulatif du temps de concentration du bassin versant selon les différentes méthodes.....	21
Tableau 7 : Pluies humides extrêmes pendant Tc.....	21
Tableau 8 : Coefficients de ruissellement par SETRA.....	23
Tableau 9: Paramètres régionaux de Hazan Lazareviç.....	24
Tableau 10 : Débits, coefficients de Franco-Rodier pour les stations hydrologiques voisines.....	27
Tableau 11: Débits spécifiques des crues des stations hydrologiques voisines.....	27
Tableau 12: Méthode USSCS, coefficients d'indexation du sol du Massa à la station hydrologique Amaghouz.....	29
Tableau 13 : Récapitulatif des débits obtenus.....	32
Tableau 14: Les débits de pointe des crues de fréquences rares humides retenus	32

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : Situation géographique de la commune de Drarga.....	2
Figure 2 : Situation géographique du bassin versant du IGHZER EL ARBA.....	3
Figure 3 : Graphiques des principaux paramètres climatiques (1998-2007).....	6
Figure 4: Géologie du bassin versant.....	8
Figure 5: Bassin versant hydrologique et hypsométrie.....	11
Figure 6: Gradex des pluies en Tc.....	32

INTRODUCTION

Dans le cadre de mesures préventives du changement climatique ; en vue des averses extrêmes qu'il présente, des études hydrologiques de délimitation de zones inondables se présentent indispensables pour la protection des biens publics.

Le but de cette étude est la détermination des débits de pointe des fréquences rares de l'oued IGHZER EL ARBA ; qui en son aval traverse une pépinière (de plantes domestiques), pour la protection de celle-ci contre toutes inondations.

Comme dans ce cas, on ne dispose pas de données hydrométriques de ce bassin ; les débits des pointes des crues seront calculés:

- Par formules empiriques utilisées pour les grands bassins versants : Rationnelle, Mallet Gauthier, Hazan-Lazareviç, Fuller ;
- Par analogie avec les bassins versants limitrophes à l'aide de la formule de transposition de Franco-Rodier.
- Par les débits spécifiques de crues des stations hydrologiques voisines.
- Par la méthode du Gradex des pluies.

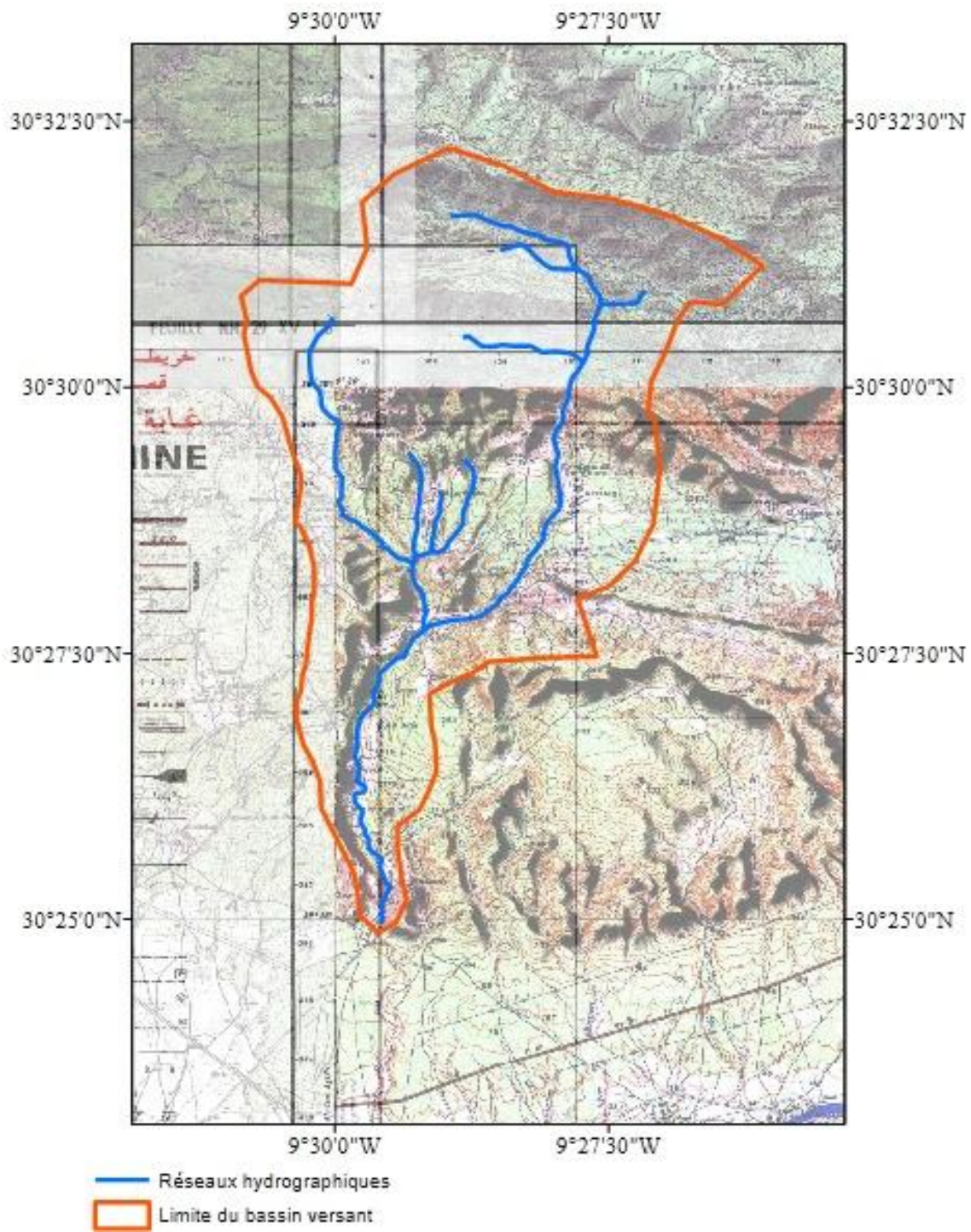


Figure 2 : Situation géographique du bassin versant du IGHZER EL ARBA



II. Le climat régional :

II.1) Généralités :

Le relief, la côte océanique et le Sahara sont, en général, les trois facteurs qui font le climat aride à semi-aride de la région de Souss. L'interaction de ces facteurs rend le climat de la région très complexe et ses caractéristiques difficiles à préciser.

Le climat de la zone d'étude (caractérisé par les mesures faites à Agadir) est de type aride présentant une grande variabilité intra et interannuelle. Il est sous l'influence, dans la majorité du temps, des effets océaniques et des alizés maritimes surtout en Eté. Ses principaux traits climatiques sont la rareté et l'irrégularité des précipitations, une importante nébulosité, une forte humidité relative de l'air, de faibles amplitudes thermiques diurnes et annuelles et une quasi permanence du vent.

La pluie a été étudiée à Agadir où on dispose d'une série de mesures longue. L'étude des autres paramètres climatiques a porté sur les mesures des stations de la météorologie nationale : Agadir Inzane et Agadir Al Massira (voir annexe 1).

II.2) La pluie :

Les précipitations se produisent essentiellement sous forme d'orages brefs et violents, et irrégulièrement réparties au cours de l'année. En général, on peut distinguer une saison pluvieuse d'octobre à avril où la zone reçoit presque 97% du volume total des précipitations et une saison sèche de Mai à Septembre.

II.3) Les températures :

L'étude des autres paramètres climatiques a porté sur les mesures des stations de la météorologie nationale : Agadir Inzegane et Agadir Al Massira (annexe 1).

Les températures constituent un facteur déterminant, entre autres pour le développement normal des végétaux, qui s'effectue entre deux pôles thermiques : la moyenne des minima du mois le plus froid (m) et celle des maxima du moi le plus chaud (M).

Sur le littoral le trait essentiel du climat est la douceur des températures, la température moyenne mensuelle présente un pic en juillet et août (30,5°C), alors que la moyenne mensuelle la plus basse (7,6°C) est enregistrée au mois de janvier.

