

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Analyse et comparaison des méthodes d'estimation des débits de crue dans les bassins versants non jaugés (cas du bassin versant cotier Algérois).

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0020-18

APA Citation (توثيق APA):

Hassaine, Racha ibtissam (2019). Analyse et comparaison des méthodes d'estimation des débits de crue dans les bassins versants non jaugés (cas du bassin versant cotier Algérois)[Thèse de master, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics.

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: ASSAINISMENT

THEME :

Analyse et comparaison des méthodes d'estimation des débits de crue dans les bassins versants non jaugés (Cas du bassin versant Côtier Algérois)

Présenté par :

HASSAINE Racha Ibtissam

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
MEDDI Hind	MCA	Présidente
RASSOUL Abdelaziz	MCA	Examinateur
BOUFEKANE Abdelmadjid	MCB	Examinateur
KHALED/HOULI Samia	MAA	Examinateur
ZEROUAL Ayoub	MCA	Promoteur

Session Septembre 2019

Dédicace

A ceux qui étaient la cause de mon existence.

A ceux qui sont la lumière de mes yeux, la lueur de mon chemin et, l'éclat de ma réussite A ma formidable mère qui m'a toujours soutenu, qui m'a toujours encouragé et qui n'a jamais cessé de croire en moi.

A mon père qui a toujours su me donner les meilleurs conseils pour ma réussite.

A mes chers, ma sœur Maya et mon frère Sami.

A ma grand-mère et mes oncles

A mon fiancé adoré, l'homme de ma vie, la source de mon sourire, qui m'a toujours m'encouragé le long de toute mon parcours universitaire.

A ma chère famille HASSAINE, sans oublier ma belle-famille MZOURI

A tous mes amis sans exception, surtout mes chers Melissa, Meriem, Imene, Farah, Nadia et Souad.

A la FRIMM que j'aime énormément.

Racha

Remerciements

Je m'incline et me prosterne devant mon Créateur, Créateur des cieux et de la terre, DIEU de l'orient et de l'occident, DIEU de tous les êtres, pour m'avoir guidé et appris tout ce que je sais.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à mon promoteur Mr ZEROUAL Ayoub qui n'a pas hésité à m'encadrer et me suivre dans ce projet, et qui m'a accordé de son temps, de son savoir et de ces conseils.

Mes remerciements au président de jury ainsi qu'aux membres de jury pour avoir accepté d'examiner et de juger ce modeste travail.

A toute la famille de l'ENSH qui veillent sur notre bonne formation.

A ma chère famille

Je remercie le groupe FRIMM. Notre devise « Seul on va plus vite, ensemble on va plus loin avec de grands fourires » a pris tout son sens durant ce parcours.

Merci à toute personne a contribué de près ou de loin dans ce travail.

HASSAINE Rachà Ibtissam

ملخص:

تعد الفيضانات من أخطر الظواهر الطبيعية في العالم. يظل تقدير التدفقات القصوى في متجمعات المياه الغير مقاسة مصدر قلق كبير لمهنيين تهيئة الري. في السياق الجزائري، إن استخدام الصيغ التجريبية هو الحل الوحيد الذي يستعمله المهندسين. نتيجة لذلك، يهدف عملنا إلى استكشاف الصيغ التجريبية وطرق تقدير التدفقات المتواجدة في الأحواض المقاسة (شفة والحراش) من حوض الجزائر الكبير. من خلال تحليل نتائج الحساب، نلاحظ أنه بالنسبة لحوض شفة تعطي طريقة Gradex معدل تدفق أقرب إلى التدفق الملاحظ مع خطأ نسبته 6.12% (فترة العودة 10 سنوات)، ومن أجل فترات عودة مرتفعة طريقة Turraza تعطي أخطاء منخفضة نسبتها 2.54% و 1.8% (فترة عودة 50 سنة و 100 سنة)، في حين أن حوض الحراش، صيغة Turraza هي الأنسب من أجل تقدير تدفق أقرب إلى التدفق الملاحظ مع خطأ نسبته 0.05% لفترة عودة 10 سنوات. بالنسبة لفترة عودة 50 سنة، 100 سنة و 1000 سنة تعد صيغة Sokolovsky و Giandotti الأكثر دقة مع وجود خطأ نسبته 5.03% و 1.07% على التوالي.

الكلمات المفتاحية: التدفق الأعظمي، صيغة تجريبية، حوض، خطأ نسبي، Giandotti Turraza

Résumé :

Les inondations sont l'un des phénomènes naturels les plus dangereux au monde. L'estimation des débits maximums dans les bassins versants non jaugé reste une préoccupation majeure pour les professionnels des aménagements hydraulique. Dans le contexte Algérien, l'utilisation des formules empiriques est la seule solution utilisée par les ingénieurs. De ce fait, notre travail a pour but d'explorer les formules empiriques et les méthodes d'estimation des débits existants dans les bassins versant jaugés (CHIFFA et EL-HARRACH) du grand bassin Côtier Algérois. D'après l'analyse des résultats de calcul on constate que pour le bassin versant de CHIFFA, la méthode de Gradex donne un débit plus proche que le débit observé avec une erreur de 6.12% (T=10 ans), et pour des périodes de retours élevé la formule de Turraza donne des erreurs faible de 2.54% et 1.8% (T=50 ans et T=100 ans), tandis que le bassin versant d'EL-HARRACH, la formule de Turraza est la plus adéquate pour estimer les débits avec une erreur de 0.05% pour la période de retour de 10 ans. Pour les périodes de retour 50 ans, 100 ans et 1000 ans, les formules de Sokolovsky et Giandoti sont les plus efficaces avec une erreur de 5.03% et 1.07%, respectivement.

Mots clés : débits maximum, formules empiriques, bassin versant, erreur, Turraza.

Abstract:

Floods are one of the most dangerous natural phenomena in the world. The estimation of maximum flows in ungauged watersheds remains a major concern for the professionals of water development. In the Algerian context, the use of empirical formulas is the only solution used by engineers. Therefore, our work aims to explore the empirical formulas and existing methods for flows estimating in the gauged basins (CHIFFA and EL-HARRACH) of the large coastal Algerian basin. According to the results analysis, it is noted that for the CHIFFA watershed the Gradex method gives a flow rate closer to the observed flow with an error of 6.12% (T = 10 years), and for periods of High Returns period The Turraza formula gives low errors of about 2.54% and 1.8% (T = 50 years and T = 100 years), while the EL-HARRACH catchment, the Turraza formula is fine for estimating a higher flow. Near that observed rate of error 0.05% for return period of 10 years. For 50 years, 100 years and 1000 years return period, the Sokolovsky and Giandoti formulas give low errors of about 5.03% and 1.07%, respectively.

Key words: maximum flow, empirical formulas, watershed, error, Turraza.

Sommaire

Chapitre I : Méthodes de calculs des débits maximaux dans les bassins versants non jaugée

Introduction.....	9
1. Formules empiriques d'estimation du débit de pointe	9
1.1. Formule de Franco-Rodier (1969).....	9
1.2. Formule de Maillet-Gauthier.....	9
1.3. Formule d'ISKOVSKI.....	10
1.4. Formule de Possenti.....	10
1.5. Formule de Turraza	11
1.6. Formule de Sokolovsky	12
1.7. Formule de Giandotti.....	14
1.8. Méthode de l'ANRH (Taibi, 1993)	14
1.9. Méthode fréquentielle de Meddi 2017.....	15
1.10. Méthode du Gradex	16
1.11. La méthode SCS-CN	19
Conclusion.....	20

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Introduction.....	21
1. Situation géographique.....	21
1.1. Bassin versant d'Oued EL HARRACH amont	21
1.2. Bassin versant de Chiffa	22
2. Géologie	23
3. Caractéristiques géomorphologiques	26
3.1. Surface	26
3.2. Périmètre.....	26
3.3. Indice de compacité de Gravelius k_c	26
3.4. Coefficient d'allongement.....	27
3.5. Rectangle équivalent.....	27
3.6. Courbes hypsométriques.....	28
3.7. Les caractéristiques des altitudes.....	32
3.8. Indice de pente globale	33
3.9. La pente moyenne d'un cours d'eau.....	34
3.10. La pente moyenne d'un cours d'eau	34

3.11. Densité de drainage D_d	35
4. Temps de concentration T_c	35
5. Données pluviométriques et hydrométriques.....	38
Conclusion.....	40

Chapitre III : Application numérique

Introduction.....	41
1. Ajustement des pluies maximales journalières	41
1.1. Choix de la loi d'Ajustement	41
1.1.1. Ajustement à la loi de Gumbel	41
1.1.2. Ajustement à la loi log-normal (Galton)	42
1.1.3. Ajustement à la loi de GEV	43
1.2. Résultats d'Ajustement des stations	44
2. Pluies de courte durée	56
3. Estimation des débits maximums par les formules empiriques	67
3.1.1. Résultats et discussions	67
3.1.2. Application de la méthode de Gradex	67
3.1.3. Résultats de calcul des débits pour chaque bassin	71
3.1.4. Calcul d'erreur relative	75
3.1.5. Discussion des résultats.....	79
Conclusion.....	80
Conclusion générale.....	81

Liste des figures

Chapitre I : Méthodes de calculs des débits maximaux dans les bassins versants non jaugée

Figure I. 1 Les limites géographiques des trois régions identifiées pour le calcul de débit maximum (Meddi & al, 2017)	16
Figure I. 2 Ajustement des pluies et la droite d'extrapolation des débits (Laborde, 2000).....	18

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Figure II 1 : Situation géographique du bassin versant d'EL-HARRACH	22
Figure II 2: Situation géographique du bassin versant de CHIFFA	23
Figure II 3 : Carte géologique de la Mitidja (Bennie & Partners, 1983)	24
Figure II 4: Courbes hypsométrique du bassin d'EL-HARRACH	29
Figure II 5: Courbes hypsométrique du bassin de CHIFFA	30
Figure II 6: Graphique du courbe hypsométrique d'EL-HARRACH	31
Figure II 7: Graphique du courbe hypsométrique de CHIFFA	32
Figure II 8 Application de la méthode de Thiessen sur le bassin de l'Oued Chiffa.....	39
Figure II 9 Application de la méthode de Thiessen au bassin versant de l'Oued El Harrach Amont ...	40

Chapitre III : Application numérique

Figure III. 1 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel de la station 021303	44
Figure III. 2 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de log-normale de la station 021303	45
Figure III. 3 Représentation graphique de l'ajustement à la loi GEV de la station 021303	46
Figure III. 4 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel de la station 021305	48
Figure III. 5 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de log-normale de la station 021305	49
Figure III. 6 Représentation graphique de l'ajustement à la loi GEV de la station 021305	50
Figure III. 7 Courbe de pluie courte durée pour différentes périodes de retour	57
Figure III. 8 Courbes des intensités fréquentielles pour différentes périodes de retour	58
Figure III. 9 Courbe de pluie courte durée pour différentes périodes de retour	59
Figure III. 10 Courbes des intensités fréquentielles pour différentes périodes de retour	59
Figure III. 11 Graphe de l'ajustement des pluies et la droite d'extrapolation des débits chiffa1.	68
Figure III. 12 Graphe de l'ajustement des pluies et la droite d'extrapolation des débits chiffa2.	69
Figure III. 13 Graphe de l'ajustement des pluies et la droite d'extrapolation des débits EL-HARRACH	70

Liste des tableaux

Tableau I. 1 Valeur du paramètre n en fonction de la morphologie et la perméabilité du sol du bassin	10
Tableau I. 2 Paramètre m en fonction de la superficie du bassin versant	10
Tableau I. 3 Valeur de γ en fonction des caractéristiques des bassins versants (Coutagne, 1951).....	13
Tableau I. 4 Modèle pour calculer Q_{max} en fonction de la surface du bassin versant (A) en km ² et la pente du cours d'eau principal (S) sans unité (Zeroual & Meddi, 2017)	15
Tableau I. 5 Q(F) (quantile fonction) (Zeroual & Meddi, 2017).....	15

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II. 1 Répartition interannuelle des températures pour le bassin versant de la CHIFFA (ONM)	25
Tableau II. 2 Répartition interannuelle des précipitations pour le bassin versant de la CHIFFA (ANRH).....	25
Tableau II. 3 Répartition interannuelle des températures pour le bassin versant d'EL-HARRACH Amont (ONM)	25
Tableau II. 4 : Répartition interannuelle des précipitations pour le bassin versant d'EL-HARRACH Amont (ANRH)	26
Tableau II. 5 Les caractéristiques géomorphologiques des bassins versants	28
Tableau II. 6 Courbe hypsométrique du bassin versant EL-HARRACH	31
Tableau II. 7 Courbe hypsométrique du bassin versant CHIFFA	31
Tableau II. 8 caractéristiques des altitudes des bassins versants.....	33
Tableau II. 9 Indice de pente globale (I _g).....	33
Tableau II. 10 Classification de relief (TOUAIBIA, 2004).....	33
Tableau II. 11 La pente moyenne des cours d'eau.....	34
Tableau II. 12 Calcule de la pente moyenne des bassins versants	35
Tableau II. 13 Calcule du temps de concentration	37
Tableau II. 14 Tableau récapitulatif	37
Tableau II. 15 Stations hydrométriques des bassins versants	38
Tableau II. 16 Répartition des stations pluviométriques dans le bassin versant de la Chiffa	38
Tableau II. 17 Répartition des stations pluviométriques dans le bassin versant d'El-Harrach.....	38

Chapitre III : Application numérique

Tableau III. 1 Quantiles théoriques de Gumbel pour la station 021303	44
Tableau III. 2 Comparaison entre les résultats de la loi de Gumbel et de l'échantillon.....	45
Tableau III. 3 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021303.....	45
Tableau III. 4 Comparaison entre les résultats de la loi de Galton et de l'échantillon	46
Tableau III. 5 Quantiles théoriques de GEV pour la station 021303	46
Tableau III. 6 Comparaison entre les résultats de la loi GEV et de l'échantillon.....	47
Tableau III. 7 Résultats du Test de χ^2	47

Tableau III. 8 Quantiles théoriques de Gumbel pour la station 021305	49
Tableau III. 9 Comparaison entre les résultats de la loi de Gumbel et de l'échantillon.....	49
Tableau III. 10 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021305	50
Tableau III. 11 Comparaison entre les résultats de la loi de Galton et de l'échantillon.....	50
Tableau III. 12 Quantiles théoriques de GEV pour la station 021305	51
Tableau III. 13 Comparaison entre les résultats de la loi GEV et de l'échantillon.....	51
Tableau III. 14 Résultats du Test de χ^2	51
Tableau III. 15 Quantiles théoriques de GEV pour la station 021307	52
Tableau III. 16 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021301	53
Tableau III. 17 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021418.....	53
Tableau III. 18 Quantiles théoriques de GEV pour la station 021102	53
Tableau III. 19 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021112.....	54
Tableau III. 20 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021113.....	54
Tableau III. 21 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021115.....	54
Tableau III. 22 Quantiles théoriques de Gumbel pour la station pluviométrique 021126.....	55
Tableau III. 23 Quantiles théoriques de Gumbel pour la station 021128.....	55
Tableau III. 24 Quantiles théoriques de GEV pour la station 021126	55
Tableau III. 25 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021303	57
Tableau III. 26 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021305	58
Tableau III. 27 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021307	60
Tableau III. 28 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021102	61
Tableau III. 29 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021112	62
Tableau III. 30 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021113	63
Tableau III. 31 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021115	64
Tableau III. 32 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021126	65
Tableau III. 33 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021128	66
Tableau III. 34 débit de pointe par la méthode de Gradex chiffa 1.....	68
Tableau III. 35 débit de pointe par la méthode de Gradex chiffa 2.....	69
Tableau III. 36 débit de pointe par la méthode de Gradex EL-HARRACH.....	70
Tableau III. 37 Débit maximum calculé d'après la station 021102.....	71
Tableau III. 38 Débit maximum calculé d'après la station 021112.....	71
Tableau III. 39 Débit maximum calculé d'après la station 021113.....	72
Tableau III. 40 Débit maximum calculé d'après la station 021115.....	72
Tableau III. 41 Débit maximum calculé d'après la station 021126.....	73
Tableau III. 42 Débit maximum calculé d'après la station 021128.....	73
Tableau III. 43 Débit maximum calculé d'après la station 021303.....	74

Tableau III. 44 Débit maximum calculé d'après la station 021305	74
Tableau III. 45 Débit maximum calculé d'après la station 021307	75
Tableau III. 46 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021102).....	75
Tableau III. 47 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021112).....	76
Tableau III. 48 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021113).....	76
Tableau III. 49 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021115).....	76
Tableau III. 50 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021126).....	77
Tableau III. 51 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021128).....	77
Tableau III. 52 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021303) par rapport à la station hydrométrique 021418	77
Tableau III. 53 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021303) par rapport à la station hydrométrique 021301	78
Tableau III. 54 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021305) par rapport à la station hydrométrique 021418	78
Tableau III. 55 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021305) par rapport à la station hydrométrique 021301	78
Tableau III. 56 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021307) par rapport à la station hydrométrique 021418	79
Tableau III. 57 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021307) par rapport à la station hydrométrique 021301	79

Introduction générale

Les inondations sont l'un des phénomènes naturels les plus dangereux au monde entraînant des catastrophes humaines et matérielles, ce phénomène est dû à des facteurs tels qu'une mauvaise évaluation du débit maximum, manque de données météorologique et hydrologique (Douvinet & al, 2011). L'Algérie, est parmi les régions méditerranéennes confrontées au phénomène des inondations, surtout dans les zones arides et semi-aride. Ces phénomènes provoquent des catastrophes plus destructrices et occasionnent d'importants dégâts humains et matériels.

La prévision des événements hydrologiques extrêmes sont autant d'exercices qui nécessitent de connaître les débits maximums d'un cours d'eau et leur variabilité car c'est d'elle que va dépendre la sécurité et la pérennité de la construction des ouvrages (GAUME, 2007). Ce débit de pointe peut être obtenu à partir de l'analyse statistique de la série des débits enregistrés ou de l'analyse statistique des données de précipitations accompagnée de l'étude des caractéristiques du bassin versant (Meddi, 2014).

L'estimation de débit de pointe dans les bassins non jaugés reste une préoccupation majeure pour les professionnels des aménagements hydraulique. Pour cela, notre étude vise à étudier les formules empiriques et les méthodes existantes de détermination de débit maximum (Mallet-Gauthier, Giandoti, Possenti, Turraza, Sokolovsky, Taibi ANRH, Meddi, Franco-Rodier, ISKOVSKI, Gradex, SCS) dans deux sous bassins jaugés (CHIFFA et EL-HARRACH) du grand bassin côtier Algérois en fonction des précipitation et caractéristiques de ces derniers, puis on compare le débit calculer avec le débit de la station hydrométrique ; pour cela nous avons divisé notre travail en trois chapitres :

Chapitre I : méthodes de calcul des débits maximums dans les bassins versants non jaugée.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Chapitre III : Application numérique et discussion

Chapitre I : Méthodes de calcul des débits maximaux dans les bassins versants non jaugée

Introduction

Dimensionner un ouvrage qui se trouve à l'aval d'un bassin versant donné ou d'une partie de ce dernier nécessite l'estimation des débits de crues de différents temps de retour. Dans ce but, on présente les différentes formules de calcul de débit maximum applicable pour les bassins versants non jaugés.

1. Formules empiriques d'estimation du débit de pointe

1.1. Formule de Franco-Rodier (1969)

Ces auteurs (Franco & 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 (Ouarda, 2001):

$$\frac{Q}{Q_0} = \left(\frac{A}{A_0}\right)^{1-\frac{K}{10}} \quad (\text{I.1})$$

Où

Q : débits maximums non jaugé en m^3/s

A₀ et **Q₀** : sont respectivement la superficie du bassin versant gauger et le débit maximum observé.

A : superficie du bassin-versant non jaugé en km^2

K : Coefficient de Franco-Rodier, définissant la ressemblance entre les deux BV. Ce coefficient est déterminé par analogie aux autres bassins versant voisins

1.2. Formule de Maillet-Gauthier

L'énoncé de la formule de Maillet et Gauthier pour l'estimation de la crue de période de retour T (Coutagne, 1951)

$$Q_{\max \%} = 2k \text{Log}(1 + mP) \cdot \frac{A}{\sqrt{L_p}} \cdot \sqrt{1 + 4 \text{Log}T - \text{Log}A} \quad (\text{I.2})$$

S : l'air du bassin versant en km^2 .

L_p : Longueur du cours d'eau principale en Km.

m : Coefficient régional.

K : Constante dépendant de la pente et la superficie varie entre 1 et 3.

P : Pluie moyenne interannuelle en mm.

T : Période de retour en années.

1.3. Formule d'ISKOVSKI

Cette formule donne le débit maximum (Q_{max}) en fonction de la superficie du bassin versant et la pluie annuelle (EMI, 1999) :

$$Q_{max} = n * m * P * S \quad (I.3)$$

Avec :

Q_{max} : Débits maximum en (m^3/s)

n : Paramètre dépend de la nature du bassin versant et la perméabilité du sol du bassin (Tableau I.1)

m : Paramètre dépend de la superficie du bassin versant (Tableau I.2).

\bar{P} : Pluie moyenne interannuelle en (mm)

S : superficie du bassin versant en (km^2)

Tableau I. 1 Valeur du paramètre n en fonction de la morphologie et la perméabilité du sol du bassin

Nature du bassin versant	Sol très perméables	Sol à perméabilité moyenne	Sol peu perméable	Sol imperméable
Plaine	0.03	0.055	-	-
Collines	0.035	0.07	0.125	-
Moyenne montagne	0.04-0.055	0.082-0.014	0.15-0.21	0.4-0.55
Grandes montagnes	0.06-0.08	0.16-0.21	0.36-0.6	0.6-0.8

(TOUAIBIA, 2004)

Tableau I. 2 Paramètre m en fonction de la superficie du bassin versant

S (km ²)	1	10	20	50	100	200	500	1000	2500
M	10.00	9.50	9.00	7.95	7.40	6.87	5.90	4.70	1.00

(TOUAIBIA, 2004)

1.4. Formule de Possenti

Il s'agit d'une formule déterminée spécialement pour les torrents des Alpes. Elle donne le débit maximum en fonction de la précipitation maximale enregistrée durant 24 heures. Son expression s'écrit comme suit (EMI, 1999) :

$$Q_{p\%} = \frac{\mu * P_{max j(\%)*A}}{L_p} \quad (I.4)$$

Avec

$Q_{p\%}$: Débit de pointe en m^3/s .

$P_{max,j}$ (%) : Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée (mm).

μ : Coefficient d'ajustement varie entre 700 et 800.

L_p : Longueur du cours d'eau principale en Km.

1.5. Formule de Turraza

Cette formule est un peu plus élaborée que le reste des formules utilisant les pluies, car elle fait appel, également, au temps de concentration (t_c) du bassin, i.e. le temps requis pour qu'une goutte d'eau tombée au point le plus en amont du bassin arrive jusqu'à l'exutoire. Cette formule est exprimée comme suit (EMI, 1999).

$$Q_{max\%} = \frac{C * A * I_t}{3.6} \quad (I.5)$$

Avec

A: l'air du bassin versant en km^2 .

T_c : Temps de concentration.

I_t : Intensité moyenne maximale des pluies en (mm/h) correspondant au temps de concentration T_c .

Pluie fréquentielle de courte durée

C : Coefficient de ruissellement.

Cette formule est bien adaptée pour les petits bassins. La fréquence du débit déterminé est égale à celle de la pluie maximale observée sur une durée égale au temps de concentration. C'est pour cette raison qu'elle est considérée comme étant une formule de type rationnelle. En ce sens, elle rejoint la méthode rationnelle (EMI, 1999).

1.6. Formule de Sokolovsky

Selon Sokolovsky (1958-1968), la crue est considérée comme un débit max généré par une averse (une pluie) de courte durée correspondant au temps de concentration. Le temps de montée de la crue est donc pris égal au temps de concentration.

Cette méthode est d'un usage très courant dans les services d'hydrologie d'états Indépendants de l'ex URSS ainsi qu'en Algérie. La formule de base de SOKOLOVSKY repose sur les hypothèses suivantes (Coutagne, 1951). Ces hypothèses ont été reprises intégralement de Coutagne (1951) pour ne pas perdre leur logique d'application pratique :

- La formule d'estimation de la crue ne peut prétendre à une précision scrupuleuse et à une considération globale de tous les facteurs du ruissellement mais elle tendre à considérer, dans les limites d'une précision pratique, uniquement les facteurs essentiels rentrant dans l'analyse du ruissellement. Au même temps elle doit être souple est assurer la possibilité d'ajuster les paramètres en fonction des conditions locales.
- La formule doit tenir compte non seulement de la phase de montée, mais aussi toutes les phases de la crue, Ainsi que son volume et de sa durée. Le débit maximal est pris égal au Produit du volume de la crue par l'ordonnée maximale.
- La forme de la crue est prise sur la base d'hydrogrammes réellement observés comme Curviligne (deux paraboles convergentes en pointe). La caractéristique principale de la crue est le temps de montée (t_m), de durée égale au Temps de concentration (T_c)
- La fréquence du débit maximum, du fait de la variabilité de l'état de saturation du sol, est prise quelque peu moindre que la fréquence correspondante la pluie génératrice.

La formule de Sokolovsky, basant sur la deuxième hypothèse, peut d'écrire comme suit :

$$Q_{max} = W * Y_{max} \quad (1.6)$$

Avec :

W : c'est le volume de la crue. Il est estimé par cette formule : $W = 10^4 * P_{nette} * A$

P_{nette} : Pluie nette.

A : Superficie du bassin-versant,

Y_{max} : Ordonnée maximale déterminée sur la base de schématisation parabolique de l'hydrogramme.

En exprimant P en mm et la surface du bassin versant 'A' en km², la formule précédente s'écrit comme suit :

$$Q_{max} = \frac{1000 \cdot P \cdot A \cdot f}{3600 \cdot t_c}$$

En tenant compte du coefficient de ruissellement de la crue et le déficit d'eau, la formule s'écrit :

$$Q_{max,p\%} = \frac{0.28 \cdot (P_{ct} - H_0) \cdot \alpha \cdot F \cdot S}{T_c} \quad (I.7)$$

Avec :

P_{ct}: Précipitation fréquentielle de courte durée pendant une durée égale au temps de concentration

H₀: Perte d'eau initiale.

0.28 : Facteur de conversion d'unité.

T_c: Temps de concentration (heure).

α_p : Coefficient de ruissellement durant une période donnée.

$$\alpha_p = \frac{\sqrt{X_p} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{X_p} + \sqrt{H_0}}$$

Avec

X_p: Pluie de fréquence donnée pendant une durée égale au temps de concentration

F : Facteur dépend de la forme de la crue : $F = 12 / (4 + 3 \cdot \gamma)$. Le tableau suivant donne les valeurs γ en fonction de la surface et la perméabilité du sol du bassin versant.

Tableau I. 3 Valeur de γ en fonction des caractéristiques des bassins versants (*Coutagne, 1951*)

Surface du Bassin versant varie de 1 à 50 Km ²	$\gamma=2$
Bassin boisé avec un sol peu perméable	$2 \leq \gamma \leq 2.5$
Bassin boisé	$3 \leq \gamma \leq 4$

1.7. Formule de Giandotti

La méthode de Giandotti s'inspire des lois de ruissellement basées sur les caractéristiques morphométriques du bassin versant ainsi que le temps de concentration. Cette formule donnée de résultats satisfaisants, particulièrement pour les bassins typiquement montagneux. (Bennis, 2004)

$$Q_{\max \%} = \frac{170.A.(H_{\text{moy}} - H_{\text{min}})^{1/2}}{4(S)^{1/2} + 1.5L} \cdot P_{tc} \quad (\text{I.8})$$

$Q_{\max (\%)}$: Débit fréquentiel maximum en m³/s dont la fréquence est la même que celle de la pluie de courte durée P_{tc} (en m).

A : L'air du bassin versant en Km².

L : Longueur du cours d'eau principale.

H_{moy} : Altitudes moyennes en m.

H_{min} : Altitude minimales en m.

1.8. Méthode de l'ANRH (Taibi, 1993)

Elle a été établie par Taibi R. ANRH pour les cours d'eau d'Algérie. Elle est donnée par la relation suivante (Taibi, 1993).

$$Q_{pt} = e^{0,95u} \cdot Q_p \left(m^3 / s \right) \quad (\text{I.9})$$

Q_{pt} : Débit maximum fréquentiel en m³/s.

Q_p : Débit de pointe annuel en m³/s.

u : Variable réduite de Gauss.

Le débit de pointe moyen annuel est estimé, en fonction de la surface du bassin versant (S) en Km² et les précipitations annuelles reçue par le bassin versant (P) en mm, par la relation suivante :

$$Q_p = 0,000781 * S^{0,688} * P^{1,275}$$

1.9. Méthode fréquentielle de Meddi 2017

Elle a été établie par Meddi et al (Meddi & al, 2017) pour les cours d'eau de l'Algérie du Nord. La base de données regroupée en trois régions analogues en termes climatiques et géomorphologiques par le biais de l'Analyse en Composantes Principales comme indiqué dans la figure III.1. Pour chacune des régions un modèle pour calculer Q_{max} en fonction de la surface du bassin versant (A) en km² et la pente du cours d'eau principal (S) a été développé comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau I. 4 Modèle pour calculer Q_{max} en fonction de la surface du bassin versant (A) en km² et la pente du cours d'eau principal (S) sans unité (Meddi & al, 2017)

Région	Equations
Région I	$Q_{max} = 3.52A^{0.96}S^{0.54}$
Région II	$Q_{max} = 2.73A^{0.35}S^{0.44}$
Région III	$Q_{max} = 1.26A^{0.16}S^{-1.04}$

(Meddi & al, 2017)

Pour calculer Q_{max} , de l'une des trois régions, pour une période de retour donnée, le débit max calculé par le modèle correspondant à la région concernée (tableau I.4) doit être multiplié par la fonction de quantile correspondante (Tableau I.4) :

$$Q_{max}(F) = Q_{max} * q(F)$$

Tableau I. 5 Q(F) (quantile fonction) (Meddi & al, 2017)

Période de retour (an) \ q(F)	2	5	10	20	50	100	200	500
Région I	0,74	1,54	2,14	2,74	3,53	4,13	4,73	5,52
Région II	0.59	1.47	2.27	3.22	4.74	6.14	7.78	10.43
Région III	0.71	1.62	2.29	2.94	3.77	4.37	4.96	5.72

(Meddi & al, 2017)

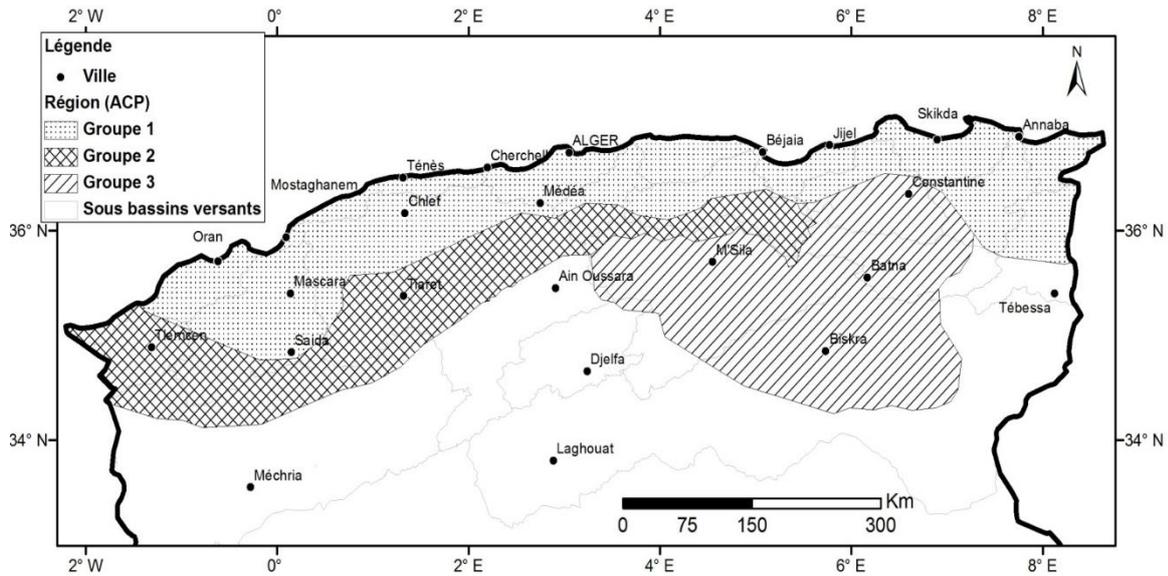


Figure I. 1 Les limites géographiques des trois régions identifiées pour le calcul de débit maximum (Meddi & al, 2017)

1.10. Méthode du Gradex

La méthode du Gradex est considérée comme une approche probabiliste basée sur l'exploitation de la série des précipitations du bassin et la série des débits d'un bassin voisin. La méthode a été développée par Guillot et Duband (1967) pour le calcul des débits maximums dans les cours d'eau non jaugés pour des périodes de retour allant de 100 à 10000 ans. L'application de cette méthode nécessite que la repartition des pluies dans le bassin soit relativement homogène et la superficie du bassin est inférieure à 5000 km² (Guillot, 1980).

➤ Principe de la méthode

Le principe de la méthode est que le comportement de la loi de probabilité des débits maximums devenu asymptotique au comportement des pluies maximale journalière à partir de la crue du période de retour décennal (Guillot, 1980). Ce principe est appuyé sur la tendance la stabilisation de la capacité de rétention (devenir constante) des bassins-versants à partir de débit décennal (GUILLOT & DUBAND, 1967).

La méthode du Gradex est basée sur l'analyse fréquentielle des précipitations maximales journalières (GUILLOT & DUBAND, 1967). Cette approche se fait par la moyenne du gradient des valeurs extrêmes «Gradex». Pour les régions du climat similaire ce paramètre a été perçu constant ou varie légèrement (Guillot, 1980).

➤ **Hypothèses de la méthode**

➤ **Hypothèse 01 :**

La fonction de répartition des précipitations tombant sur le bassin, au pas de temps retenu comme pertinent, est asymptotiquement à décroissance exponentielle simple. Elle peut être décrite par une loi de Gumbel ou par une loi exponentielle selon le type d'échantillonnage utilisé, respectivement maxima annuels. Par conséquent, nous pouvons définir le GRADEX comme le paramètre d'échelle de cette distribution. Plus précisément, il correspond à la pente de la fonction de répartition sur un graphique représentant la pluie en fonction du logarithme de la période de retour (GUILLOT & DUBAND, 1967).

➤ **Hypothèse 02 :**

Le déficit d'écoulement, défini comme la différence entre le volume d'eau précipité et le volume d'eau écoulé à l'exutoire du bassin versant pendant un pas de temps équivalent, n'augmentent plus, en valeur moyenne, au-delà d'une certaine valeur de pluie. En d'autres termes, nous pouvons dire que, à partir d'un certain état de structuration du bassin versant, la distribution du déficit d'écoulement ne dépend plus de la valeur de pluie ou de débit. Cette hypothèse se traduit graphiquement par un parallélisme entre la fonction de répartition des précipitations et celle des écoulements au pas de temps équivalent point de départ de cette extrapolation, nommé point pivot, est fixé à une période de retour T_p comprise, le plus souvent, entre 10 et 50 ans selon le bassin versant considéré (GUILLOT & DUBAND, 1967).

➤ **Hypothèse 03 :**

Quelle que soit sa fréquence ou durée de retour, le débit de pointe de crue (valeur maximale observée) peut être calculé à partir du volume écoulé (sur le pas de temps considéré) en utilisant un coefficient multiplicatif moyen caractéristique du bassin versant. Ce coefficient, nommé coefficient de forme ou coefficient d'affinité, peut être estimé à partir des hydrogrammes de crues enregistrées sur le bassin versant (GUILLOT & DUBAND, 1967).

➤ **Les étapes de la méthode**

- ✓ Déterminer le Gradex '**a**' à partir de l'ajustement des précipitations maximales journalières ($P_{j,max}$) à la loi de Gumbel ($P_{j,max} \text{ (mm)} = \mathbf{a} \cdot \mu + \mathbf{b}$ avec μ : représente la variable réduite de Gumbel ($\mu = -\ln(-\ln(F))$)).
- ✓ Déterminer le débit décennal via l'ajustement des débits à la loi Gumbel
- ✓ Convertir le débit décennal (m³/s) en lame d'eau (mm) en utilisant l'équation :

$$\blacksquare R \text{ (mm)} = Q * 3,6 * n \text{ (heures)} / S \text{ (km}^2\text{)} \quad \text{(I.10)}$$

- ✓ Avec : n est la moyenne des temps de base des hydrogrammes de crues observées
- ✓ Sur le même graphe de l'ajustement des précipitations maximales, tracer une droite, en commençant par le débit décennal (T=10 ans), parallèle à la droite de Gumble des **Pj, max.**
- ✓ Tracer l'équation de la droite de Gumbel des débits dont la forme est la suivante :

$$\bullet Q_{\mu\%} = a. \mu + b' \quad \text{(I.11)}$$

- ✓ Avec :
- ✓ $B' = Q_{10 \text{ ans}} - \text{Gradex} * \mu \text{ (T=10 ans)}$.
- ✓ A partir de l'équation (I.11), on détermine les débits de différentes périodes de retour en mm.
- ✓ Convertir les débits en m³/s par la formule suivante

$$\blacksquare Q \text{ (m}^3\text{/s)} = Q \text{ (mm)} * S \text{ (km}^2\text{)} / 3,6 * n \text{ (h)} \quad \text{(I.12)}$$

- ✓ Calculer les débits de point de période de retour par les formules suivante :

$$\circ Q_p \text{ (m}^3\text{/s)} = Q \text{ (m}^3\text{/s)} * P \quad \text{(I.13)}$$

- ✓ Avec le coefficient de pointe $P = Q_{\max} / Q_{\text{moy}}$

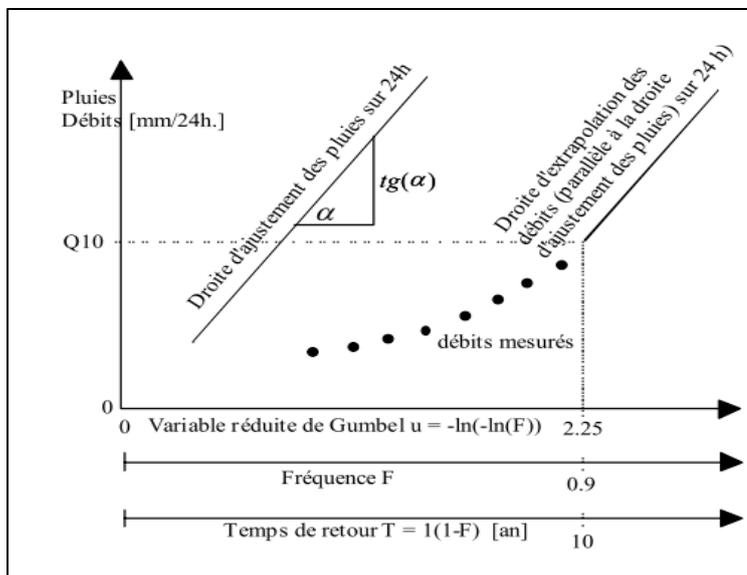


Figure I. 2 Ajustement des pluies et la droite d'extrapolation des débits (Laborde, 2000)

1.11. La méthode SCS-CN

La méthode du Soil Conservation Service a été mise au point aux Etats Unis sur la base de résultats de mesures pluviaux-hydrométriques pratiquées sur plusieurs centaines de bassins versants. Elle a été appliquée par plusieurs bureaux d'études au contexte méditerranéen. Avant tout, on suppose qu'un épisode pluvieux de période de retour T engendre un ruissellement de même période de retour. Les seules données nécessaires à la transformation sont les caractéristiques $P(T)$ de la pluie choisie et les caractéristiques géométriques et physiques du bassin versant (temps de concentration, surface, pente du cours d'eau...).