Tableau 1 : Température moyenne mensuelle à Agadir Al Massira, (1998-2007)

Mois	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy
M	22,0	23,3	26,2	25,2	26,3	28,5	30,5	30,5	29,8	29,2	25,7	22,6	26,7
m	7,6	8,8	11,2	12,2	14,0	16,8	18,1	18,6	17,3	15,8	11,7	9,1	13,4
Tmoy	14,8	16,1	18,7	18,7	20,2	22,7	24,3	24,6	23,6	22,5	18,7	15,9	20,0
M-m	14,4	14,5	15,0	13,0	12,3	11,7	12,4	11,9	12,5	13,4	14,0	13,5	13,2

Avec :

M= moyenne mensuelle des températures maximales journalières.

m= moyenne mensuelle des températures minimales journalières.

Tmoy : moyenne des températures moyennes mensuelles.

M-m= amplitude thermique.

L'amplitude thermique (M-m) qui est modérée, reflète nettement l'influence océanique sur le climat à Agadir. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées en été. Ceci est dû à la formation du brouillard près de l'océan atlantique à eaux froides.

La température maximale absolue observée est 48,9°C.

La température minimale absolue observée est 0,0 °C.

Humidité de l'air : la zone littorale du Sud-Ouest marocain, se caractérise par une forte humidité relative de l'air, liée à l'influence marine. Les trois mois d'été, de forte humidité relative (77% en moyenne), s'opposent aux trois mois d'hiver, où l'air est moins humide.

L'évaporation directe totale annuelle vaut 960 mm. On enregistre son maximum en Mars. L'été elle est faible en raison du brouillard sévissant.

II.4) Le vent régional:

Les effets climatiques des vents dépendent de l'origine de ceux-ci, ils accentuent ou atténuent le degré d'aridité selon qu'ils soufflent d'Est ou d'Ouest sur la bande côtière longeant l'océan atlantique :

- Les vents d'Ouest, Ouest-Nord-Ouest et Ouest-Sud-Ouest diminuent les maxima des températures et augmentent l'humidité relative.
- Les vents d'Est ou Est-Sud-Est, connus sous le nom de « Chergui », sont des vents chauds et desséchants, traduisant l'influence saharienne. Ils se manifestent depuis le début du printemps jusqu'au milieu de l'automne lorsqu'une dépression cyclonique atlantique ou méditerranéenne vient instaurer un régime de basses pressions au Nord de l'Atlas. Ils provoquent ainsi la sécheresse et l'augmentation des températures. Ces vents arrivent sur la plaine du Souss malgré la présence à son sud de la chaîne de l'Anti-Atlas, dont l'alignement NE-SW joue un rôle de barrière orographique.

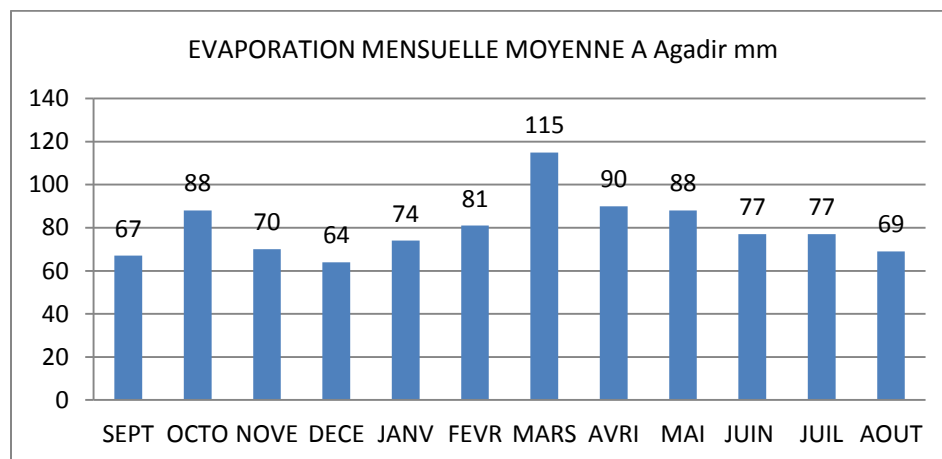
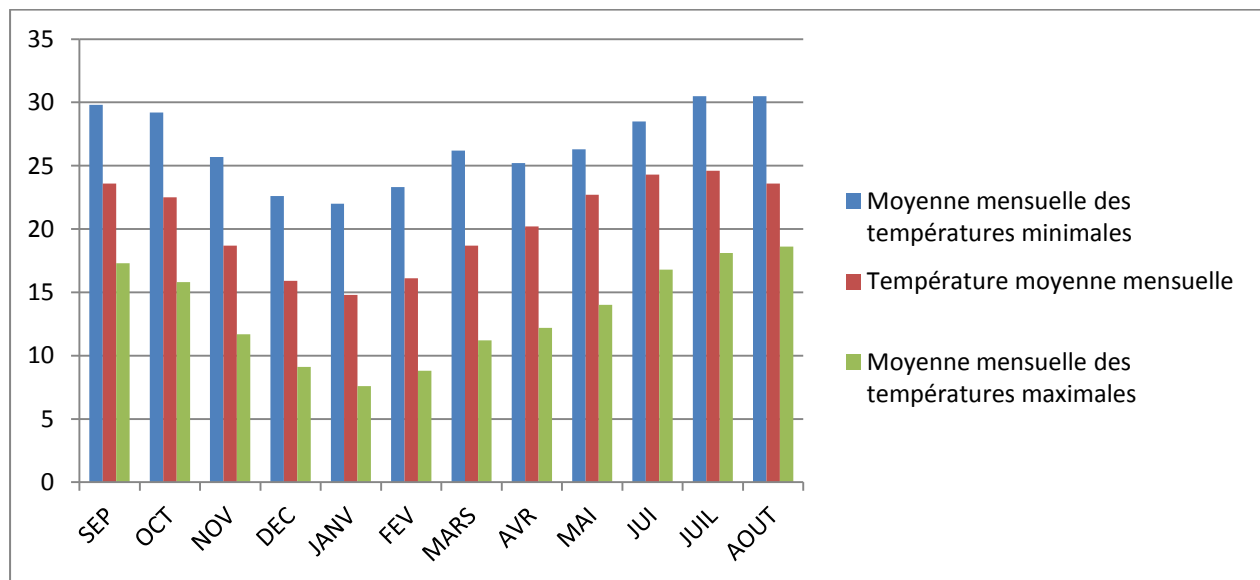
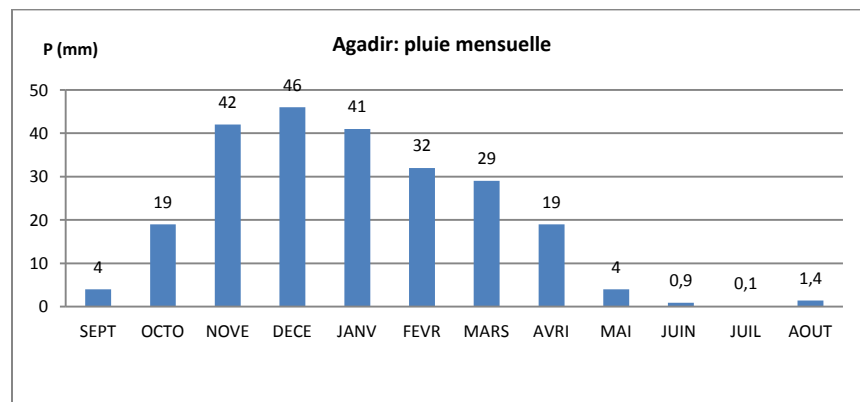


Figure 3 : Graphiques des principaux paramètres climatiques (1998-2007)/annexe 1.

III. La géologie du bassin versant :

Géologie régionale et locale (produits du service géologique du Maroc) :

Sur le plan régional, la zone d'étude est située sur le flanc sud de l'anticlinal d'Ait Lamine qui se localise dans la zone pré-atlasique méridionale du Haut Atlas occidental. Les principaux âges géologiques qui y sont représentés, s'étalent de fin du crétacé inférieur jusqu'au quaternaire.

Les caractéristiques de ces formations géologiques, de la zone étudiée sont comme suit :

- Le Quaternaire

Dans la région d'Agadir on rencontre deux types de quaternaire : le quaternaire marin compris entre Cap Ghir et Agadir et le quaternaire continental dans la vallée du Souss. Le premier type de quaternaire est constitué de grès coquilliers conglomératiques et de lumachelles tendres, alors que le deuxième est formé par des terrasses limoneuses, marnes, calcaire lacustre et conglomérats.