La précipitation totale est séparée en trois composantes : ruissellement direct Q , eau retenue F et infiltration initiale I_a

$$P = Q + F + I_a \quad (\text{I.14})$$

En posant (S) comme le potentiel maximum de rétention, elle démarre du concept qui stipule que la proportion d'eau pouvant être ruisselée par unité de celle pouvant être stockée est égale à la proportion d'eau ruisselée par l'unité de celle qui est stockée.

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (\text{I.15})$$

Donc on aura des deux équations précédentes :

$$\frac{(P - I_a) - Q}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (\text{I.16})$$

Ce qui équivaut à :

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (\text{I.17})$$

Après plusieurs études, une relation empirique qui lie la rétention potentielle et l'infiltration initiale a été établie.

$$I_a = 0.2S \quad (\text{I.18})$$

Donc :

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (\text{I.19})$$

Selon une étude sur plus de 4000 types de sols, le SCS a estimé S en fonction du CN curve number représentatif de la géologie, du couvert végétal, et de l'humectation initiale. Trois paramètres permettant de le déterminer à partir des tables de CN.

$$S = \frac{100}{\text{CN} - 10} \quad (\text{I.20})$$

Et le temps de base de l'hydrogramme de crue est :

$$T = 2.67\left(\frac{t_{\text{averse}}}{2} + 0.6 t_c\right) \quad (\text{I.21})$$

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes méthodes d'estimation de débit dans les bassins non jaugés. Un mauvais choix de la méthode d'estimation implique un surdimensionnement ou sous dimensionnement cela résulte des couts élevés ou risque d'inondation.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Introduction

La définition des caractéristiques de la zone d'étude est nécessaire pour résoudre les problèmes rencontrés. Ce chapitre nous permet de faire une bonne reconnaissance géographique, topographique géologique de nos bassins versant CHIFFA et EL HARRACH.

1. Situation géographique

1.1. Bassin versant d'Oued EL HARRACH amont

Notre zone d'étude est une région montagneuse située à 35 Km au sud d'Alger entre les latitudes $36^{\circ}15'0''$ et $36^{\circ}30'0''$ Nord et les longitudes $2^{\circ} 50'0''$ et $3^{\circ}10'0''$. L'altitude à l'exutoire est de 468 m.

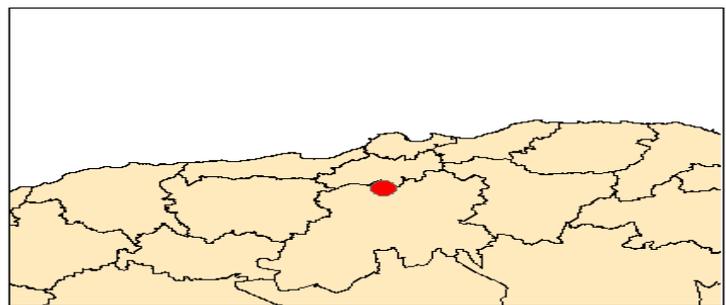
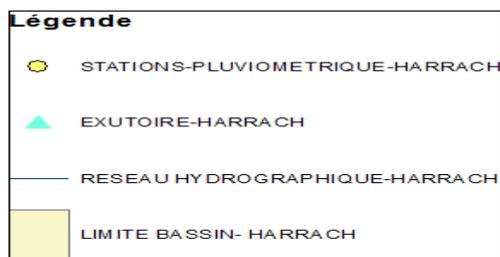
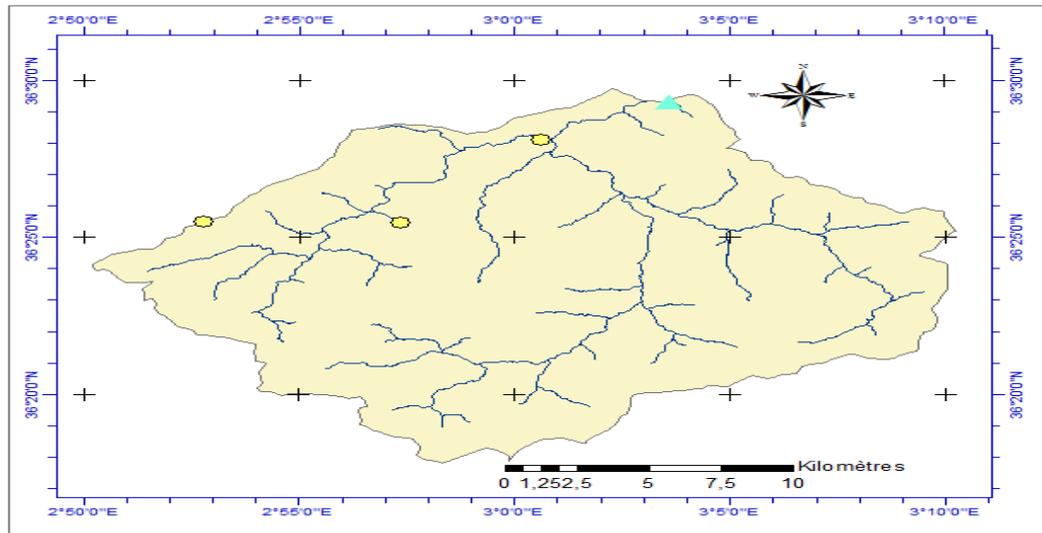


Figure II 1 : Situation géographique du bassin versant d'EL-HARRACH

1.2. Bassin versant de Chiffa

Notre zone 2^{ème} bassin versant située à 55 Km au Sud-Ouest d'Alger entre les latitudes 36°10'0'' et 36°30'0'' Nord et les longitudes 2° 40'0'' et 3°0'0''. L'altitude à l'exutoire est de 432 m.

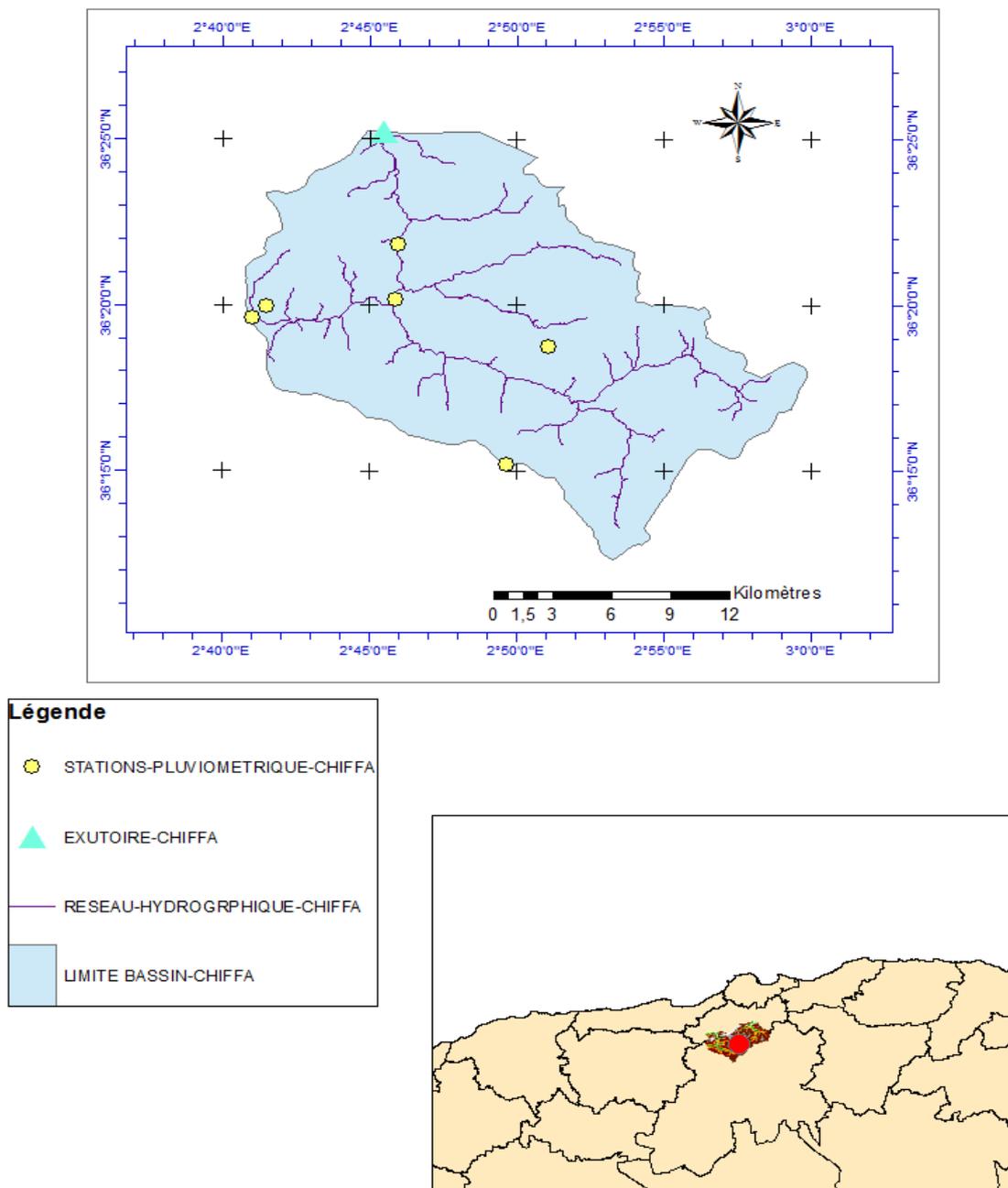


Figure II 2: Situation géographique du bassin versant de CHIFFA

2. Géologie

Notre zones d'études est située dans le bassin de la Mitidja ,d'après les travaux de Glangeaud (1932 et 1952), Lepvrier et Magne (1975), le bassin de la Mitidja est

Les données météorologiques de la région sont résumées dans les tableaux suivants :

- **Température :**

La période d'observation est de 1979 à 2013

Tableau II. 1 Répartition interannuelle des températures pour le bassin versant de la CHIFFA (ONM)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.
Température moyenne interannuelle (C°)	23,0	18,9	13,5	9,8	8,6	8,8	11,2	13,3	17,1	22,1	26,1	26,4

(Source ONM)

- **Pluviométrie :**

La période d'observation est de 1969 à 2013

Tableau II. 2 Répartition interannuelle des précipitations pour le bassin versant de la CHIFFA (ANRH)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.
Précipitations Interannuelles(mm)	35,3	63,3	95,2	120,7	101,2	106	93,7	48,9	52,7	13,6	6,6	10,3

(Source ANRH BLIDA)

- La région d'EL-HARRACH bénéficie d'un climat méditerranéen avec une température moyenne d'environ 17 C°.

Les données météorologiques de la région sont résumées dans les tableaux suivants :

- **Température :**

La période d'observation est de 1979 à 2013

Tableau II. 3 Répartition interannuelle des températures pour le bassin versant d'EL-HARRACH Amont (ONM)

Mois	Jan	fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	juil.	Aou	Sep	oct.	nov.	déc.
Température moyenne interannuelle (C°)	8,0	8,3	10,7	12,8	16,8	22,0	26,1	26,3	22,8	18,4	12,9	9,1

(Source ONM)

- **Pluviométrie :**

La période d'observation est de 1969 à 2013

Tableau II. 4 : Répartition interannuelle des précipitations pour le bassin versant d'EL-HARRACH Amont (ANRH)

Mois	Sept	oct.	nov.	déc.	janv.	fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	juil.	Aout
Précipitations Interannuelles(mm)	40,7	76,5	91,5	121,6	106,6	111,8	103,1	51	57,6	15,5	4,7	11,4

(Source ANRH BLIDA)

3. Caractéristiques géomorphologiques

Les caractéristiques morphologiques d'un bassin versant sont les paramètres les plus importants dans une étude hydrologique, ils permettent la détermination des différents comportements du régime hydrologique. Ils sont obtenus par le logiciel Arcgis représenté dans les figures (figure II.1 et figure II.2).

3.1. Surface

La surface d'un bassin versant est le paramètre le plus important des caractéristiques. Elle sera exprimée en « km² ».

3.2. Périmètre

Le périmètre est défini par la ligne des crêtes formant le contour du bassin versant. Il sera exprimé en « km ».

3.3. Indice de compacité de Gravelius k_c

L'indice de compacité « K_c » définit l'allure de l'écoulement général en relation avec la forme du bassin versant. Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi} \cdot S} \approx 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (\text{II.1})$$

Avec :

P : Périmètre du bassin versant en (km)

S : Surface du bassin versant en (Km²)

Si $K_C = 1$ => bassin ramassé

Si $K_C > 1$ => bassin allongé

3.4. Coefficient d'allongement

Le coefficient d'allongement est déterminé par la formule suivante :

$$K_p = \frac{P^2}{S} \quad (\text{II.2})$$

3.5. Rectangle équivalent

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimension L et l ayant la même surface que le bassin versants. Ce paramètre facilite la comparaison entre les bassins versants du point de vue de leur influence sur l'écoulement. Les courbes de niveau sont des droites parallèles à la largeur du rectangle. Les caractéristiques du rectangle équivalent sont évaluées à l'aide des formules suivantes :

La longueur du rectangle équivalent :

$$L = \frac{K_C \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_C} \right)^2} \right) \quad (\text{II.3})$$

La largeur du rectangle équivalent :

$$l = \frac{K_C \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_C} \right)^2} \right) \quad (\text{II.4})$$

Le tableau suivant résume les caractéristiques géomorphologiques morphométriques et de formes du bassin versant calculés précédemment :

Tableau II. 5 Les caractéristiques géomorphologiques des bassins versants

Bassin versant	Surface (Km²)	Périmètre (Km)	Kc	Kp	L (km)	l (km)
EL-HARRACH	386.32	91.93	1.3	21.88	34.41	11.23
CHIFFA	352.96	92.31	1.4	24.14	36.03	9.8

3.6. Courbes hypsométriques

Le relief influence indirectement sur la formation des écoulements de surface. Il détermine l'aptitude au ruissellement des terrains l'infiltration et l'évaporation. La courbe caractéristique nous donne le taux de surface correspondant aux différentes altitudes. Les courbes hypsométriques des bassins versant obtenue par le logiciel Arcgis sont représentés dans les figures suivants :

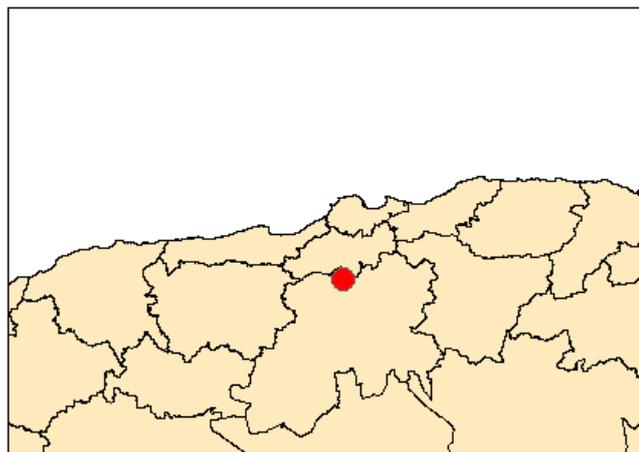
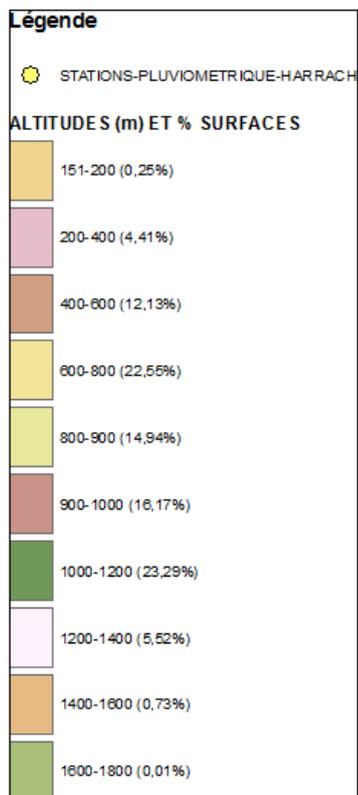
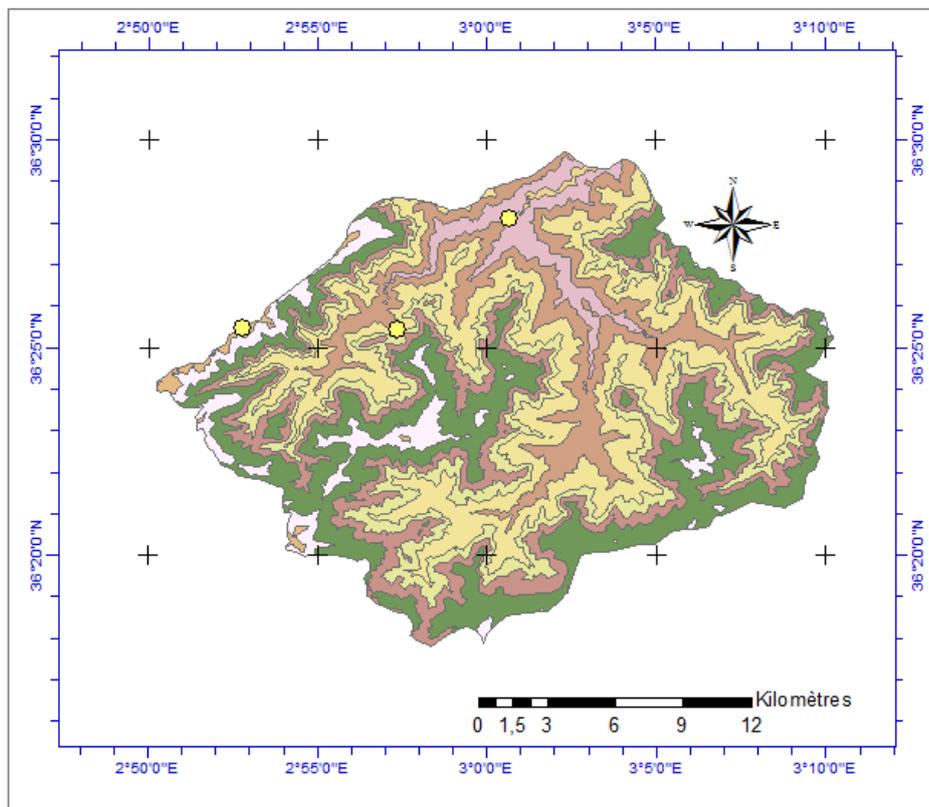