- Le pliocène Plaisancien (Pliocène ancien)

Dans cette région, le Pliocène repose soit sur l'Oligocène, soit sur le Crétacé supérieur et se trouve surmonté par le Calabrien. Dans sa phase récente, le pliocène, après le premier cycle sédimentaire du Plaisancien-Astie, comporte deux autres cycles :

- le Calabrien (=Moghrebien) à faciès marin, (calcaire gréseux, lumachellique) ;
- Le Villafranchien à faciès continental (conglomérats)

- L'Oligocène supérieur

Après la lacune de l'Eocène, l'Oligocène formé de conglomérats blancs, repose directement et en légère discordance sur le Maestrichtien.

- Le Sénonien ou Crétacé supérieur

Il est représenté par ses sous-étages classiques : Coniacien, Santonien, Campanien, et Maestrichtien.

Le Santonien : offre un faciès comparable à celui du Coniacien, les grès remplacent souvent les calcaires. La puissance moyenne est de 80-100 m dans l'un et de 200 m dans l'autre.

Le Campanien : est représenté par une formation tendre, épaisse de 100 à 200 m, de marnes blanches souvent gypsifères à la base, de marnes jaunes et de grès de même teinte, plus ou moins marneux.

Le Maestrichtien : est constitué par des marnes siliceuses blanches à concrétions calcaires parfaitement sphériques à la base. La puissance est de 100 à 150 m.

- Le Turonien

Il correspond à une puissante barre calcaire dolomitique épaisse de 30 à 60 mètres très compacte avec de nombreux lits de silex, ses affleurements sont exploités comme matériaux de construction dans des carrières au Nord d'Agadir.

- Le Cénomaniens

Il débute par une sédimentation marneuse à huîtres. Cet étage comporte essentiellement des faciès marneux à huîtres avec des niveaux calcaires ou gréseux en faible proportion. Il est limité à la base par le calcaire de l'Albien supérieur et au sommet par la barre calcaire, du Turonien inférieur. Sa puissance moyenne varie de 250 à 400 mètres.

- L'Albien :

L'Albien inférieur et moyen sont marneux, et l'Albien supérieur calcaire. Les calcaires lithographiques de l'Albien supérieur ont fait l'objet d'extraction de la roche dure au niveau de certaines carrières de la région.

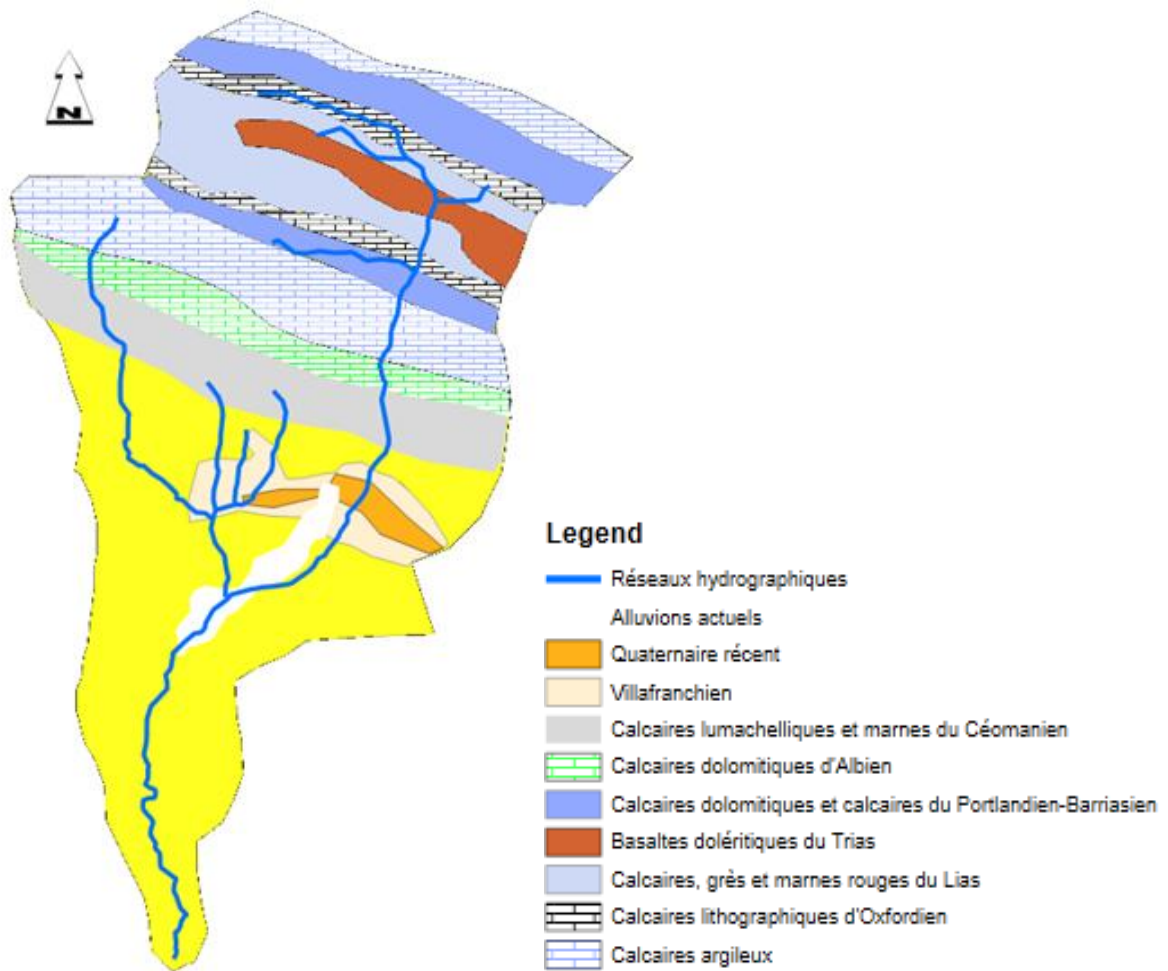


Figure 4: géologie du bassin versant d'après le plan national de cartographie géologique.

Chapitre 2: caractérisation morphologique du bassin versant de l'oued Ighzer El Arba

L'oued IGHZER EL ARBA se situe sur le haut atlas occidental près de l'océan atlantique. C'est un petit affluent rive gauche de l'oued Souss, avec qui, il conflue entre Tikiouine et le centre de DRARGA.

Pour les besoins de l'étude, le modèle numérique du terrain a été téléchargé à partir du site américano-japonais ASTER GDEM. Cet MNT a été traité par ArcGIS, pour en établir l'hypsométrie du bassin versant et partant ses caractéristiques physiques utilisées dans les études hydrologiques.

Les principales caractéristiques physiques étudiées pour tout bassin hydrologique sont détaillées ci après. Elles constituent des paramètres d'entrée des formules et des modèles de calcul de débit.

1. Superficie :

La superficie du bassin versant est obtenue par planimétrie sur carte topographique où à l'aide des logiciels de cartographie ou autre.

2. Périmètre :

Le périmètre du bassin versant est obtenu par curvimètre sur carte ou à l'aide de logiciels informatiques.

3. Longueur du cours d'eau principal :

La longueur du cours d'eau principal renseigne sur le temps de transit de l'eau pour atteindre l'exutoire.

4. Forme :

4.A) Indice de Gravius :

La forme du bassin versant est approchée par l'indice de compacité de Gravius (K_c).

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Formule: indice de compacité de Gravius

Avec :

P : périmètre du bassin en Km

S : surface en Km²

K_c : adimensionnel, il vaut généralement 1 pour un bassin quasi circulaire. Plus il est grand, plus le bassin présente une forme allongée.

4 .B) Indice de Horton :

Il exprime le rapport de la largeur moyenne du bassin versant à la longueur du cours d'eau principal.

$$K_h = \frac{S}{Lc^2}$$

Formule: indice de compacité de Horton

Avec :

S : surface en Km².

Lc : longueur du cours d'eau principal

Un bassin allongé présente un indice inférieur à 1.

5. Rectangle équivalent :

On assimile par convention le bassin versant à un rectangle qui lui est équivalent en superficie. Sa longueur est définie à partir de son indice de compacité Kc et de sa superficie S, par ce qui suit :

$$L = \frac{Kc \sqrt{S}}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right)$$

Formule: longueur du rectangle équivalent

La largeur en est déduite.

6. Le relief :

La carte représentant le relief, extraite d'un MNT à résolution 30x30m.

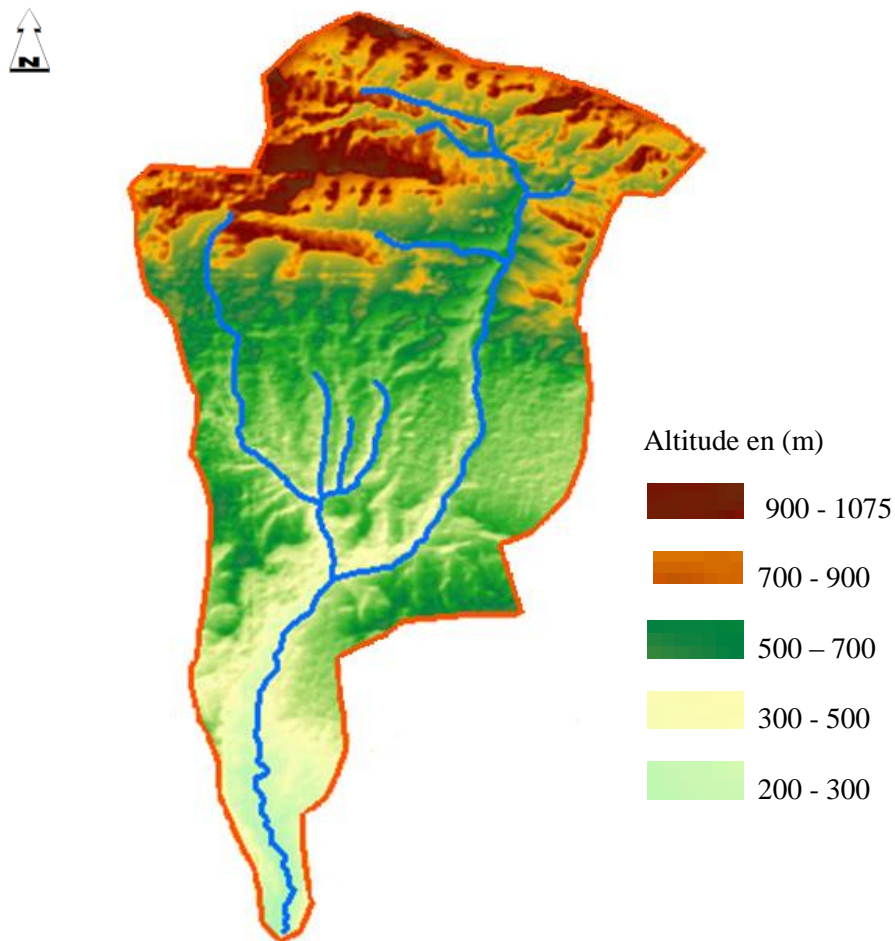


Figure 5: Bassin versant hydrologique et hypsométrie

6.A) Altitudes caractéristiques :

- L'altitude maximale H_{max}
- L'altitude minimale H_{min}
- L'altitude moyenne du bassin H_{moy} en m. elle est calculée en pondérant la hauteur moyenne d'une tranche d'altitude par la surface partielle de cette tranche selon la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{h_{i-1} + h_i}{2} \right) \cdot S_i \right)$$

Formule: altitude moyenne d'un bassin versant

Avec :

S : surface totale du bassin versant en Km^2

H_{i-1} : limite inférieure d'une tranche d'altitude en m

H_i : limite supérieure de cette tranche d'altitude en m

S_i : surface partielle de cette tranche en Km^2

- l'altitude médiane, $H_{50\%}$ au-dessus de laquelle est située 50 % de la superficie du bassin versant.
- l'altitude la plus fréquente H_{mode} . C'est l'altitude moyenne de la tranche modale.
- l'altitude $H_{5\%}$, au-dessus de laquelle est située 5% de la superficie du bassin.
- l'altitude $H_{95\%}$, au-dessus de laquelle est située 95% de la superficie du bassin versant.

6.B) Pentas caractéristiques :

On distingue pour les pentes celles pour les bassins et celles des oueds.

6.B.i) Pentas du bassin versant :

Les principales pentes qu'on calcule pour les bassins versant sont les suivantes :

- indice de pente de Roche :

L'indice de pente de Roche I_p est calculé à partir du rectangle équivalent. C'est un indice adimensionnel qui rend compte de l'influence de la pente du bassin sur son régime hydrologique. Il est défini par :

$$I_p = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n h_i \sqrt{\frac{h_i - h_{i-1}}{L_i}}$$

Formule: indice de pente de Roche

Avec :

L : longueur du rectangle équivalent en m

$h_i - h_{i-1}$: dénivelé de la tranche des altitudes h_i à h_{i-1} en m.

L_i : longueur sur le rectangle équivalent de la surface partielle correspondante à la tranche d'altitude $h_i - h_{i-1}$ en m.

- indice de pente globale :

L'indice de pente globale I_g qui est exprimé en m/m ou en pourcent, est défini par :

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

Formule: indice de pente globale

Avec :

$H_{5\%}$: altitude au dessus de laquelle se situe 5% de la superficie du bassin en m.

$H_{95\%}$: Altitude du-dessus de laquelle se situe 95% de la superficie du bassin versant en m.

L : longueur du rectangle équivalent.

- Dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique D_s en m, est définie par :

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{S}$$

Formule: dénivelé spécifique d'un bassin versant

Avec :

I_g : indice de pente globale en m/m.

S : superficie du bassin versant en m^2 .

La classification suivante de l'ORSTOM (Office Régional Scientifique et Technique d'Outre-Mer : office français), permet de se prononcer sur la nature du relief des bassins versants.

Tableau 2 : classification OSTROM de la nature du relief.

CLASSE	NATURE DU RELIEF	VALEUR DE D_s
R1	Relief très faible	Moins de 10 m
R2	Relief faible	10 à 25 m
R3	Relief assez faible	25 à 50 m
R4	Relief modéré	50 à 100 m
R5	Relief assez fort	100 à 250 m
R6	Relief fort	250 à 500 m
R7	Relief très fort	500 m et plus

6.B.ii) Pentes de l'oued :

La pente moyenne du cours d'eau I_{moy} en m/m est définie par :

$$I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Formule: pente moyenne du cours d'eau

Avec :

H_{max} : Altitude maximale du bassin versant en m.

H_{min} : Altitude minimale du bassin versant en m.

L : longueur du cours d'eau principal.

7. Récapitulatif des caractéristiques physiques calculées :

Tableau 3: Récapitulatif des caractéristiques physiques du BV

PARAMETRE	VALEUR
Superficie en (km ²)	41,323
Périmètre en (km)	38,603
Altitude max (m)	1075
Altitude min (m)	200
Dénivelée (m)	875
Longueur oued (km)	16,510
Pente moyenne oued (m/m)	0,053
Longueur rectangle équivalent (km)	16,849
Largeur du rectangle équivalent (km)	2,453
Indice de Gravilus (adimensionnel)	1,68
Indice d'Horton (adimensionnel)	0,15

Chapitre 3 : approches de détermination des débits de crues

I. Méthode suivie :

Les débits de cet oued ne sont pas mesurés, ils seront donc calculés par des formules empiriques et par analogie avec les bassins versants des stations hydrologiques voisines.

Après la définition des caractéristiques physiques du bassin versant, on étudiera les pluies qu'il reçoit durant un pas de temps égal au temps de concentration.

Ensuite on estimera les débits de pointes des crues à l'aide des méthodes usuelles. On en retiendra après justification, les valeurs finales des débits des crues de fréquences 10, 20, 50, 100 et 1000 ans.

Les formules utilisées pour l'estimation des débits de pointe sont :

- Rationnelle.
- Mallet-gauthier
- Hazan lazareviç
- Fuller 2
- Francou-rodier
- Formule de synthèse régionale des débits spécifique des crues
- USSCS
- Gradex des pluies

Les approches analogiques vont se baser sur les relevés des stations hydrologiques suivantes, sachant que les coordonnées moyennes du bassin versant sont : $X= 108000$ m ; $Y= 394000$ m

- Abdelmoumen (par étude de barrage) : $X=128000$ m ; $Y= 404000$ m
- Imi Imiki : $X= 93600$ m ; $Y= 399000$ m
- Tamri : $X= 106000$ m ; $Y= 382000$ m

II. Les pluies :

L'étude des pluies est déterminante dans le calcul des débits. En effet, la pluie est le principal paramètre d'entrée de toutes les formules empiriques de calcul des débits.