Figure II 4: Courbes hypsométrique du bassin d'EL-HARRACH

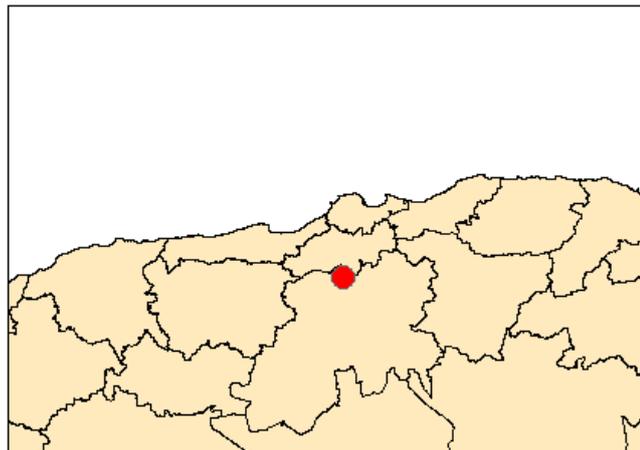
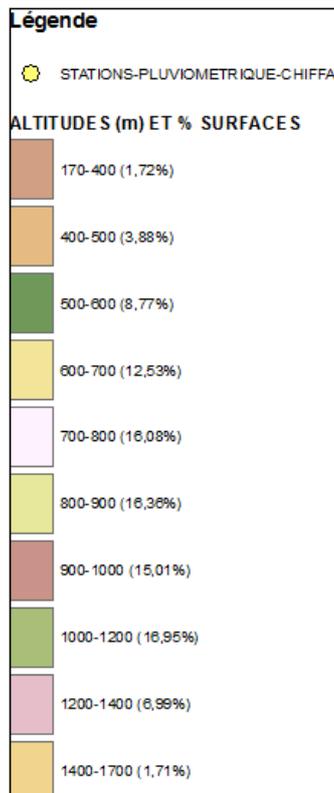
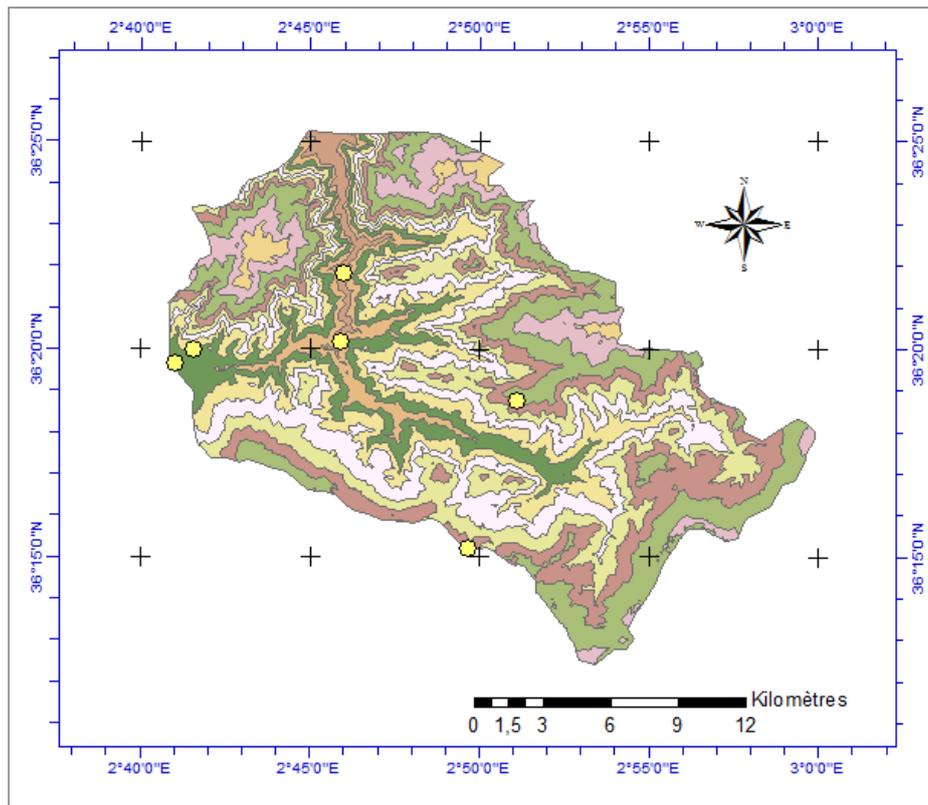


Figure II 5: Courbes hypsométrique du bassin de CHIFFA

Tableau II. 6 Courbe hypsométrique du bassin versant EL-HARRACH

Courbe de niveau (m)	Hmoy (m)	Superficie partielle (Km2)	Superficie partielle (%)	Superficie cumulée (Km2)	Superficie cumulée (%)
1600-1775	1700	0.2	0.01	0.2	0.01
1400-1600	1500	2.8	0.73	3.0	0.74
1200-1400	1300	21.32	5.52	24.32	6.26
1000-1200	1100	89.93	23.29	114.25	29.55
900-1000	950	62.45	16.17	176.7	45.72
800-900	850	57.69	14.94	234.39	60.66
600-800	700	87.09	22.55	321.48	83.21
400-600	500	46.83	12.13	368.31	95.34
200-400	300	17.03	4.41	385.34	99.75
151-200	175.5	0.98	0.25	386.32	100

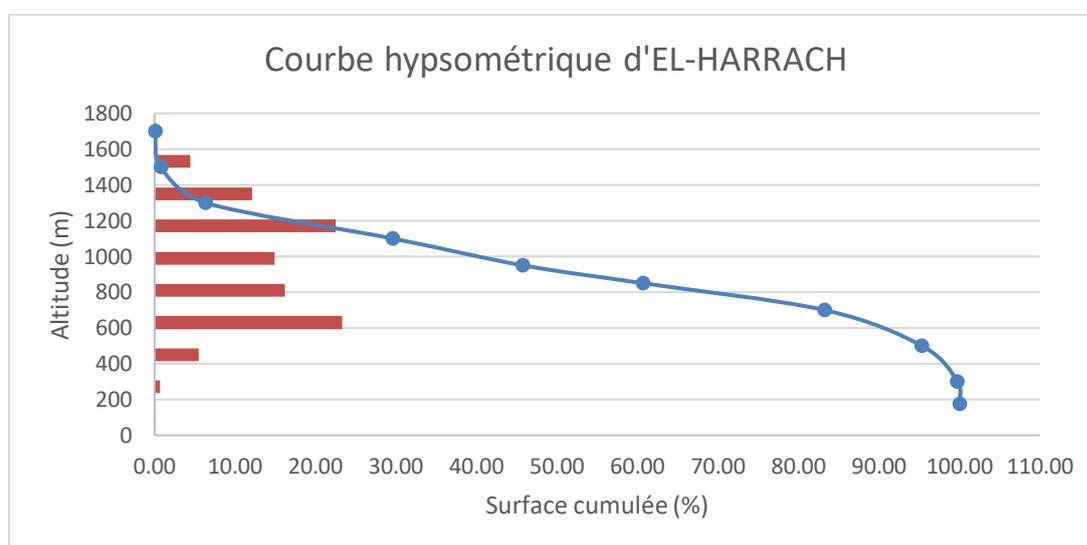


Figure II 6: Graphique de la courbe hypsométrique d'EL-HARRACH

Tableau II. 7 Courbe hypsométrique du bassin versant CHIFFA

Courbe de niveau (m)	Hmoy (m)	Superficie partielle (Km2)	Superficie partielle (%)	Superficie cumulée (Km2)	Superficie cumulée (%)
1400-1600	1550	6.05	1.71	6.05	1.71
1200-1400	1300	24.67	6.99	30.72	8.70
1000-1200	1050	59.83	16.95	90.55	25.65
900-1000	950	52.99	15.01	143.54	40.66
800-900	850	57.74	16.36	201.28	57.02
800-700	750	56.75	16.08	258.03	73.10
700-600	650	44.22	12.53	302.25	85.63
600-500	550	30.95	8.77	333.2	94.40
500-400	450	13.69	3.88	346.89	98.28
400-170	285	6.07	1.72	352.96	100.00

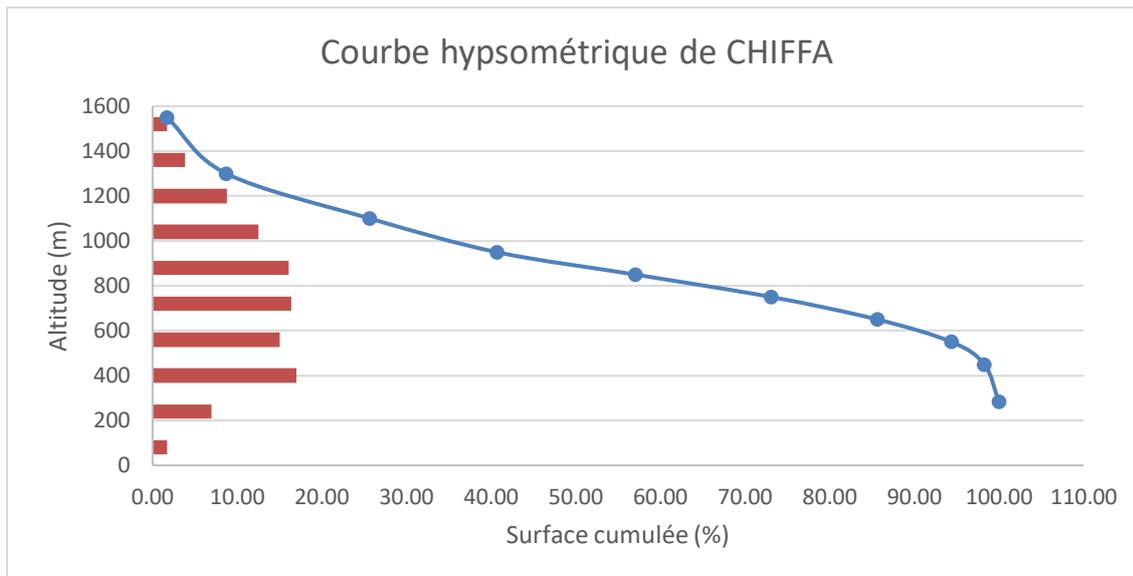


Figure II 7: Graphique de la courbe hypsométrique de CHIFFA

3.7. Les caractéristiques des altitudes

➤ L'altitude minimale et maximale

Elles sont obtenues par le logiciel Arcgis. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas.

➤ L'altitude moyenne

Elle est donnée par la formule :

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i H_i}{S} \quad (I.5)$$

Avec :

S_i : Surface partielle entre deux courbes de niveaux successives en (Km²) ;

S : Surface totale du bassin versant en (Km²) ;

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveaux successives (m) ;

➤ L'altitude médiane

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

Tableau II. 8 caractéristiques des altitudes des bassins versants

Bassins versant	H _{max} (m)	H _{min} (m)	H _{moy} (m)	H _{50%} (m)	H _{5%} (m)	H _{95%} (m)
EL-HARRACH	1700	175.5	852.15	921	1347	506
CHIFFA	1550	285	858.17	893	1418	535

3.8. Indice de pente globale

L'indice de pente globale est donné en % par la relation :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \quad (\text{I.6})$$

Avec :

H5% : Altitude correspondante à 5% de la surface du bassin Versant (m) ;

H95% : Altitude correspondante à 95% de la surface du bassin versant (m) ;

L : Longueur du rectangle équivalent (Km) ;

Les résultats de l'indice de pente globale (I_g) calculé dans les deux bassins versants sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau II. 9 Indice de pente globale (I_g)

Bassins versant	H _{5%} (m)	H _{95%} (m)	L (km)	I _g (m/ km)
EL-HARRACH	1347	506	34.41	0.024
CHIFFA	1418	535	36.03	0.025

Tableau II. 10 Classification de relief (TOUAIBIA, 2004)

R1	Relief très faible	I _g < 0,002
R2	Relief faible	0,002 < I _g < 0,005
R3	Relief assez faible	0,005 < I _g < 0,01
R4	Relief modéré	0,01 < I _g < 0,02
R5	Relief assez fort	0,02 < I _g < 0,05
R6	Relief fort	0,05 < I _g < 0,1
R7	Relief très fort	0.1 < I _g

D'après le tableau II.7, on constate que le relief assez fort pour les deux bassins versants.

3.9. La pente moyenne d'un cours d'eau

Elle exprime le rapport entre la dénivelée et la longueur comprise entre 2 points suffisamment éloignés sur le cours d'eau principale. Elle est donnée par la formule suivante :

$$I_c = \frac{\Delta H}{L} \quad (\text{I.9})$$

ΔH : dénivelée maximale de la rivière (m) ;

L : longueur du cours d'eau principal obtenue par le logiciel Arcgis (Km) ;

Tableau II. 11 La pente moyenne des cours d'eau

Bassins versant	ΔH (m)	L (km)	I_c (m/m)	I_c (%)
EL-HARRACH	1524.5	61	0.028	28
CHIFFA	1265	55	0.021	21

3.10. La pente moyenne d'un cours d'eau

C'est un paramètre important pour la détermination du temps de temps de concentration, la pente moyenne du bassin versant est donnée par la relation suivante :

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5l_1+l_2+l_3+\dots+0.5l_n)}{S} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

ΔH : Dénivelée (m) ;

l_i : longueur de la courbe de niveau d'ordre 1, 2,n (m) ;

S : Surface du bassin versant (Km²) ;

Tableau II. 12 Calcul de la pente moyenne des bassins versants

CHIFFA		EL-HARRACH	
Courbe de niveau	Longueur	Courbe de niveau	Longueur
200	1.84	200	9
400	32.46	400	62
600	121.72	600	142
800	168.02	800	211
1000	124.74	1000	217
1200	76.10	1200	93
1400	26.07	1400	18
1600	0.62	1600	0.322
I _m (%)	31.18	I _m (%)	38.70

3.11. Densité de drainage D_d

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant (<http://lylmack.over-blog.com/ehydrologie>) :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \quad (\text{II.11})$$

Avec :

D_d : densité de drainage [km/km²] ;

L_i : longueur de cours d'eau [km] ;

S : surface du bassin versant [km²].

4. Temps de concentration T_c

Le temps de concentration est considéré comme étant le temps mis par une particule d'eau pour parcourir le bassin versant du point hydrauliquement le plus éloigné jusqu'à l'exutoire. Il existe de nombreuses formules empiriques permettant de connaître le temps de concentration ([BOUKHELIFA](#)).

➤ **Formule de GIANDOTTI (1937)**

Le temps de concentration est calculé comme suit :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (\text{II.12})$$

Avec :

S : surface du bassin versant (Km²) ;

L_{cp} : longueur de cours d'eau principal (Km) ;

T_c : temps de concentration exprimé en heure ;

H_{moy} : altitude moyenne (m) ;

➤ **La formule de KIRPICH**

$$T_c = \frac{0.000325 L_{cp}^{0.77}}{I^{0.385}} \quad (\text{II.13})$$

Avec

L_{cp} : longueur du cours d'eau principale en (m) ;

I : Dénivelée = (H_{max} - H_{min}) / L_{cp} (m/m);

T_c : temps de concentration en (h) ;

➤ **Formule de SOGREAH – ANRH (1986 /1989)**

Une formule a été développée par SOGREAH, elle est vérifiée et recommandée pour les petits bassins versants de l'Algérie, s'écrit (SGHAR, 2013) :

$$T_c = 3\left(S \times \frac{L}{(10 \times I)^{1.5}}\right)^{0.25} \quad (\text{II.1})$$

S : Surface du bassin versant en km² ;

L : longueur du cours d'eau en km ;

I : Pente du cours d'eau principal en % ;

➤ **Formule de S.C.S (Soil Conservation Service)**

$$T_c = \left(\frac{0.87L_p^3}{H}\right)^{0.385} \quad (\text{II.15})$$

T_c : Temps de concentration (h) ;

L_p : Longueur du talweg principal (Km) ;

H : Différence entre les points extrêmes du talweg ;

Tableau II. 13 Calcule du temps de concentration

Formules	EL-HARRACH	CHIFFA
Formule de GIANDOTTI (h)	7.6	8.9
Formule de KIRPICH (h)	5.7	7.0
Formule de SOGREAH – ANRH (h)	10.4	11.6
Formule de SCS (h)	5.8	7.0

Dans les grands bassins du nord d'Algérie, la formule la plus utilisée est de GIANDOTTI.

Tableau II. 14 Tableau récapitulatif

Les bassins versants		EL-HARRACH	CHIFFA
Surface S (Km ²)		386.32	352.96
Périmètre (Km)		91.93	92.31
Rectangle équivalent	Longueur (Km)	34.41	36.03
	Largeur (Km)	11.23	9.8
Longueur du cours d'eau « Lcp » (Km)		55	61
Pente moyenne du cours d'eau « Ic » (m/m)		0.028	0.021
H moy (m)		852.15	858.17
H min (m)		175.5	285
H max (m)		1700	1550
Indice de pente globale (%)		2.4	2.5
Pente moyenne du bassin versant (%)		38.70	31.18
Densité de drainage Km/Km ²		0.63	0.77
Temps de concentration tc GIANDOTTI (heure)		7.6	8.9
V _r (Km/h)		7.26	6.87

5. Données pluviométriques et hydrométriques

Dans notre étude, on a travaillé sur plusieurs stations hydrométriques et pluviométriques proviennent de l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (A.N.R.H) de Blida.

Les tableaux II.15, II.16 représentent les caractéristiques des stations hydrométriques et pluviométriques des bassins versants EL-HARRACH et CHIFFA.