Les variations spatiales et temporelles des précipitations au niveau du bassin de Souss-Massa-Draa, sont importantes, la pluie diminue d'Ouest en Est et du Nord au Sud, les précipitations annuelles de la zone étudiée se situent aux alentours de 240 mm/an.

On s'intéressera à la moyenne annuelle, à la pluie maximale en 24 heures de chaque année hydrologique et à l'intensité des pluies.

II.1) Apport en eau :

L'apport en eau de l'oued Ighzer El Arba, est estimé par analogie avec le bassin versant de l'oued Tamraghte, qui lui est limitrophe au Nord-Est.

L'apport moyen annuel observé sur la période 1980-81 à 2009-10, de l'oued Tamraghte à la station hydrologique Imi Imiki n° 55/60, est de 25,3 Millions m³/an, pour une surface de 453 km². D'où un débit spécifique moyen annuel de 1.773 l/s/km².

Ainsi, l'apport en eau du bassin versant de l'oued Ighzer El Arba à Tighalimine, d'une superficie de 41.3 km² est de 2,31 Millions m³.

II.2) Etude fréquentielle des pluies journalières maximales à Agadir :

Les pluies reçus par le bassin versant sont assimilées à celles reçues à la ville d'Agadir, présentant des mesures complètes et jugées fiables.

La série des pluies journalières (Pj) à Agadir est donnée en annexe 2, ses statistiques de base sont comme suit :

Tableau 4 : Etude fréquentielle des Pjmax à Agadir, statistique de base

Nombre d'observations	90
Minimum	10.10
Maximum	105.1
Moyenne	43.56
Ecart- type	20.38
Médiane	40.30
Coefficient de variation (Cv)	0.4678
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.8521
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3.354

A l'aide du logiciel HYFRAN-PLUS (version démonstrative) de l'INRS-ETE canada, on a ajusté à cette série plusieurs modèles probabilistes, pour en retenir le meilleur.

Selon les critères AKAIKE et BAYESIEN, c'est la loi Gumbel qui s'ajuste le mieux à l'échantillon.

La fonction de répartition de la loi Gumbel est comme suit :

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\theta}{a}\right)}}$$

Formule: fonction de répartition de la loi de Gumbel

Ses paramètres sont :

- Paramètre de la forme α , il vaut $\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma$ par la méthode des moments. C'est la pente de la droite de Gumbel, appelé le Gradex.
- Paramètre de position θ , il vaut par la méthode des moments $\theta = m - \gamma \cdot \alpha$, où γ est la constante d'Euler qui vaut 0,5772156649.
- m étant la moyenne de l'échantillon et σ sont écart type.

Tableau 5 : Résultats de l'ajustement la loi de Gumbel

Paramètres : alpha = 16,148034 u = 34,199848		
Quantiles	q=F(X)	T= 1/(1-q)
T		q
		XT
1000	0,9990	145,7
200	0,9950	119,7
100	0,9900	108,5
50	0,9800	97,21
20	0,9500	82,16
10	0,9000	70,54
5	0,8000	58,42
3	0,6667	48,78
2	0,5000	40,12

III. Débits de pointe des crues :

III.1) Calcul du temps de concentration :

Le temps de concentration caractérise le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin versant hydrologiquement la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir à celui-ci.

Il est estimé comme étant la somme des termes suivants :

- T_h , temps d'humectation : c'est le temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau précipitée avant qu'elle ne ruisselle.
- T_r , temps de ruissellement ou d'écoulement : c'est le temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons du sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturelle, collecteur...)
- T_a , temps d'acheminement : c'est le 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 à la somme de ces trois termes, soit :

$$T_c = \max(\sum(T_h + T_r + T_a))$$

Formule: hydrologie, temps de concentration

Il est bien entendu que le débit est maximal pour un épisode pluvieux de durée supérieure ou égale au temps de concentration du bassin versant T_c . Plusieurs formules permettent de le calculer. Parmi celles-ci les plus utilisées dans le contexte méditerranéen et régional sont :

III.1.a : Ventura

L'énoncé de la formule Ventura est comme suit :

$$T_c = 7,632.S^{0,5}.I^{0,5}$$

Formule: temps de concentration, Formule de Ventura

- T_c en minutes.
- S = Superficie du bassin versant en Km^2 .
- I = pente moyenne du cours d'eau principal en m /m.

III.1.b : Turraza- Passini

L'énoncé de la formule Passini est comme suit :

$$T_c = 6,48 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot S}}{\sqrt{I}}$$

Formule: temps de concentration, Formule de Passini

- Tc en minutes.
- S = Superficie du bassin versant en Km².
- I = pente moyenne du cours d'eau principal en m /m.
- L= longueur du cours d'eau principal en km.

III.1.c : Giandotti

L'énoncé de la formule de Giandotti est comme suit :

$$T_c = \frac{4 \sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{Hm - Hs}} \cdot 60$$

Formule: temps de concentration, Formule de Giandotti

- Tc en minutes.
- S = Superficie du bassin versant en Km².
- I = pente moyenne du cours d'eau principal en m /m.
- L= longueur du cours d'eau principal en km.
- Hm= hauteur moyenne du bassin versant en m.
- Hs= hauteur de l'exutoire du bassin en m.

III .1.d : Kirpich

L'énoncé de la formule de kirpich est comme suit :

$$T_c = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot I^{0,385}$$

Formule: temps de concentration, Formule de kirpich

- Tc en minutes.
- I = pente moyenne du cours d'eau principal en m /m.
- L= longueur du cours d'eau principal en km.

III.1.e : Formule Espagnole

L'énoncé de la formule Espagnole est comme suit :

$$T_c = 18 \cdot L^{0,77} \cdot I^{0,1925}$$

Formule: temps de concentration, Formule Espagnole

- Tc en minutes.
- I = pente moyenne du cours d'eau principal en m /m.
- L= longueur du cours d'eau principal en km.

III.1.f : Ven Te Chow

L'énoncé de la formule ven Te Chow est comme suit :

$$T_c = 7,38 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0,64}$$

Formule: temps de concentration, Formule de Ven Te Chow

- Tc en minutes.
- I = pente moyenne du cours d'eau principal en m /m.
- L= longueur du cours d'eau principal en km.

III.1.g : Us Corps of Engineers

L'énoncé de la formule de l'US corps of Engineers est comme suit :

$$T_c = 16,682 \cdot (L \cdot I^{-0,25})^{0,77}$$

Formule: temps de concentration, formule de l'US corps of Engineers

- Tc en minutes.
- I = pente moyenne du cours d'eau principal en m /m.
- L= longueur du cours d'eau principal en km.

III.1.h : Formule Californienne :

L'énoncé de la formule Californienne est comme suit :

$$T_c = 8,712 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0,77}$$

Formule: temps de concentration, formule Californienne

- Tc en minutes.
- I = pente moyenne du cours d'eau principal en m /m.
- L= longueur du cours d'eau principal en km.

III.1.i : Formule de Bransby Williams

L'énoncé de la formule de l'USSCS : United States Conservation Services, est comme suit :

$$T_c = 14,557 \cdot L \cdot S^{-0,1} \cdot I^{-0,2}$$

Formule: temps de concentration, formule Bransby Williams

- Tc en minutes.
- I = pente moyenne du cours d'eau principal en m /m.
- L= longueur du cours d'eau principal en km.
- S= superficie du bassin en km².

III.1.j : choix du temps de Concentration

Le tableau suivant récapitule les divers valeurs du temps de concentration obtenues par ces formules. La valeur du temps de concentration retenue est la moyenne des valeurs proches. On a éliminé les valeurs extrêmes très grandes ou très petites pour laisser que les valeurs centrales.

Tableau 6: Récapitulatif du temps de concentration du bassin versant selon les différentes méthodes

FORMULE	Tc (h)
VENTURA	3,6
PASSINI	4,1
GIANDOTTI	3,1
KIRPICH	1,8
FORMULE ESPAGNOLE	4,4
VEN TE CHOW	1,9
CORPS OF ENGINEERS	4,2
FORMULE CALIFORNIENNE	3,9
BRANSBY WILLIAMS	5,0
Tc retenu (les petits pour la sécurité)	4,05
Vitesse moyenne d'écoulement de l'eau le long du cours d'eau principal lors des crues	$V = \frac{\text{Longueur du cours d'eau}}{T_c} = 1,13 \text{ m/s}$

III.2) Pluies pendant Tc :

La crue est maximale pour une averse généralisée à tout le bassin versant d'une durée au moins égale au temps de concentration du bassin versant.

Les pluies reçus pendant le temps de concentration Tc, sont déduites des Pj max (en 24 heures) en les réduisant à l'aide de la formule suivante.

$$P_{Tc} = P_{24} \cdot \left(\frac{Tc}{24}\right)^a$$

Formule: réduction des Pj max

Le paramètre a=0,32, est obtenu par calage de la formule sur les valeurs des pluies obtenues par les courbes d'intensité-durée de pluies d'Agadir.

On obtient ainsi le tableau suivant des pluies maximales pendant le temps de concentration du bassin versant qui est de 4 heures.

Tableau 7 : Pluies humides extrêmes pendant Tc

	Pluie de période de retour humide en ans						
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	1000 ans
Pluie en 24 heures à Agadir	40.1	58.4	70.5	82.2	97.2	108.5	145.7
Pluie en Tc= 4heures	20.6	30.1	36.3	42.3	50.0	55.8	75.0

III.3) Débits par la méthode rationnelle :

Expression de la formule :

La formule rationnelle est généralement utilisée pour des petits bassins versants. Elle a l'expression suivante dans laquelle il faut homogénéiser les unités.

$$Q_T = \frac{C \cdot P_T(T_c) \cdot S}{3,6 T_c}$$

Formule: formule rationnelle du débit

- Q_T = débit de pointe d'une crue de période de retour donnée en m^3/s .
- C = coefficient de ruissellement du bassin versant pour la crue considérée. Il est fonction des caractéristiques physiques et de la nature des terrains de couverture d bassin versant. Il est généralement déterminé de façon empirique pour un contexte hydrologique particulier et donné par des tables spécifiques. Il est aussi variable selon la période de retours de la crue.
- $P_T(tc)$ = pluie en mm pendant le temps de concentration de même période de retour que la crue considérée. Elle est déduite des courbes Intensité-Durée-Fréquence ou d'une formule de réduction des pluies en 24 heures.
- S = superficie du bassin versant en km^2 .
- T_c = temps de concentration en heures.

Les deux principales inconnues sont le coefficient de ruissellement et les pluies pour les courtes durées.

Coefficient de ruissellement :

Le tableau des coefficients de ruissellement recommandé par le SETRA (service des études sur le transport, les routes et leurs aménagements : organisme français) pour une période de retour décennale et pour des bassins versants de superficie inférieure à $100 km^2$, est comme suit :

Tableau 8 : Coefficients de ruissellement par SETRA

COUVERTURE VEGETALE	MORPHOLOGIE	PENTE MOYENNE %	TERRAIN AVEC SABLE GROSSIER	TERRAIN ARGILEUX OU LIMONEUX	TERRAIN ARGILEUX COMPACT
Bois	Presque plat	0 – 5 %	0,10	0,30	0,40
	Onduleux	5 – 10 %	0,25	0,35	0,50
	Montagneux	10 – 30%	0,30	0,50	0,60
Pâturage	Presque plat	0 – 5 %	0,10	0,30	0,40
	Onduleux	5 – 10 %	0,15	0,36	0,55
	Montagneux	10 – 30%	0,22	0,42	0,60
Culture	Presque plat	0 – 5 %	0,30	0,50	0,60
	Onduleux	5 – 10 %	0,40	0,60	0,70
	Montagneux	10 – 30%	0,52	0,72	0,82

On est dans une zone boisée à relief onduleux et à terrain argilo-limoneux.

Le coefficient de ruissellement retenu est de 0,35 pour la crue décennale.

Pour les crues à période de retour supérieures : décennale à centennale, ce coefficient sera majoré en le faisant varier de 0,50 à 1 selon une loi logarithmique, considérant qu'il vaut 1 pour une période de retour de 1000 ans. Soit $C = (\log T) / 3$.

III.4) Débits par Mallet Gauthier :

L'énoncé de la formule de Mallet Gauthier est comme suit :

$$Q_T = 2.k.\log_{10} (1+a.H_T) \cdot \frac{S}{\sqrt{L}} \cdot \sqrt{(1 + 4.\log_{10} T - \log_{10} S)}$$

Formule: débit, formule Mallet Gauthier

- Q_T = débit de pointe pour la période de retour T (m³/s)
- H_T = Pluie moyenne annuelle en m, ici P=0,238 m
- T = période de retours en ans.
- L= longueur du cours d'eau principal en k, ici L= 16,51 km
- S= superficie du BV en km².
- a = paramètre variant de 20 à 30. On prend 20 pour le Maroc.
- K= paramètre régional variant de :
 - 0,5 : grands bassins versants à faible pente.
 - à 5 : petits bassins versants à forte pente.
- On prend K=4 pour le bassin versant étudié.

III.5) Débits par Hazan Lazareviç :

La formule de Hazan Lazareviç a été développée au Maroc. Elle donne le débit millénial en fonction de la superficie du bassin versant. Sa formule est comme suit :

$$Q (1000 \text{ ans}) = a.S^b$$

Formule: débit, formule Hazan Lazareviç

Tableau 9: Paramètres régionaux de Hazan Lazareviç

Zone		Pluviométrie mm	a	b
Rif	Rif central	1000-1300	15.53	0.776
	Rif occidental	800-1000	9.78	0.793
	Rif Oriental	600-800	7.58	0.808
Moyen Atlas Saharien		700-900	14.94	0.636
		500-700	13.51	0.613
		400-500	13.47	0.587
Haut Atlas Saharien		200-400	9.38	0.742

On prendra celle du Haut Atlas saharien.

Les débits de récurrences autres que millénial, sont calculés à partir de celui-ci par la formule initiale de Fuller : $Q(T) = Q_{m \max} \cdot (1 + 0,8 \log T)$

- $Q(T)$ = Débit de pointe de période de retour T

- $Q_{m \max}$: moyenne des débits maxima instantanés annuels observés en un endroit donné.

De ce raisonnement $Q_{m \max}$ en 1000 ans = $Q(1000) / (1 + 0,8 \log 1000)$

D'où :

$$Q(T) = Q_{1000} (1 + 0,8 \log T) / (1 + 0,8 \log 1000)$$

Formule: débit, formule de Fuller 1

III.6) Débits par Fuller 2 :

L'énoncé de la formule de Fuller 2 est comme suit :

$$Q_T = \frac{4}{3} \cdot \frac{N}{100} \cdot S^{0.8} \cdot (1 + 2,667 \cdot S^{-0.3}) \cdot (1 + c \cdot \log T)$$

Formule: débit, formule Fuller 2

- QT= débit de pointe de période de retour T en m³/s.
- T= période de retours en ans.
- S= superficie du bassin versant en km².
- C= paramètre régional variant tabulé, ici c=2

Valeur de C	Régions
0,7 à 0,8	Régions humides
0,8 à 2	Régions arides
3 à 3,5	Oueds Sahariens

- N= paramètre régional variant tabulé, ici N= 85

Valeur de N	Région
80	Plaines
85	Relief accidenté
100	Montagne

III.7) Débits par Franco-Rodier :

Ses auteurs (Franco et Rodier, 1969) ont classé plusieurs centaines de crues dans le monde dans un diagramme $\log Q = f(\log A)$. Ils ont constaté que dans des régions relativement homogènes, les points étaient plus ou moins alignés. Ils en ont déduit une formule générale de la forme:

$$\frac{Q}{Q_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\left(1-\frac{K}{10}\right)}$$

Formule: débit, formule Franco-Rodier

- Q = débit maximum en m^3/s .
- Q_0 = débit maximum d'une crue observée dans un bassin de superficie S_0 (en km^2)
- S = superficie du bassin versant en km^2 .
- K = coefficient de Franco-Rodier, caractérisant la ressemblance entre les deux BV.