Tableau II. 15 Stations hydrométriques des bassins versants

Bassin versant	Station	Code de la station	Coordonnées	
			X	Y
EL-HARRACH	BERAKI -PONT	021418	2°52'43.47''E	36°25'35.78''N
	Rocher des Pigeons	021301	2°53'22.58''E	36°25'31.68''N
CHIFFA	Amont des Gorges	021126	2°41'31.99'' E	36°19'57.98'' N

Tableau II. 16 Répartition des stations pluviométriques dans le bassin versant de la Chiffa

Code de la station	Nom de la station	Coordonnées	
		X	Y
021102	PRISE DE MEDEA	2°45'52.65'' E	36°20'9.65'' N
021112	OUZERA	2°45'42.93'' E	36°15'18.93'' N
021113	AIN ZAAF MF	2°51'5.37'' E	36°18'44.98'' N
021115	EL HAMDANIA	2°45'58.75'' E	36°21'48.63'' N
021126	LES GORGES	2°41'31.99'' E	36°19'57.98'' N
021128	MOUZAIA MINES	2°41'1.84'' E	36°19'37.25'' N

Tableau II. 17 Répartition des stations pluviométriques dans le bassin versant d'El-Harrach

Code de la station	Nom de la station	Coordonnées	
		X	Y
021303	YEMMA HALIMA	2°57'21.61''E	36°25'26.78''N
021305	CHREA COL	2°52'46.57''E	36°25'41.88''N
021307	LA PASSERELLE	3°0'39.01''E	36°28'5.33''N

❖ La pluie moyenne

Pour calculer la pluie moyenne des bassins versant on a utilisé la méthode des polygones de Thiessen qui est une méthode géométrique se base sur la trigonalisations. Pour cela on a utilisé une fonctionnalité d'ArcGIS.

$$P_{moy} = \frac{\sum S_i * P_i}{S} \quad (II.16)$$

Voici les polygones de Thiessen représenté dans les figures suivantes :

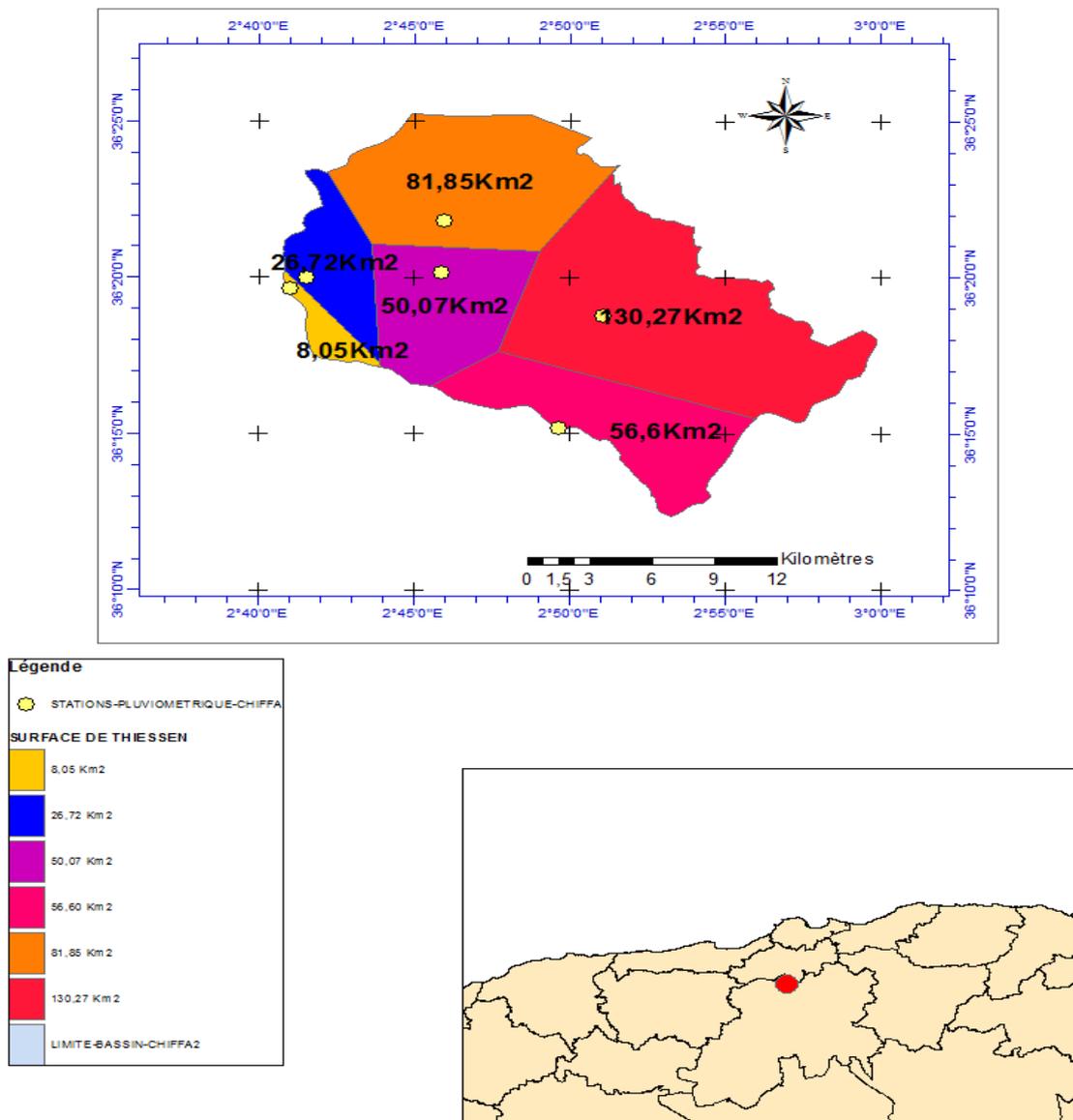


Figure II 8 Application de la méthode de Thiessen sur le bassin de l'Oued Chiffa

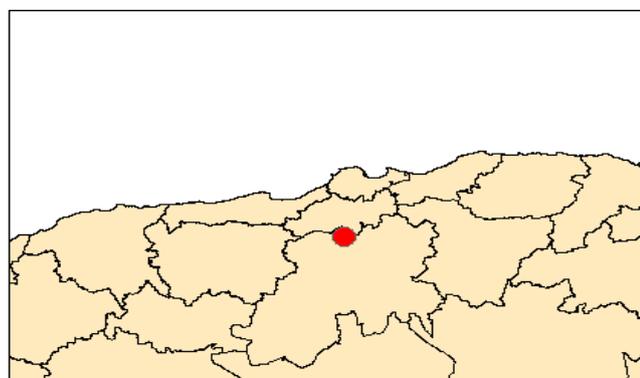
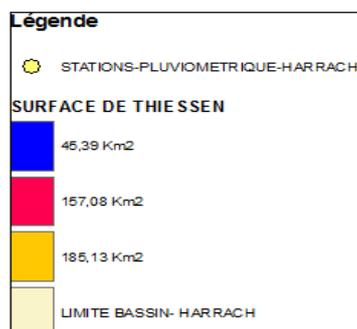
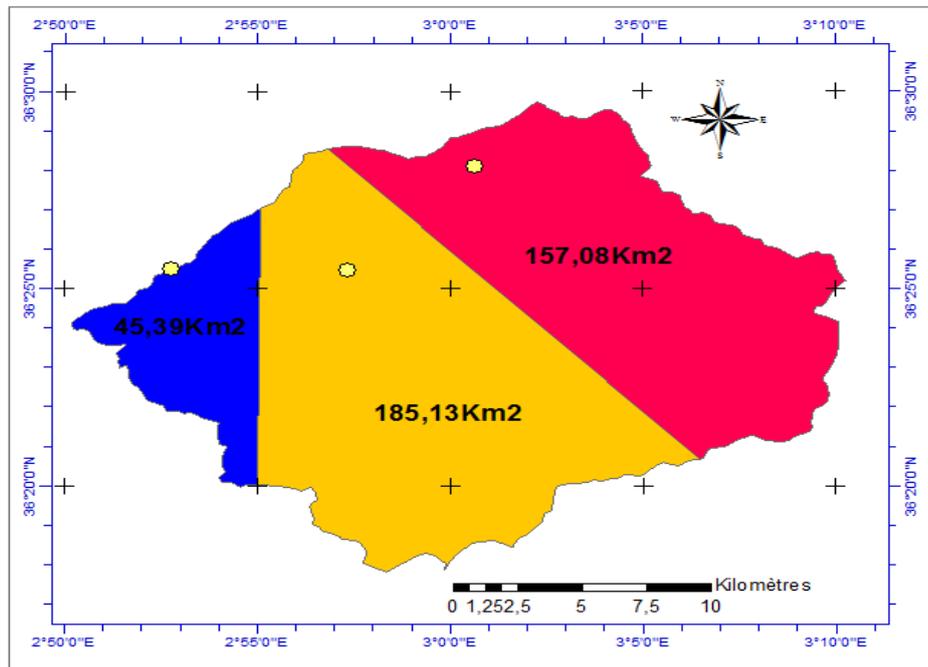


Figure II 9 Application de la méthode de Thiessen au bassin versant de l'Oued El Harrach Amont

Conclusion

Au cours de ce chapitre on a calculé les paramètres morphométriques, afin de mieux connaître leur nature et leur morphologie ce qui nous va permettre d'estimer le débit de crue des bassins versants.

Chapitre III : Application numérique

Introduction

Dans ce chapitre, on va appliquer les formules empiriques citées dans le chapitre I pour estimer le débit maximal dans les bassins d'étude. Pour cela, on commence par une étude des pluies maximales journalières.

1. Ajustement des pluies maximales journalières

1.1. Choix de la loi d'ajustement

L'analyse fréquentielle d'une longue série de valeurs maximales permet d'estimer le temps de retour d'une valeur particulière. La validité des résultats de l'analyse fréquentielle dépendra du choix du modèle fréquentiel.

Pour notre cas à l'aide de logiciel Hyfran on a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières à la loi de :

- Gumbel (doublement exponentielle),
 - Galton (log normale),
 - GEV ainsi que les tests d'adéquation.
- ❖ Formules de calcul des paramètres des lois statistiques par la méthode du maximum de vraisemblance : (Touaibia, 2004)

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{x} = \alpha + \frac{\sum_{i=1}^n x e^{\frac{-x}{\alpha}}}{\sum_{i=1}^n e^{\frac{-x}{\alpha}}} \\ x_0 = \alpha \ln \left[\frac{\sum_{i=1}^n e^{\frac{-x}{\alpha}}}{n} \right] \end{array} \right.$$

1.1.1. Ajustement à la loi de Gumbel (Touaibia, 2004)

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est :

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-x_0)}} \quad (\text{III.1})$$

F(x) : Fréquence au dépassement de la valeur de x ;

α, x₀ : Coefficients d'ajustement ;

- x_0 est le paramètre de position (mode) ;

- α est le paramètre d'échelle différent de zéro et positif appelé aussi « gradex » quand il se trouve sous forme $1/\alpha$.

✓ Par un changement de variable $y = \alpha (x-x_0)$; la loi de Gumbel s'écrit :

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad \text{(III.2)}$$

$y = \alpha (x-x_0)$ est la variable réduite de Gumbel. L'avantage d'utiliser la variable réduite est que l'expression d'un quantile est alors linéaire.

Et l'équation de la droite de Gumbel est $x = (1/\alpha) y + x_0$.

✓ La fréquence expérimentale en utilisant la formule de Hazen qui s'applique pour les lois normales et quasi normales :

$$F(x) = \frac{m - 0.5}{n} \times 100 \quad \text{(III.3)}$$

- m : le rang dans la série de données classée par valeurs croissantes ;

- n : la taille de l'échantillon ;

✓ La variable de Gumbel pour chaque valeur observée ;

$$y = -[Ln(-LnF(x))] \quad \text{(III.4)}$$

1.1.2. Ajustement à la loi log-normal (Galton)

Le procédé d'ajustement est identique à celui établi pour la loi de GALTON. Seule la représentation graphique change ou elle est faite sur du papier *log-normale*. La loi de GALTON a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante (TOUAIBIA, 2004) :

$$F(X) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_u^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2} du \quad \text{(III.5)}$$

$$\text{Où : } u = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_x} \quad (\text{variable réduite de GAUSS}) \quad \text{(III.6)}$$

L'équation de la droite de GALTON est la suivante :

$$\text{Log } x (p \%) = \overline{\text{Log}x} + \sigma \text{Log } u (p \%) \quad (\text{III.7})$$

Avec

$\overline{\text{Log}x}$: La moyenne de la série $\text{Log}x_i$;

σLog : Ecart type de la série $\text{Log}x_i$;

1.1.3. Ajustement à la loi de GEV (Distribution des valeurs extrêmes généralisées)

La loi des extrêmes généralisée (GEV) est une loi à trois paramètres qui peut être grossièrement considérée comme une généralisation de la loi de Gumbel (TOUAIBIA, 2004) .

La fonction de répartition est donnée comme suit :

$$F(x) = \exp \left[- \left(1 - c \frac{x-a}{b} \right)^{\frac{1}{c}} \right] \quad (\text{III.8})$$

a : Paramètre de position ;

b : Paramètre de dispersion ;

c : Paramètre de forme ;

1.2. Résultats d'Ajustement des stations

✓ Station 021303

✓ Ajustement à la loi de Gumbel

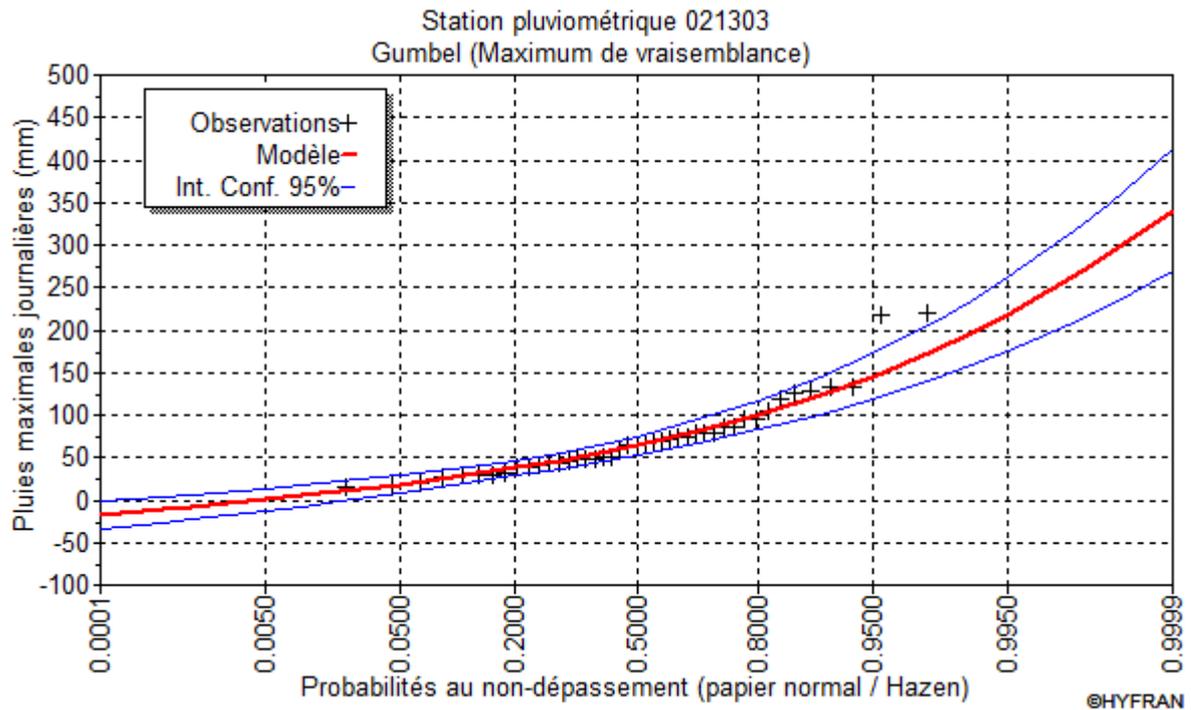


Figure III. 1 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel de la station 021303

- Les résultats de l'ajustement :

Tableau III. 1 Quantiles théoriques de Gumbel pour la station 021303

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
$T (ans)$	q	$X_t(mm)$	σ	-
1000	0.999	268	28.1	213-323
100	0.99	196	19.5	158-235
50	0.98	174	17.0	141-208
20	0.95	145	13.6	119-172
10	0.90	123	11.1	101-145
5	0.80	99.4	8.63	82.5-116

Tableau III. 2 Comparaison entre les résultats de la loi de Gumbel et de l'échantillon

Caractéristiques	Echantillon	Gumbel
Maximum	220	Aucun
Minimum	15.1	Aucun
Moyenne	71.9	70.6
Ecart-type	45.6	40.1
Médiane	64.8	64.0
Coefficient de variation	0.634	0.568
Coefficient d'asymétrie	1.62	1.14

✓ **Ajustement à la loi log-normale (Galton)**

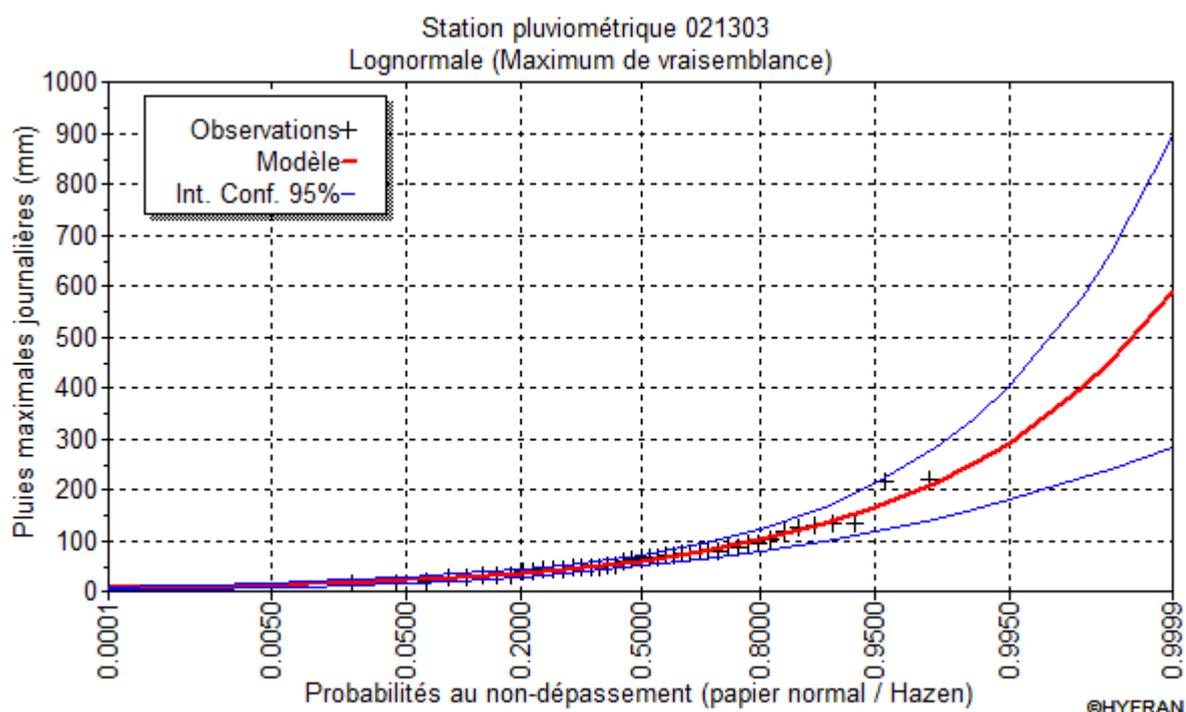


Figure III. 2 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de log-normale de la station 021303

- Les résultats de l'ajustement :

Tableau III. 3 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021303

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (mm)	σ	–
1000	0.999	399	90.6	222-577
100	0.99	250	45.4	161-339
50	0.98	212	35.2	143-281
20	0.95	165	23.8	118-211
10	0.90	132	16.7	99.1-165
5	0.80	101	11.0	79.2-122

Tableau III. 4 Comparaison entre les résultats de la loi de Galton et de l'échantillon

Caractéristiques	Echantillon	Galton
Maximum	220	Aucun
Minimum	15.1	0
Moyenne	71.9	72.6
Ecart-type	45.6	49.0
Médiane	64.8	60.1
Coefficient de variation	0.634	0.675
Coefficient d'asymétrie	1.62	2.33

✓ **Ajustement à la loi de GEV**

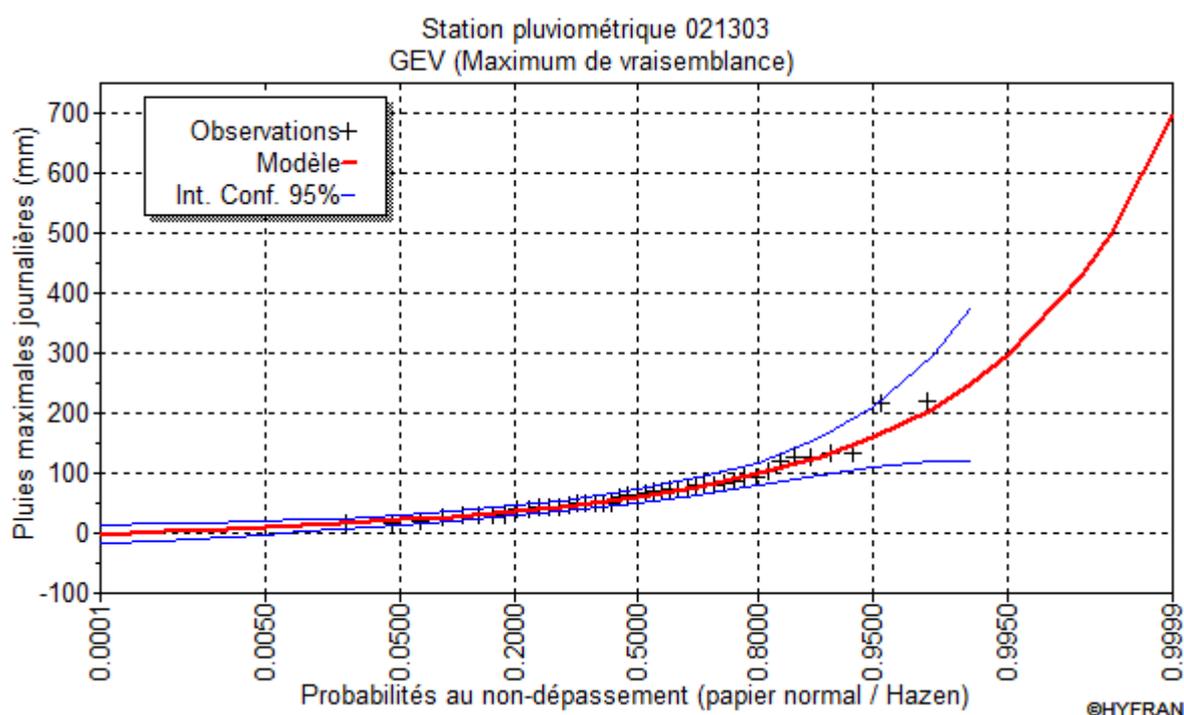


Figure III. 3 Représentation graphique de l'ajustement à la loi GEV de la station 021303

- Les résultats de l'ajustement :

Tableau III. 5 Quantiles théoriques de GEV pour la station 021303

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (mm)	σ	-
1000	0.999	428	190	-
100	0.99	249	65.7	121-378
50	0.98	208	44.9	120-296
20	0.95	160	25.7	110-210
10	0.90	128	16.2	96.2-160
5	0.80	98.4	10.1	78.6-118

Tableau III. 6 Comparaison entre les résultats de la loi GEV et de l'échantillon

Caractéristiques	Echantillon	GEV
Maximum	220	Aucun
Minimum	15.1	-112
Moyenne	71.9	72.2
Ecart-type	45.6	48.7
Médiane	64.8	60.7
Coefficient de variation	0.634	0.675
Coefficient d'asymétrie	1.62	2.95

❖ Test d'adéquation du χ^2

Afin de trancher sur la loi à choisir on va comparer les variables, $\chi^2_{\text{Théorique}}$ et $\chi^2_{\text{calculé}}$ à un risque $\alpha = 5\%$ autrement dit à un seuil de signification de 95% et un nombre degré de liberté γ

Tableau III. 7 Résultats du Test de χ^2

Lois statistiques	Degré de liberté γ	$\chi^2_{\text{calculé}}$	$\chi^2_{\text{Théorique}}$	Observations	Remarques
Gumbel	6	12.05	12.592	$\chi^2_{\text{calculée}} < \chi^2_{\text{théorique}}$	Ajustement valide
Log-normale	6	3.26	12.592	$\chi^2_{\text{calculée}} < \chi^2_{\text{théorique}}$	Ajustement valide
GEV	5	2.42	11.07	$\chi^2_{\text{calculée}} < \chi^2_{\text{théorique}}$	Ajustement valide

Remarque :

On remarque que les trois lois d'ajustement sont adéquates.