La formule de franco-rodier été développée (empiriquement) au Maroc, sa reformulation devient :

$$Q_T = 10^6 \cdot \left(\frac{S}{10^8}\right)^{\left(1-\frac{K_T}{10}\right)}$$

Formule: débit, formule Franco-Rodier Au Maroc (EMI 1999)

- K_T = coefficient régional : inconnu (adimensionnel).
- Q = débit connu en m^3/s .
- S = superficie du bassin versant en km^2 .

Le coefficient K_T est déduit par raisonnement inverse des valeurs des débits de pointes des crues pour des

stations hydrologiques voisines : $K_T = 10 \cdot \left[1 - \left(\frac{\ln \frac{Q_T}{10^6}}{\ln \frac{S}{10^8}} \right) \right]$.

On a synthétisé les valeurs du coefficient k , à partir des ajustements de la loi Gamma, (la mieux adaptée au contexte hydrologique local), aux séries des débits maximaux instantanés annuels des stations hydrologiques d'Abdelmoumen, Tamri/Aît Amer et Imi Imiki/Tamraght.

Les résultats de ces ajustements sont donnés en annexe 3 pour Tamri et Imi Imiki. Pour Abdelmoumen, les débits de pointes des crues sont issus de l'étude hydrologique du barrage (extrait de sa valise documentaire à l'ABHSMD- Agadir).

Tableau 10: Débits, coefficients de Franco-Rodier pour les stations hydrologiques voisines

Station	Oued	Surface en km ²	valeur	Débit et coefficient de Franco-Rodier correspondant						
				2 ans	5	10	20	50	100	1000
Abdelmoumen n° 888/61 par étude hydrologique du barrage	Issen	1300	Q	--	--	800	1000	1400	1700	--
			K	--	--	3,66	3,86	4,16	4,33	--
Tamri n° 228/60	Ait Amer	1741	Q	325	651	884	1111	1405	1625	--
			K	2,86	3,48	3,75	3,95	4,16	4,29	--
Imi Imiki n° 55/60	Tamraght	453	Q	120	348	536	732	997	1200	--
			K	1,98	2,92	3,31	3,58	3,86	4,02	--
			Kmoy	2,42	3,20	3,57	3,80	4,06	4,22	--

On a ensuite retenu la valeur moyenne de K pour calculer les débits du bassin versant étudié.

III.8) Débits par la méthode du débit spécifique :

On transpose au bassin versant étudié, la moyenne des débits spécifique (m³/s/km²) des crues de fréquences rares, des stations hydrologiques voisines.

Le tableau des débits spécifiques des crues des stations voisines est comme suit :

Tableau 11: Débits spécifiques des crues des stations hydrologiques voisines

Station	oued	Surface en km ²	valeur	Débits spécifiques des crues Qsp						
				2 ans	5	10	20	50	100	1000
Abdelmoumen n° 888/61 par étude hydrologique du barrage	Issen	1300	Q	--	--	800	1000	1400	1700	--
			Qsp	--	--	0,62	0,77	1,08	1,31	--
Tamri n° 228/60.	Ait Amer	1741	Q	325	651	884	1111	1405	1625	--
			Qsp	0,19	0,37	0,51	0,64	0,81	0,93	--
Imi Imiki n° 55/60.	Tamraght	453	Q	120	348	536	732	997	1200	--
			Qsp	0,26	0,77	1,18	1,62	2,20	2,65	--
			Qsp moy	0,23	0,57	0,77	1,01	1,36	1,36	--

III.9 : Débits par la méthode USSCS

La méthode S.C.S (soil Conservation service of USA) est une méthode de modélisation du ruissellement du département de l'agriculture des Etats-Unis. Cette méthode couramment utilisée un peu partout dans le monde donne des résultats probants. Il permet d'estimer le ruissellement en fonction d'une hauteur d'eau précipitée et d'un facteur de rétention caractérisant le milieu. La relation S.C.S entre la hauteur de ruissellement journalière (R) et la hauteur de précipitation journalière (P_L) est la suivante :

$$R = \frac{(P_L - I_a)^2}{(P_L - I_a + S)}$$

Formule: lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie par la méthode USSCS

I_a est la hauteur d'eau ne participant pas au ruissellement du fait de l'interception par la couverture végétale, de l'évaporation et de l'infiltration. Le ruissellement n'a donc lieu que si $P_L > I_a$. I_a est communément fixé à une valeur égale à $0,2 S$.

S est un paramètre de rétention, calculé sur base du Runoff Curve Number (CN) qui est fonction de la couverture du sol, des conditions d'humidité et de la vitesse d'infiltration du sol. La relation est la suivante :

$$S = 254 \cdot \left[\left(\frac{100}{CN} \right) - 1 \right]$$

Formule: paramètre de rétention de la méthode USSCS

Ce paramètre sans dimensions CN a été introduit par le SCS pour standardiser les courbes de la pluie nette en fonction de la pluie brute. Il est normé et compris entre $0 < CN \leq 100$.

En pratique des tables fournissent des valeurs typiques de CN en fonction des différents paramètres : la classification hydrologique des sols, la couverture végétale et les conditions antérieures d'humidité du sol.

Le CN tabulé concerne les conditions normales CN II. Dans les cas de conditions sèches (CNI) ou humides (CNII), leur CN est fonction du CN II .

On trouvera en annexe 4 en titre d'indication, une note explicative de la classification du sol et de calcul des coefficients CN.

Calage de la formule, valeur de CN

Au lieu d'une reconnaissance du terrain, on va procéder par raisonnement inverse et calage de CN. Nous adoptons l'analyse des débits de la station Amaghouz n° 1276/79, du bassin versant de l'oued Massa. On a: $CN = 25400 / (S + 254)$ et $S = f(R \text{ et } P_L)$ d'après la formule 29, qu'en ramène à une équation : $aS^2 + bS + c = 0$.

Tableau 12: Méthode USSCS, coefficients d'indexation du sol du Massa à la station hydrologique Amaghouz.

Période de retour ans	Pj max bassin Amaghouz mm	Débit moyen correspondant m ³ /s	Lame ruisselée mm	CN déduit
2	21,2	45	3,9	87,5
5	30,8	111	9,6	87,9
10	37,2	155	13,4	87,4
20	43,2	225	19,5	88,7
50	51,1	316	27,4	89,6
100	57,1	384	33,3	90,1
200	62,9	452	39,2	90,4
500	70,7	541	47,0	90,8
1000	76,6	609	52,9	91,0

Nous adopterons donc CN = 89.

Coefficient de pointe des crues

Le coefficient de pointe des crues est défini comme le rapport du débit de pointe au débit moyen d'une crue. Il caractérise la violence de celle-ci.

Il est égal à :

$$C_p = \frac{Q_p}{Q_m} = 1,5$$

Formule: coefficient de pointe des crues du Haut atlas

Cette valeur moyenne est issue de l'analyse des fortes crues observées aux stations hydrologiques du Haut Atlas occidental.

Procédé de calcul

Les étapes de calcul du débit sont comme suit :

- Connaissant CN on calcul S, puis I_a, puis R.
- On transforme la lame d'eau ruisselée en débit moyen durant T_c (en secondes) et moyennant la surface du BV.
- A partir de ce débit moyen on calcule le débit de pointe de la crue de période de retour considérée moyennant leur rapport moyen $\frac{Q_p}{Q_m} = 1,5$

III. 10) Débits par la méthode de Gradex :

Cette méthode est basée sur le principe, selon lequel l'extrapolation de la courbe des débits vers les fortes valeurs correspondant aux faibles probabilités ne peut se faire raisonnablement que de façon parallèle à la courbe des précipitations, puisqu'il ne peut pas ruisseler plus d'eau qu'il ne tombe et que la rétention du sol est limitée. Cette méthode admet les principes suivants :

- Les précipitations journalières s'ajustent par des lois à comportement exponentiel simple. Donc, les valeurs maximales mensuelles ou annuelles des précipitations s'ajustent au moins dans les valeurs fortes par loi de Gumbel.
- Au delà de la crue charnière, l'extrapolation de la loi des débits la plus raisonnable consiste à porter une parallèle à la loi des précipitations ;
- La loi des débits instantanés est obtenue par une affinité faite sur la loi des débits journaliers.