❖ Test visuel :

D'après les graphes représentés dans les figures (III.1, III.2, III.3), on voit des valeurs négatives dans l'intervalle de confiance de la loi de Gumbel ce qui n'a aucune signification physique. Pour les lois de log-normal et GEV, on peut conclure que la pluie maximale journalière suit la loi de GEV tous les points de la loi sont plus proches de la droite d'ajustement théorique que le nuage des points ajusté par loi log-normal.

On prendra donc les quantiles calculés par la loi de GEV :

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (mm)	σ	-
1000	0.999	428	190	-
100	0.99	249	65.7	121-378
50	0.98	208	44.9	120-296
20	0.95	160	25.7	110-210
10	0.90	128	16.2	96.2-160
5	0.80	98.4	10.1	78.6-118

✓ Station 021305

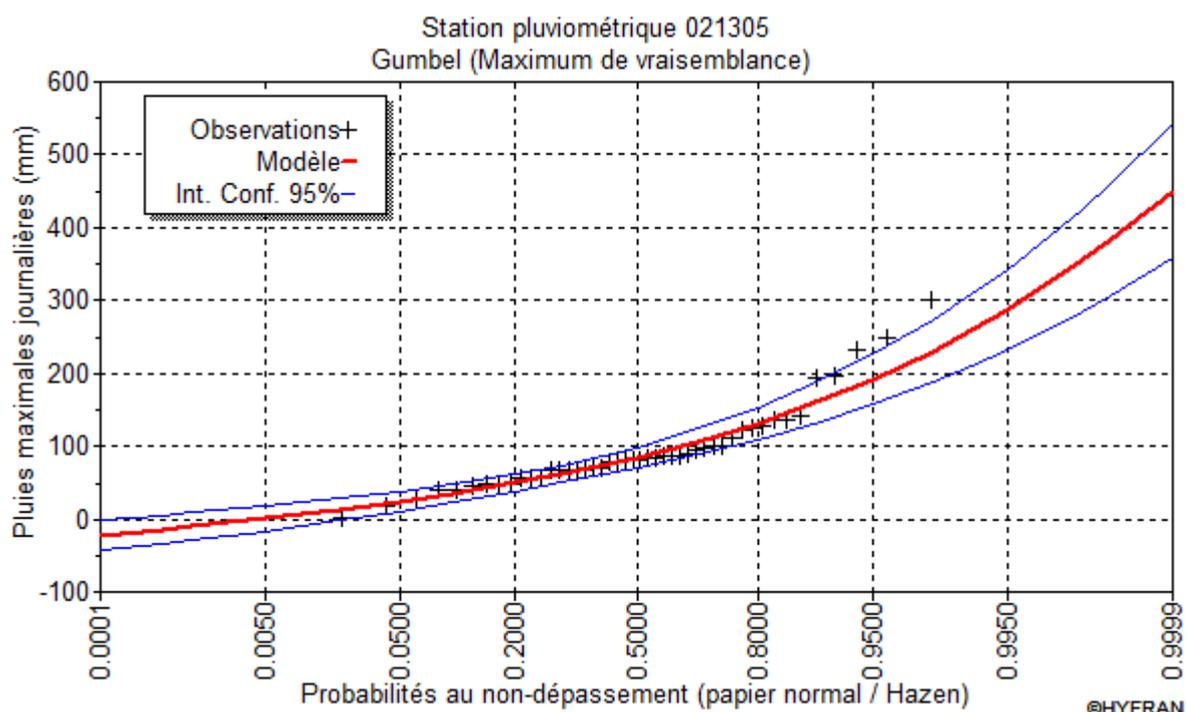


Figure III. 4 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel de la station 021305

- Les résultats de l'ajustement :

Tableau III. 8 Quantiles théoriques de Gumbel pour la station 021305

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (mm)	σ	–
1000	0.999	354	35.8	284-425
100	0.99	259	24.9	210-308
50	0.98	230	21.6	188-273
20	0.95	192	17.4	158-226
10	0.90	162	14.2	134-190
5	0.80	131	11.0	110-153

Tableau III. 9 Comparaison entre les résultats de la loi de Gumbel et de l'échantillon

Caractéristiques	Echantillon	Gumbel
Maximum	301	Aucun
Minimum	2.3	Aucun
Moyenne	94.4	93.2
Ecart-type	59.4	52.9
Médiane	80.3	84.5
Coefficient de variation	0.629	0.568
Coefficient d'asymétrie	1.65	1.14

✓ **Ajustement à la loi log-normale (Galton)**

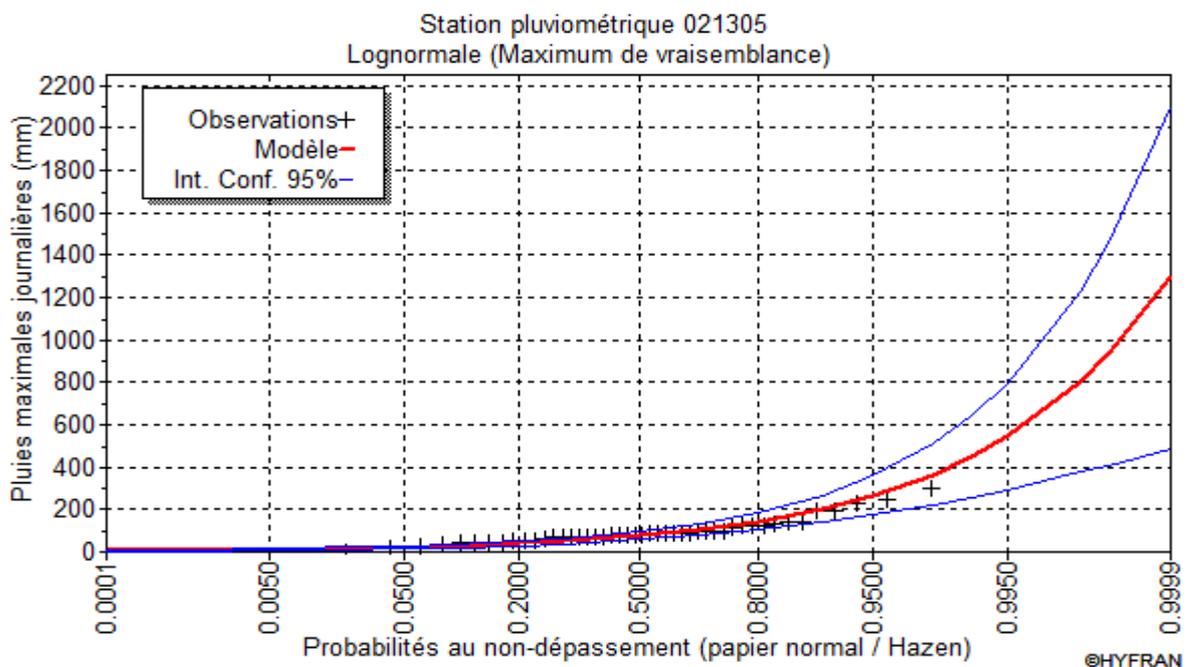


Figure III. 5 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de log-normale de la station 021305

- Les résultats de l'ajustement :

Tableau III. 10 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021305

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (mm)	σ	–
1000	0.999	354	35.8	284-425
100	0.99	259	24.9	210-308
50	0.98	230	21.6	188-273
20	0.95	192	17.4	158-226
10	0.90	162	14.2	134-190
5	0.80	131	11.0	110-153

Tableau III. 11 Comparaison entre les résultats de la loi de Galton et de l'échantillon

Caractéristiques	Echantillon	Galton
Maximum	301	Aucun
Minimum	2.3	0
Moyenne	94.4	102
Ecart-type	59.4	90.5
Médiane	80.3	76.7
Coefficient de variation	0.629	0.883
Coefficient d'asymétrie	1.65	3.34

✓ **Ajustement à la loi de GEV**

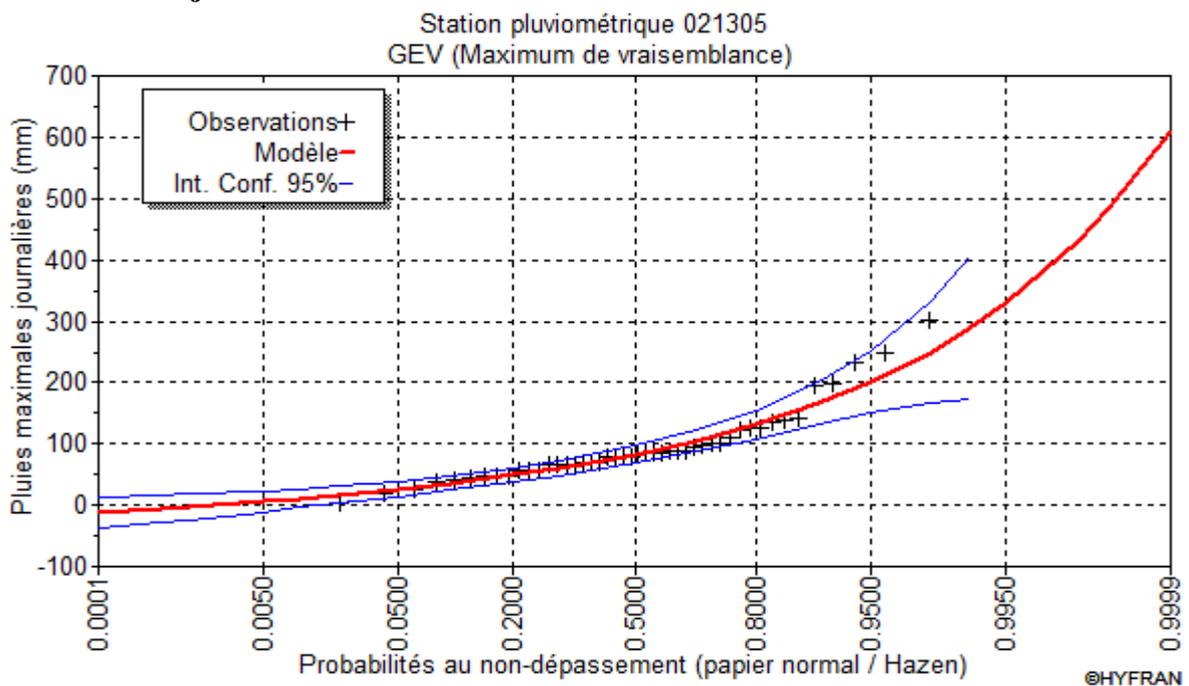


Figure III. 6 Représentation graphique de l'ajustement à la loi GEV de la station 021305

- Les résultats de l'ajustement :

Tableau III. 12 Quantiles théoriques de GEV pour la station 021305

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (mm)	σ	-
1000	0.999	435	148	-
100	0.99	289	59.7	172-406
50	0.98	250	42.8	166-333
20	0.95	201	26.2	150-252
10	0.90	166	17.6	131-200
5	0.80	131	11.9	108-154

Tableau III. 13 Comparaison entre les résultats de la loi GEV et de l'échantillon

Caractéristiques	Echantillon	GEV
Maximum	301	Aucun
Minimum	2.3	-416
Moyenne	94.4	94.3
Ecart-type	59.4	57.1
Médiane	80.3	82.7
Coefficient de variation	0.629	0.606
Coefficient d'asymétrie	1.65	1.73

❖ **Test d'adéquation du χ^2**

Tableau III. 14 Résultats du Test de χ^2

Lois statistiques	Degré de liberté γ	χ^2 calculé	χ^2 Théorique	Observations	Remarques
Gumbel	6	9.17	12.592	χ^2 calculée < χ^2 théorique	Ajustement valide
Log-normale	6	12.7	12.592	χ^2 calculée > χ^2 théorique	Ajustement non valide
GEV	5	10.74	11.07	χ^2 calculée < χ^2 théorique	Ajustement valide

On remarque que la loi de Galton ne s'ajuste pas

❖ **Test visuel :**

D'après les graphes représentés dans les figures (III.4, III.5, III.6), on voit des valeurs négatives dans l'intervalle de confiance de la loi de Gumbel ce qui n'a aucune signification physique. Et d'après le teste d'adéquation la loi de Galton ne s'ajuste pas, donc la pluie maximale journalière suit la loi de GEV tous les points de la loi sont plus proches de la droite d'ajustement théorique que le nuage des points ajusté par loi log-normal.

On prendra donc les quantiles calculés par la loi de GEV :

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
$T (ans)$	q	$X_t(mm)$	σ	-
1000	0.999	435	148	-
100	0.99	289	59.7	172-406
50	0.98	250	42.8	166-333
20	0.95	201	26.2	150-252
10	0.90	166	17.6	131-200
5	0.80	131	11.9	108-154

❖ **Choix de l'ajustement des séries**

✓ **Station 021307**

Tableau III. 15 Quantiles théoriques de GEV pour la station 021307

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
$T (ans)$	q	$X_t(mm)$	σ	-
1000	0.999	142	23.9	-
100	0.99	120	12.9	94.5-145
50	0.98	111	10.2	91.8-132
20	0.95	100	7.26	58.8-114
10	0.90	90	5.66	78.9-101
5	0.80	78.6	4.58	69.6-87.5

✓ Station 021301

Tableau III. 16 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021301

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (mm)	σ	–
1000	0.999	3210	1220	817-5600
100	0.99	1600	487	646-2550
50	0.98	1250	347	567-1930
20	0.95	860	208	452-1270
10	0.90	617	131	360-874
5	0.80	413	75.4	265-561

✓ Station 021418

Tableau III. 17 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021418

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (m ³ /s)	σ	–
1000	0.999	7520	4140	-
100	0.99	5200	2650	-
50	0.98	3470	1620	-
20	0.95	1900	768	390-3400
10	0.90	1110	394	335-1880
5	0.80	577	176	231-923

✓ Station 021102

Tableau III. 18 Quantiles théoriques de GEV pour la station 021102

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (mm)	σ	–
1000	0.999	432	170	-
100	0.99	269	62.7	146-392
50	0.98	229	43.7	143-315
20	0.95	181	25.7	131-231
10	0.90	148	16.6	116-181
5	0.80	117	10.7	96.0-138

✓ Station 021112

Tableau III. 19 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021112

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (mm)	σ	–
1000	0.999	181	29	124-238
100	0.99	128	16.5	96-161
50	0.98	114	13.4	87.4-140
20	0.95	94.5	9.66	75.6-113
10	0.90	80.3	7.21	66.2-94.4
5	0.80	65.9	5.09	55.9-75.9

✓ Station 021113

Tableau III. 20 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021113

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (mm)	σ	–
1000	0.999	219	46.3	128-310
100	0.99	153	25.8	102-203
50	0.98	134	20.7	93.4-175
20	0.95	110	14.8	81.3-139
10	0.90	92.9	11.0	71.4-114
5	0.80	75.4	7.64	60.4-90.4

✓ Station 021115

Tableau III. 21 Quantiles théoriques de Galton pour la station 021115

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (mm)	σ	–
1000	0.999	285	39.3	208-362
100	0.99	211	23.3	166-257
50	0.98	190	19.1	152-227
20	0.95	162	14.2	134-189
10	0.90	140	10.8	119-161
5	0.80	118	7.8	102-133

✓ Station 021126

Tableau III. 22 Quantiles théoriques de Gumbel pour la station pluviométrique 021126

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (mm)	σ	–
1000	0.999	275	59.3	159-391
100	0.99	209	40.3	130-288
50	0.98	188	34.6	121-256
20	0.95	162	27.1	109-215
10	0.90	141	15.9	88.1-150
5	0.80	119	12.0	78.5-125

✓ Station 021128

Tableau III. 23 Quantiles théoriques de Gumbel pour la station 021128

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (mm)	σ	–
1000	0.999	275	29.0	218-331
100	0.99	201	20.2	161-240
50	0.98	179	17.5	144-213
20	0.95	149	14.1	121-176
10	0.90	126	11.5	103-148
5	0.80	102	8.92	84.4-119

✓ Station 021126 (Station hydrométrique)

Tableau III. 24 Quantiles théoriques de GEV pour la station 021126

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
T (ans)	q	X_t (m ³ /s)	σ	–
1000	0.999	1840	1190	-
100	0.99	846	334	-
50	0.98	655	215	235-1080
20	0.95	455	112	234-675
10	0.90	333	65.7	204-462
5	0.80	231	37.5	157-304

2. Pluies de courte durée

Pour une période donnée la quantité de pluie tombée dans un temps donnée "t" est donnée par la formule de Body (ANRH, 1984):

$$P_{ct} = P_{\max j} \left(\frac{t}{24} \right)^b \quad (\text{III.9})$$

Avec :

t : durée de l'averse.

b : exposant climatique (**b = 0.37**, selon l'ANRH).

Les intensités maximales de période t (h) et période de retour T=100 (ans) sont calculées par la relation :

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t} \quad (\text{III.10})$$

Avec :

I : l'intensité maximale de période t (h).

Les précipitations et les intensités maximales pour différentes durées sont représentées au tableau suivant :

D'où :

P : Pluies de courte durée (mm).

I : Intensité maximale (mm/h).

✓ **Station 021303**

Tableau III. 25 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021303

période de retour (ans)	1000		100		50		20		10		5	
Fréquence (%)	0.1		1		2		5		10		20	
P j max (mm)	428		249		208		160		128		98.4	
Durée (h)	Pt (mm)	It (mm\h)										
0.25	90.67	362.69	52.75	211.00	44.06	176.26	33.90	135.58	27.12	108.47	20.85	83.38
0.5	114.77	229.54	66.77	133.54	55.78	111.55	42.90	85.81	34.32	68.65	26.39	52.77
1	145.27	145.27	84.51	84.51	70.60	70.60	54.31	54.31	43.44	43.44	33.40	33.40
2	183.87	91.94	106.97	53.49	89.36	44.68	68.74	34.37	54.99	27.50	42.27	21.14
3	211.05	70.35	122.79	40.93	102.57	34.19	78.90	26.30	63.12	21.04	48.52	16.17
4	232.74	58.19	135.40	33.85	113.11	28.28	87.01	21.75	69.60	17.40	53.51	13.38
5	251.09	50.22	146.08	29.22	122.02	24.40	93.86	18.77	75.09	15.02	57.73	11.55
6	267.14	44.52	155.42	25.90	129.83	21.64	99.87	16.64	79.89	13.32	61.42	10.24
7	281.52	40.22	163.78	23.40	136.81	19.54	105.24	15.03	84.19	12.03	64.72	9.25
8	294.59	36.82	171.39	21.42	143.17	17.90	110.13	13.77	88.10	11.01	67.73	8.47
9	306.63	34.07	178.39	19.82	149.02	16.56	114.63	12.74	91.70	10.19	70.50	7.83
10	317.81	31.78	184.90	18.49	154.45	15.45	118.81	11.88	95.05	9.50	73.07	7.31
11	328.28	29.84	190.99	17.36	159.54	14.50	122.72	11.16	98.18	8.93	75.47	6.86
12	338.14	28.18	196.72	16.39	164.33	13.69	126.41	10.53	101.13	8.43	77.74	6.48
13	347.47	26.73	202.15	15.55	168.86	12.99	129.89	9.99	103.92	7.99	79.88	6.14
14	356.33	25.45	207.31	14.81	173.17	12.37	133.21	9.51	106.57	7.61	81.92	5.85
15	364.79	24.32	212.23	14.15	177.28	11.82	136.37	9.09	109.10	7.27	83.87	5.59
16	372.88	23.31	216.93	13.56	181.21	11.33	139.40	8.71	111.52	6.97	85.73	5.36
17	380.65	22.39	221.45	13.03	184.99	10.88	142.30	8.37	113.84	6.70	87.51	5.15
18	388.12	21.56	225.80	12.54	188.62	10.48	145.09	8.06	116.07	6.45	89.23	4.96
19	395.32	20.81	229.99	12.10	192.12	10.11	147.78	7.78	118.23	6.22	90.89	4.78
20	402.27	20.11	234.03	11.70	195.50	9.77	150.38	7.52	120.31	6.02	92.49	4.62
21	409.00	19.48	237.95	11.33	198.77	9.47	152.90	7.28	122.32	5.82	94.03	4.48
22	415.52	18.89	241.74	10.99	201.94	9.18	155.34	7.06	124.27	5.65	95.53	4.34
23	421.85	18.34	245.42	10.67	205.01	8.91	157.70	6.86	126.16	5.49	96.99	4.22
24	428.00	17.83	249.00	10.38	208.00	8.67	160.00	6.67	128.00	5.33	98.40	4.10
7.6	289.50	38.09	168.42	22.16	140.69	18.51	108.22	14.24	86.58	11.39	66.56	8.76

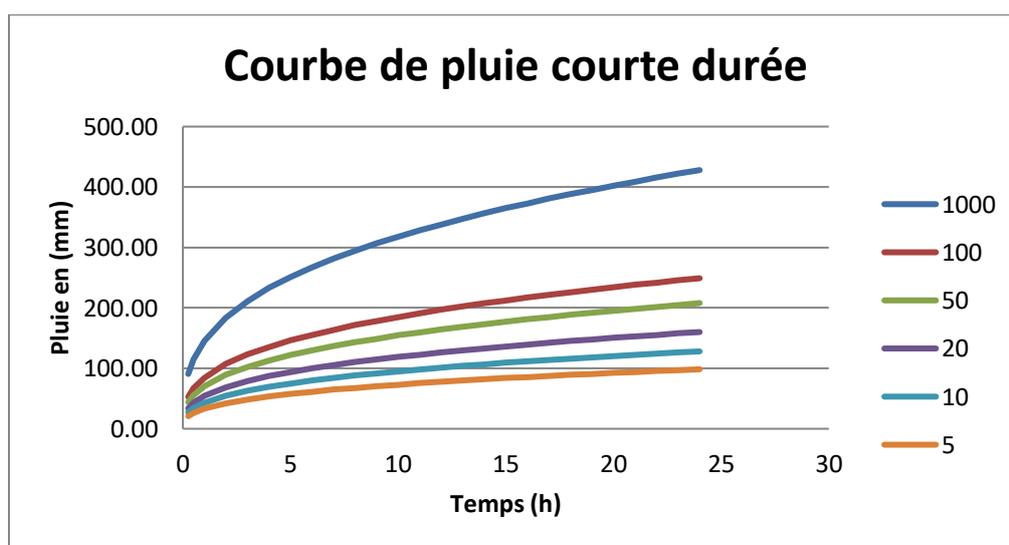


Figure III. 7 Courbe de pluie courte durée pour différentes périodes de retour

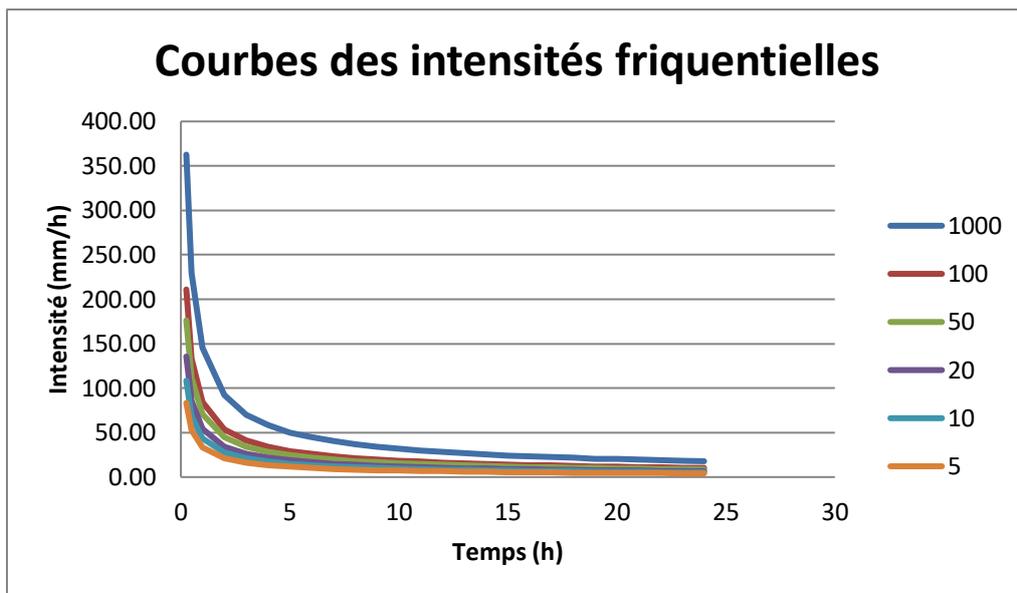


Figure III. 8 Courbes des intensités fréquentielles pour différentes périodes de retour

✓ Station 021305

Tableau III. 26 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021305

période de retour (ans)	1000		100		50		20		10		5	
Fréquence (%)	0.1		1		2		5		20		50	
P j max (mm)	435		289		250		201		166		131	
Durée (h)	Pt (mm)	It (mm/h)										
0.25	92.15	368.62	61.22	244.90	52.96	211.85	42.58	170.33	35.17	140.67	27.75	111.01
0.5	116.65	233.29	77.50	154.99	67.04	134.08	53.90	107.80	44.51	89.03	35.13	70.26
1	147.64	147.64	98.09	98.09	84.85	84.85	68.22	68.22	56.34	56.34	44.46	44.46
2	186.88	93.44	124.16	62.08	107.40	53.70	86.35	43.18	71.32	35.66	56.28	28.14
3	214.51	71.50	142.51	47.50	123.28	41.09	99.12	33.04	81.86	27.29	64.60	21.53
4	236.55	59.14	157.15	39.29	135.95	33.99	109.30	27.33	90.27	22.57	71.24	17.81
5	255.19	51.04	169.54	33.91	146.66	29.33	117.92	23.58	97.38	19.48	76.85	15.37
6	271.51	45.25	180.38	30.06	156.04	26.01	125.46	20.91	103.61	17.27	81.77	13.63
7	286.12	40.87	190.09	27.16	164.44	23.49	132.21	18.89	109.19	15.60	86.17	12.31
8	299.41	37.43	198.92	24.86	172.08	21.51	138.35	17.29	114.26	14.28	90.17	11.27
9	311.64	34.63	207.05	23.01	179.11	19.90	144.00	16.00	118.93	13.21	93.85	10.43
10	323.01	32.30	214.60	21.46	185.64	18.56	149.25	14.93	123.26	12.33	97.27	9.73
11	333.65	30.33	221.67	20.15	191.75	17.43	154.17	14.02	127.32	11.57	100.48	9.13
12	343.67	28.64	228.32	19.03	197.51	16.46	158.80	13.23	131.15	10.93	103.50	8.62
13	353.15	27.17	234.62	18.05	202.96	15.61	163.18	12.55	134.76	10.37	106.35	8.18
14	362.16	25.87	240.61	17.19	208.14	14.87	167.34	11.95	138.20	9.87	109.06	7.79
15	370.76	24.72	246.32	16.42	213.08	14.21	171.31	11.42	141.48	9.43	111.65	7.44
16	378.98	23.69	251.78	15.74	217.81	13.61	175.12	10.94	144.62	9.04	114.13	7.13
17	386.87	22.76	257.03	15.12	222.34	13.08	178.76	10.52	147.63	8.68	116.51	6.85
18	394.47	21.91	262.07	14.56	226.70	12.59	182.27	10.13	150.53	8.36	118.79	6.60
19	401.78	21.15	266.93	14.05	230.91	12.15	185.65	9.77	153.32	8.07	121.00	6.37
20	408.85	20.44	271.63	13.58	234.97	11.75	188.92	9.45	156.02	7.80	123.13	6.16
21	415.69	19.79	276.17	13.15	238.90	11.38	192.08	9.15	158.63	7.55	125.19	5.96
22	422.32	19.20	280.58	12.75	242.71	11.03	195.14	8.87	161.16	7.33	127.18	5.78
23	428.75	18.64	284.85	12.38	246.41	10.71	198.11	8.61	163.62	7.11	129.12	5.61
24	435.00	18.13	289.00	12.04	250.00	10.42	201.00	8.38	166.00	6.92	131.00	5.46
7.6	294.23	38.72	195.48	25.72	169.10	22.25	135.96	17.89	112.28	14.77	88.61	11.66

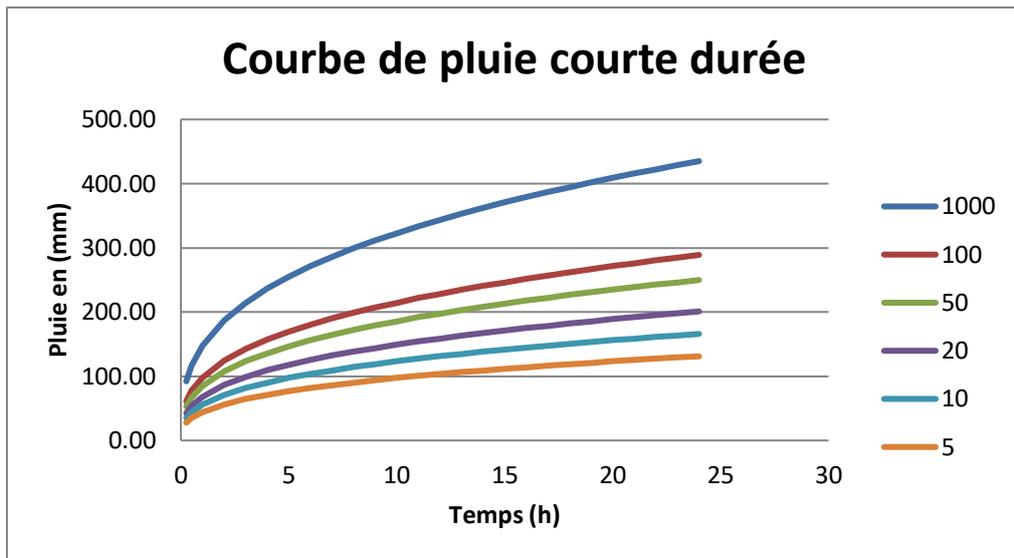


Figure III. 9 Courbe de pluie courte durée pour différentes périodes de retour

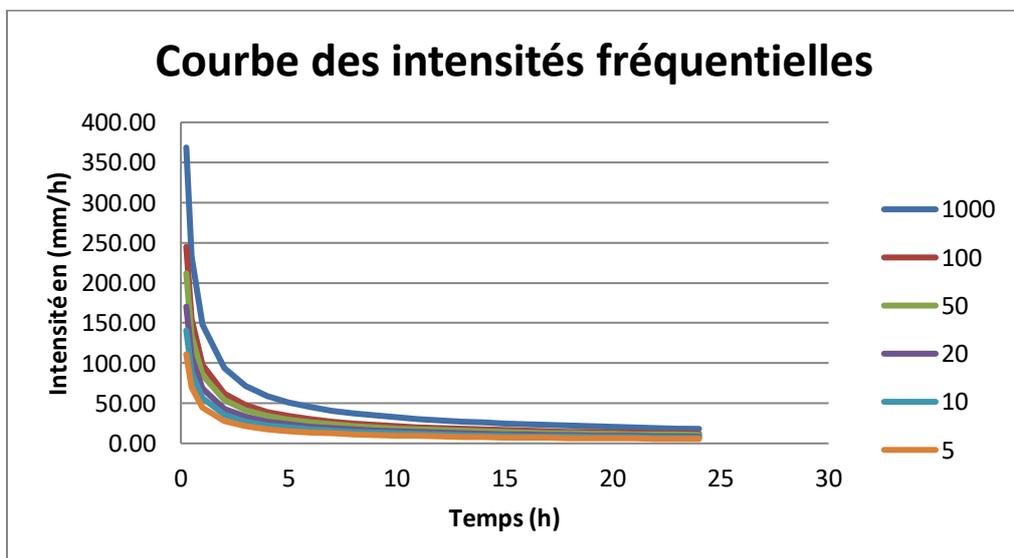


Figure III. 10 Courbes des intensités fréquentielles pour différentes périodes de retour

✓ **Station 021307**

Tableau III. 27 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021307

période de retour (ans)	1000		100		50		20		10		5	
Fréquence (%)	0.1		1		2		5		10		20	
P j max (mm)	182		137		124		106		92.9		78.9	
Durée (h)	Pt (mm)	It (mm\h)										
0.25	38.56	154.23	29.02	116.09	26.27	105.08	22.46	89.82	19.68	78.72	16.71	66.86
0.5	48.80	97.61	36.74	73.47	33.25	66.50	28.42	56.85	24.91	49.82	21.16	42.31
1	61.77	61.77	46.50	46.50	42.09	42.09	35.98	35.98	31.53	31.53	26.78	26.78
2	78.19	39.09	58.86	29.43	53.27	26.64	45.54	22.77	39.91	19.96	33.90	16.95
3	89.75	29.92	67.56	22.52	61.15	20.38	52.27	17.42	45.81	15.27	38.91	12.97
4	98.97	24.74	74.50	18.62	67.43	16.86	57.64	14.41	50.52	12.63	42.90	10.73
5	106.77	21.35	80.37	16.07	72.74	14.55	62.18	12.44	54.50	10.90	46.29	9.26
6	113.60	18.93	85.51	14.25	77.40	12.90	66.16	11.03	57.98	9.66	49.25	8.21
7	119.71	17.10	90.11	12.87	81.56	11.65	69.72	9.96	61.11	8.73	51.90	7.41
8	125.27	15.66	94.30	11.79	85.35	10.67	72.96	9.12	63.94	7.99	54.31	6.79
9	130.39	14.49	98.15	10.91	88.84	9.87	75.94	8.44	66.56	7.40	56.53	6.28
10	135.14	13.51	101.73	10.17	92.08	9.21	78.71	7.87	68.98	6.90	58.59	5.86
11	139.60	12.69	105.08	9.55	95.11	8.65	81.30	7.39	71.26	6.48	60.52	5.50
12	143.79	11.98	108.24	9.02	97.97	8.16	83.74	6.98	73.39	6.12	62.33	5.19
13	147.75	11.37	111.22	8.56	100.67	7.74	86.05	6.62	75.42	5.80	64.05	4.93
14	151.52	10.82	114.06	8.15	103.24	7.37	88.25	6.30	77.34	5.52	65.69	4.69
15	155.12	10.34	116.77	7.78	105.69	7.05	90.35	6.02	79.18	5.28	67.25	4.48
16	158.56	9.91	119.36	7.46	108.03	6.75	92.35	5.77	80.94	5.06	68.74	4.30
17	161.86	9.52	121.84	7.17	110.28	6.49	94.27	5.55	82.62	4.86	70.17	4.13
18	165.04	9.17	124.23	6.90	112.45	6.25	96.12	5.34	84.24	4.68	71.55	3.97
19	168.10	8.85	126.54	6.66	114.53	6.03	97.91	5.15	85.81	4.52	72.88	3.84
20	171.06	8.55	128.77	6.44	116.55	5.83	99.63	4.98	87.32	4.37	74.16	3.71
21	173.92	8.28	130.92	6.23	118.50	5.64	101.30	4.82	88.78	4.23	75.40	3.59
22	176.69	8.03	133.01	6.05	120.39	5.47	102.91	4.68	90.19	4.10	76.60	3.48
23	179.39	7.80	135.03	5.87	122.22	5.31	104.48	4.54	91.57	3.98	77.77	3.38
24	182.00	7.58	137.00	5.71	124.00	5.17	106.00	4.42	92.90	3.87	78.90	3.29
7.6	123.11	16.20	92.67	12.19	83.87	11.04	71.70	9.43	62.84	8.27	53.37	7.02