Les étapes suivies, à partir de l'étude des pluies, sont comme suit :

- Etudier la variabilité aléatoire « pluie reçue par le bassin versant en 24 heures » ; l'ajuster selon la loi de Gumbel et calculer son Gradex.
- Calcul du Gradex des pluies durant le temps de concentration du bassin versant par la formule de réduction des pluies de 24 h à T_c :
$$P_{T_c} = P_{24} \cdot (T_c/24)^a \quad \text{avec } a=0,32$$
- Considérer le débit décennal pour le bassin étudié à calculer par les autres formules, ou le débit spécifique moyen des bassins versants voisins.
- Extrapoler la fonction de répartition des débits au delà de 10 ans par une droite de pente égale au Gradex de pluie converti en valeur de débit en utilisant la surface du bassin.
- Considérer un coefficient de pointe pour transformer les débits moyens en débits de point.

Les données hydrologiques existantes :

Une série (concaténée) de pluviométrie d'Agadir, représentant les précipitations journalières maximales, une valeur pour une année agricole de 1922- 2010 (90 observations).

Estimation du débit de référence (T 10 ans) :

Le débit de pointe de référence est de 31 m³/s, obtenu à partir du débit spécifique de trois bassins versants voisins d'Issen, d'Ait Amer et de Tamraght.

Gradex des pluies en T_c :

Le Gradex des pluies pendant T_c d'après l'ajustement de la série est de : 8,958 mm/4heures.

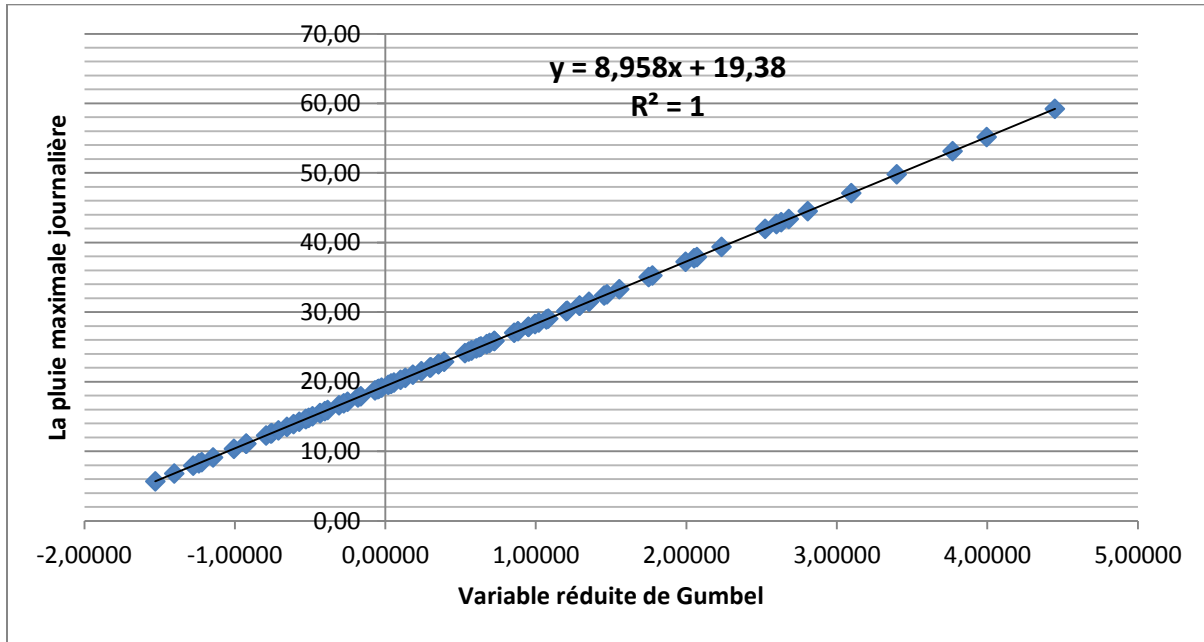


Figure 5 : Gradex des pluies en T_c

On admettant l'hypothèse du Gradex :

La courbe intensité-fréquence des pluies de durée T_c, est parallèle à la courbe intensité-fréquence du débit, on peut avoir le Gradex des débits par la formule suivante : *Gradex des débits = (surface du bassin en Km² x gradex des pluies) / (3,6 x T_c (heures))*. S=41, 3km², T_c= 4heures.

$$Gq = \frac{S}{3,6 \times T_c} \times Gp = 25,75 \text{ m}^3/\text{s}$$

Formule: le Gradex des débits à partir du Gradex de précipitations

On considérant qu'une pluie d'une période de retour T engendre une crue de même période de retour :

$$Q(T) = Q_{10} + Gq \cdot \ln\left(\frac{T}{10}\right) \cdot \text{un coeff de pointe}$$

Formule: le débit de période de retours T, en fonction du Gradex des débits

Avec: Q₁₀= 31m³/s

Gq= 25,75 m³/s

Coeff de pointe adopté = 1,5

III. 11) Résumé des résultats et discussion :

Le tableau suivant récapitule les débits obtenus par les diverses méthodes utilisées :

Tableau 13 : Récapitulatif des débits obtenus

Méthode	Débit de pointe de la cure de période de retour						
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	1000ans
RATIONNELLE	--	--	36	60	80,7	107,3	212,6
MALLET GAUTHIER	47	91	114	132	154	168	209
HAZAN LAZAREVIC	--	--	78	89	102	113	148
FULLER	67	100	125	150	183	208	292
FRANCOU RODIER	17	51	81	115	163	203	--
DEBIT SPECIFIQUE	9	21	31	42	56	67	--
USSCS	19	44	63	83	109	130	203
GRADEX	--	--	31	57,8	93,2	120	208,9

Les méthodes de MALLET GAUTHIER, FULLER et FRANCO RODIER, donnent des débits surestimés ; que l'on va écarter.

La méthode du débit spécifique, présente un ordre d'importance du débit de pointe décennale qui est très impuissant pour être considéré en dimensionnement des ouvrages (cette méthode de contexte local intéressante va présenter la base du débit décennal).

La méthode du Gradex présente l'avantage d'être moins subjective, car issue de mesures de pluies réelles à un pluviomètre proche du bassin versant. Cette méthode qui suppose une averse généralisée à toute l'étendue du bassin versant prouve son efficacité pour les bassins de petite taille, où cette condition a beaucoup de chance de se réaliser, ce qui est notre cas.

Finalement les débits de pointes de fréquences rares retenus sont donc ceux issues de la méthode de Gradex:

Tableau14 : Les débits de pointe des crues de fréquences rares humides retenus

Période de retours	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	1000 ans
Débits en m ³ /s	31	58	93	120	209

CONCLUSION

Une série d'études a été effectuée sur cette région pour permettre de bien comprendre son fonctionnement hydrologique. La plus part du temps les précipitations dans ce bassin sont de type orageux causant de temps en temps des grands dégâts.

L'Oued Ighzer El Arba draine une fraction du flanc Ouest- sud du haut-atlas près de la ville d'Agadir. La superficie de son bassin versant au niveau du projet est de 41, 3 km².

Les formations géologiques dominantes sont les calcaires.

La zone étudiée a d'un climat aride à semi-aride.

La pluie moyenne reçue par le bassin versant est de 238mm/an, à Agadir, pris comme poste de référence.

Les débits de pointes des crues de fréquences rares humides, calculés à l'endroit du projet sont comme suite :

Débit décennal :	31 m ³ /s
Débit vingtenal :	58 m ³ /s
Débit cinquentinal :	93 m ³ /s
Débit centinal :	120 m ³ /s
Débit millénal :	209 m ³ /s

BIBLIOGRAPHIE – ETUDES ET DOCUMENTS CONSULTES

- **(Ambroise, B. 1999)**: "La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant : processus, facteurs, modèles."

- **(Ambroise, B. 1998)**. Genèse des débits dans les petits bassins versants ruraux en milieu tempéré : 1- processus et facteurs. Revue des sciences de l'eau, 4:471_495.

- **(LPEE, 2004)** : Rapport d'étude hydrologique pour l'actualisation des potentialités des ressources en eau de surface dans le bassin de souss-Massa.

- **(RESING,2005)** : Rapport d'étude de révision du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau (PDAIRE) des bassins Souss Massa. Mission 1 : collecte des données, diagnostic et évaluation des ressources en eau et leur évolution.