✓ **Station 021102**

Tableau III. 28 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021102

période de retour (ans)	1000		100		50		20		10		5	
Fréquence (%)	0.1		1		2		5		10		20	
P j max (mm)	432		269		229		181		148		117	
Durée (h)	Pt (mm)	It (mm\h)										
0.25	91.52	366.08	56.99	227.95	48.51	194.05	38.34	153.38	31.35	125.42	24.79	99.15
0.5	115.84	231.68	72.13	144.26	61.41	122.81	48.54	97.07	39.69	79.37	31.37	62.75
1	146.63	146.63	91.30	91.30	77.73	77.73	61.43	61.43	50.23	50.23	39.71	39.71
2	185.59	92.80	115.57	57.78	98.38	49.19	77.76	38.88	63.58	31.79	50.26	25.13
3	213.03	71.01	132.65	44.22	112.92	37.64	89.25	29.75	72.98	24.33	57.69	19.23
4	234.92	58.73	146.28	36.57	124.53	31.13	98.43	24.61	80.48	20.12	63.62	15.91
5	253.43	50.69	157.81	31.56	134.34	26.87	106.18	21.24	86.82	17.36	68.64	13.73
6	269.64	44.94	167.90	27.98	142.93	23.82	112.97	18.83	92.38	15.40	73.03	12.17
7	284.15	40.59	176.94	25.28	150.62	21.52	119.05	17.01	97.35	13.91	76.96	10.99
8	297.35	37.17	185.15	23.14	157.62	19.70	124.58	15.57	101.87	12.73	80.53	10.07
9	309.50	34.39	192.72	21.41	164.06	18.23	129.67	14.41	106.03	11.78	83.82	9.31
10	320.78	32.08	199.75	19.97	170.04	17.00	134.40	13.44	109.90	10.99	86.88	8.69
11	331.35	30.12	206.33	18.76	175.65	15.97	138.83	12.62	113.52	10.32	89.74	8.16
12	341.30	28.44	212.52	17.71	180.92	15.08	143.00	11.92	116.93	9.74	92.43	7.70
13	350.71	26.98	218.38	16.80	185.91	14.30	146.94	11.30	120.15	9.24	94.98	7.31
14	359.66	25.69	223.96	16.00	190.65	13.62	150.69	10.76	123.22	8.80	97.41	6.96
15	368.20	24.55	229.27	15.28	195.18	13.01	154.27	10.28	126.14	8.41	99.72	6.65
16	376.37	23.52	234.36	14.65	199.51	12.47	157.69	9.86	128.94	8.06	101.93	6.37
17	384.21	22.60	239.24	14.07	203.66	11.98	160.98	9.47	131.63	7.74	104.06	6.12
18	391.75	21.76	243.93	13.55	207.66	11.54	164.13	9.12	134.21	7.46	106.10	5.89
19	399.01	21.00	248.46	13.08	211.51	11.13	167.18	8.80	136.70	7.19	108.07	5.69
20	406.03	20.30	252.83	12.64	215.24	10.76	170.12	8.51	139.10	6.96	109.97	5.50
21	412.83	19.66	257.06	12.24	218.84	10.42	172.97	8.24	141.43	6.73	111.81	5.32
22	419.41	19.06	261.16	11.87	222.32	10.11	175.72	7.99	143.69	6.53	113.59	5.16
23	425.79	18.51	265.14	11.53	225.71	9.81	178.40	7.76	145.87	6.34	115.32	5.01
24	432.00	18.00	269.00	11.21	229.00	9.54	181.00	7.54	148.00	6.17	117.00	4.88
8.9	308.32	34.64	191.99	21.57	163.44	18.36	129.18	14.51	105.63	11.87	83.50	9.38

✓ **Station 021112**

Tableau III. 29 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021112

période de retour (ans)	1000		100		50		20		10		5	
Fréquence (%)	0.1		1		2		5		10		20	
P j max (mm)	181		128		114		94,5		80,3		65,9	
Durée (h)	Pt (mm)	It (mm\h)										
0.25	38.34	153.38	27.12	108.47	24.15	96.60	20.02	80.08	17.01	68.05	13.96	55.84
0.5	48.54	97.07	34.32	68.65	30.57	61.14	25.34	50.68	21.53	43.06	17.67	35.34
1	61.43	61.43	43.44	43.44	38.69	38.69	32.07	32.07	27.25	27.25	22.37	22.37
2	77.76	38.88	54.99	27.50	48.98	24.49	40.60	20.30	34.50	17.25	28.31	14.16
3	89.25	29.75	63.12	21.04	56.22	18.74	46.60	15.53	39.60	13.20	32.50	10.83
4	98.43	24.61	69.60	17.40	61.99	15.50	51.39	12.85	43.67	10.92	35.84	8.96
5	106.18	21.24	75.09	15.02	66.88	13.38	55.44	11.09	47.11	9.42	38.66	7.73
6	112.97	18.83	79.89	13.32	71.15	11.86	58.98	9.83	50.12	8.35	41.13	6.86
7	119.05	17.01	84.19	12.03	74.98	10.71	62.16	8.88	52.82	7.55	43.35	6.19
8	124.58	15.57	88.10	11.01	78.47	9.81	65.04	8.13	55.27	6.91	45.36	5.67
9	129.67	14.41	91.70	10.19	81.67	9.07	67.70	7.52	57.53	6.39	47.21	5.25
10	134.40	13.44	95.05	9.50	84.65	8.47	70.17	7.02	59.63	5.96	48.93	4.89
11	138.83	12.62	98.18	8.93	87.44	7.95	72.48	6.59	61.59	5.60	50.55	4.60
12	143.00	11.92	101.13	8.43	90.06	7.51	74.66	6.22	63.44	5.29	52.06	4.34
13	146.94	11.30	103.92	7.99	92.55	7.12	76.72	5.90	65.19	5.01	53.50	4.12
14	150.69	10.76	106.57	7.61	94.91	6.78	78.68	5.62	66.85	4.78	54.87	3.92
15	154.27	10.28	109.10	7.27	97.16	6.48	80.54	5.37	68.44	4.56	56.17	3.74
16	157.69	9.86	111.52	6.97	99.32	6.21	82.33	5.15	69.96	4.37	57.41	3.59
17	160.98	9.47	113.84	6.70	101.39	5.96	84.05	4.94	71.42	4.20	58.61	3.45
18	164.13	9.12	116.07	6.45	103.38	5.74	85.69	4.76	72.82	4.05	59.76	3.32
19	167.18	8.80	118.23	6.22	105.30	5.54	87.28	4.59	74.17	3.90	60.87	3.20
20	170.12	8.51	120.31	6.02	107.15	5.36	88.82	4.44	75.47	3.77	61.94	3.10
21	172.97	8.24	122.32	5.82	108.94	5.19	90.31	4.30	76.74	3.65	62.97	3.00
22	175.72	7.99	124.27	5.65	110.68	5.03	91.75	4.17	77.96	3.54	63.98	2.91
23	178.40	7.76	126.16	5.49	112.36	4.89	93.14	4.05	79.15	3.44	64.95	2.82
24	181.00	7.54	128.00	5.33	114.00	4.75	94.50	3.94	80.30	3.35	65.90	2.75
8.9	129.18	14.51	91.35	10.26	81.36	9.14	67.45	7.58	57.31	6.44	47.03	5.28

✓ **Station 021113**

Tableau III. 30 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021113

période de retour (ans)	1000		100		50		20		10		5	
Fréquence (%)	0.1		1		2		5		10		20	
P j max (mm)	219		153		134		110		92.9		75.4	
Durée (h)	Pt (mm)	It (mm/h)										
0.25	46.40	185.58	32.41	129.65	28.39	113.55	23.30	93.21	19.68	78.72	15.97	63.89
0.5	58.72	117.45	41.03	82.05	35.93	71.86	29.50	58.99	24.91	49.82	20.22	40.44
1	74.33	74.33	51.93	51.93	45.48	45.48	37.34	37.34	31.53	31.53	25.59	25.59
2	94.09	47.04	65.73	32.87	57.57	28.78	47.26	23.63	39.91	19.96	32.39	16.20
3	107.99	36.00	75.45	25.15	66.08	22.03	54.24	18.08	45.81	15.27	37.18	12.39
4	119.09	29.77	83.20	20.80	72.87	18.22	59.82	14.95	50.52	12.63	41.00	10.25
5	128.48	25.70	89.76	17.95	78.61	15.72	64.53	12.91	54.50	10.90	44.23	8.85
6	136.69	22.78	95.50	15.92	83.64	13.94	68.66	11.44	57.98	9.66	47.06	7.84
7	144.05	20.58	100.64	14.38	88.14	12.59	72.35	10.34	61.11	8.73	49.59	7.08
8	150.74	18.84	105.31	13.16	92.23	11.53	75.71	9.46	63.94	7.99	51.90	6.49
9	156.90	17.43	109.61	12.18	96.00	10.67	78.81	8.76	66.56	7.40	54.02	6.00
10	162.62	16.26	113.61	11.36	99.50	9.95	81.68	8.17	68.98	6.90	55.99	5.60
11	167.98	15.27	117.35	10.67	102.78	9.34	84.37	7.67	71.26	6.48	57.83	5.26
12	173.02	14.42	120.88	10.07	105.87	8.82	86.90	7.24	73.39	6.12	59.57	4.96
13	177.79	13.68	124.21	9.55	108.79	8.37	89.30	6.87	75.42	5.80	61.21	4.71
14	182.33	13.02	127.38	9.10	111.56	7.97	91.58	6.54	77.34	5.52	62.77	4.48
15	186.66	12.44	130.40	8.69	114.21	7.61	93.75	6.25	79.18	5.28	64.26	4.28
16	190.80	11.92	133.30	8.33	116.74	7.30	95.83	5.99	80.94	5.06	65.69	4.11
17	194.77	11.46	136.07	8.00	119.18	7.01	97.83	5.75	82.62	4.86	67.06	3.94
18	198.59	11.03	138.74	7.71	121.51	6.75	99.75	5.54	84.24	4.68	68.37	3.80
19	202.28	10.65	141.32	7.44	123.77	6.51	101.60	5.35	85.81	4.52	69.64	3.67
20	205.84	10.29	143.80	7.19	125.95	6.30	103.39	5.17	87.32	4.37	70.87	3.54
21	209.28	9.97	146.21	6.96	128.05	6.10	105.12	5.01	88.78	4.23	72.05	3.43
22	212.62	9.66	148.54	6.75	130.09	5.91	106.79	4.85	90.19	4.10	73.20	3.33
23	215.85	9.38	150.80	6.56	132.07	5.74	108.42	4.71	91.57	3.98	74.32	3.23
24	219.00	9.13	153.00	6.38	134.00	5.58	110.00	4.58	92.90	3.87	75.40	3.14
8.9	156.30	17.56	109.20	12.27	95.64	10.75	78.51	8.82	66.30	7.45	53.81	6.05

✓ **Station 021115**

Tableau III. 31 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021115

période de retour (ans)	1000		100		50		20		10		5	
Fréquence (%)	0.1		1		2		5		10		20	
P j max (mm)	285		211		190		162		140		118	
Durée (h)	Pt (mm)	It (mm\h)										
0.25	60.38	241.51	44.70	178.80	40.25	161.01	34.32	137.28	29.66	118.64	25.00	99.99
0.5	76.42	152.85	56.58	113.16	50.95	101.90	43.44	86.88	37.54	75.08	31.64	63.28
1	96.73	96.73	71.62	71.62	64.49	64.49	54.98	54.98	47.52	47.52	40.05	40.05
2	122.44	61.22	90.65	45.32	81.63	40.81	69.60	34.80	60.15	30.07	50.69	25.35
3	140.54	46.85	104.05	34.68	93.69	31.23	79.88	26.63	69.04	23.01	58.19	19.40
4	154.98	38.74	114.74	28.68	103.32	25.83	88.09	22.02	76.13	19.03	64.17	16.04
5	167.19	33.44	123.78	24.76	111.46	22.29	95.04	19.01	82.13	16.43	69.22	13.84
6	177.89	29.65	131.70	21.95	118.59	19.77	101.11	16.85	87.38	14.56	73.65	12.28
7	187.46	26.78	138.79	19.83	124.97	17.85	106.56	15.22	92.09	13.16	77.61	11.09
8	196.17	24.52	145.23	18.15	130.78	16.35	111.50	13.94	96.36	12.05	81.22	10.15
9	204.18	22.69	151.17	16.80	136.12	15.12	116.06	12.90	100.30	11.14	84.54	9.39
10	211.63	21.16	156.68	15.67	141.09	14.11	120.29	12.03	103.96	10.40	87.62	8.76
11	218.60	19.87	161.84	14.71	145.73	13.25	124.26	11.30	107.38	9.76	90.51	8.23
12	225.16	18.76	166.70	13.89	150.11	12.51	127.99	10.67	110.61	9.22	93.22	7.77
13	231.37	17.80	171.30	13.18	154.25	11.87	131.52	10.12	113.66	8.74	95.80	7.37
14	237.28	16.95	175.67	12.55	158.19	11.30	134.87	9.63	116.56	8.33	98.24	7.02
15	242.91	16.19	179.84	11.99	161.94	10.80	138.07	9.20	119.32	7.95	100.57	6.70
16	248.30	15.52	183.83	11.49	165.53	10.35	141.14	8.82	121.97	7.62	102.80	6.43
17	253.47	14.91	187.66	11.04	168.98	9.94	144.08	8.48	124.51	7.32	104.95	6.17
18	258.44	14.36	191.34	10.63	172.30	9.57	146.90	8.16	126.95	7.05	107.00	5.94
19	263.24	13.85	194.89	10.26	175.49	9.24	149.63	7.88	129.31	6.81	108.99	5.74
20	267.87	13.39	198.32	9.92	178.58	8.93	152.26	7.61	131.59	6.58	110.91	5.55
21	272.35	12.97	201.63	9.60	181.57	8.65	154.81	7.37	133.79	6.37	112.76	5.37
22	276.69	12.58	204.85	9.31	184.46	8.38	157.28	7.15	135.92	6.18	114.56	5.21
23	280.91	12.21	207.97	9.04	187.27	8.14	159.67	6.94	137.99	6.00	116.30	5.06
24	285.00	11.88	211.00	8.79	190.00	7.92	162.00	6.75	140.00	5.83	118.00	4.92
8.9	203.41	22.85	150.59	16.92	135.60	15.24	115.62	12.99	99.92	11.23	84.22	9.46

✓ **Station 021126**

Tableau III. 32 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021126

période de retour (ans)	1000		100		50		20		10		5	
Fréquence (%)	0.1		1		2		5		10		20	
P j max (mm)	275		209		188		162		141		119	
Durée (h)	Pt (mm)	It (mm/h)										
0.25	58.26	233.03	44.28	177.11	39.83	159.31	34.32	137.28	29.87	119.48	25.21	100.84
0.5	73.74	147.48	56.04	112.09	50.41	100.82	43.44	86.88	37.81	75.62	31.91	63.82
1	93.34	93.34	70.94	70.94	63.81	63.81	54.98	54.98	47.86	47.86	40.39	40.39
2	118.14	59.07	89.79	44.89	80.77	40.38	69.60	34.80	60.58	30.29	51.12	25.56
3	135.61	45.20	103.06	34.35	92.71	30.90	79.88	26.63	69.53	23.18	58.68	19.56
4	149.54	37.39	113.65	28.41	102.23	25.56	88.09	22.02	76.67	19.17	64.71	16.18
5	161.33	32.27	122.61	24.52	110.29	22.06	95.04	19.01	82.72	16.54	69.81	13.96
6	171.65	28.61	130.45	21.74	117.34	19.56	101.11	16.85	88.01	14.67	74.28	12.38
7	180.88	25.84	137.47	19.64	123.66	17.67	106.56	15.22	92.74	13.25	78.27	11.18
8	189.28	23.66	143.86	17.98	129.40	16.18	111.50	13.94	97.05	12.13	81.91	10.24
9	197.02	21.89	149.73	16.64	134.69	14.97	116.06	12.90	101.02	11.22	85.25	9.47
10	204.20	20.42	155.19	15.52	139.60	13.96	120.29	12.03	104.70	10.47	88.36	8.84
11	210.93	19.18	160.31	14.57	144.20	13.11	124.26	11.30	108.15	9.83	91.27	8.30
12	217.26	18.11	165.12	13.76	148.53	12.38	127.99	10.67	111.40	9.28	94.01	7.83
13	223.26	17.17	169.67	13.05	152.63	11.74	131.52	10.12	114.47	8.81	96.61	7.43
14	228.95	16.35	174.00	12.43	156.52	11.18	134.87	9.63	117.39	8.38	99.07	7.08
15	234.39	15.63	178.13	11.88	160.23	10.68	138.07	9.20	120.18	8.01	101.43	6.76
16	239.59	14.97	182.09	11.38	163.79	10.24	141.14	8.82	122.84	7.68	103.68	6.48
17	244.58	14.39	185.88	10.93	167.20	9.84	144.08	8.48	125.40	7.38	105.83	6.23
18	249.38	13.85	189.53	10.53	170.48	9.47	146.90	8.16	127.86	7.10	107.91	6.00
19	254.00	13.37	193.04	10.16	173.64	9.14	149.63	7.88	130.23	6.85	109.91	5.78
20	258.47	12.92	196.44	9.82	176.70	8.83	152.26	7.61	132.52	6.63	111.85	5.59
21	262.79	12.51	199.72	9.51	179.66	8.56	154.81	7.37	134.74	6.42	113.72	5.42
22	266.98	12.14	202.91	9.22	182.52	8.30	157.28	7.15	136.89	6.22	115.53	5.25
23	271.05	11.78	206.00	8.96	185.30	8.06	159.67	6.94	138.97	6.04	117.29	5.10
24	275.00	11.46	209.00	8.71	188.00	7.83	162.00	6.75	141.00	5.88	119.00	4.96
8.9	196.27	22.05	149.17	16.76	134.18	15.08	115.62	12.99	100.63	11.31	84.93	9.54

✓ **Station 021128**

Tableau III. 33 Les pluies de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retour de la station 021128

période de retour (ans)	1000		100		50		20		10		5	
Fréquence (%)	0.1		1		2		5		10		20	
P j max (mm)	397		251		213		167		134		103	
Durée (h)	Pt (mm)	It (mm\h)										
0.25	84.10	336.42	53.17	212.70	45.12	180.50	35.38	141.52	28.39	113.55	21.82	87.28
0.5	106.46	212.91	67.31	134.61	57.12	114.23	44.78	89.56	35.93	71.86	27.62	55.24
1	134.75	134.75	85.19	85.19	72.29	72.29	56.68	56.68	45.48	45.48	34.96	34.96
2	170.56	85.28	107.83	53.92	91.51	45.75	71.75	35.87	57.57	28.78	44.25	22.13
3	195.77	65.26	123.77	41.26	105.03	35.01	82.35	27.45	66.08	22.03	50.79	16.93
4	215.88	53.97	136.49	34.12	115.83	28.96	90.81	22.70	72.87	18.22	56.01	14.00
5	232.90	46.58	147.25	29.45	124.96	24.99	97.97	19.59	78.61	15.72	60.42	12.08
6	247.79	41.30	156.67	26.11	132.95	22.16	104.24	17.37	83.64	13.94	64.29	10.71
7	261.13	37.30	165.10	23.59	140.10	20.01	109.84	15.69	88.14	12.59	67.75	9.68
8	273.26	34.16	172.76	21.60	146.61	18.33	114.95	14.37	92.23	11.53	70.90	8.86
9	284.42	31.60	179.82	19.98	152.60	16.96	119.64	13.29	96.00	10.67	73.79	8.20
10	294.79	29.48	186.38	18.64	158.16	15.82	124.01	12.40	99.50	9.95	76.48	7.65
11	304.50	27.68	192.52	17.50	163.37	14.85	128.09	11.64	102.78	9.34	79.00	7.18
12	313.65	26.14	198.30	16.53	168.28	14.02	131.94	10.99	105.87	8.82	81.37	6.78
13	322.30	24.79	203.77	15.67	172.92	13.30	135.58	10.43	108.79	8.37	83.62	6.43
14	330.52	23.61	208.97	14.93	177.33	12.67	139.04	9.93	111.56	7.97	85.75	6.13
15	338.37	22.56	213.93	14.26	181.54	12.10	142.34	9.49	114.21	7.61	87.79	5.85
16	345.88	21.62	218.68	13.67	185.57	11.60	145.49	9.09	116.74	7.30	89.74	5.61
17	353.08	20.77	223.23	13.13	189.44	11.14	148.52	8.74	119.18	7.01	91.60	5.39
18	360.01	20.00	227.61	12.65	193.15	10.73	151.44	8.41	121.51	6.75	93.40	5.19
19	366.69	19.30	231.83	12.20	196.74	10.35	154.25	8.12	123.77	6.51	95.14	5.01
20	373.14	18.66	235.91	11.80	200.20	10.01	156.96	7.85	125.95	6.30	96.81	4.84
21	379.38	18.07	239.86	11.42	203.55	9.69	159.59	7.60	128.05	6.10	98.43	4.69
22	385.43	17.52	243.68	11.08	206.79	9.40	162.13	7.37	130.09	5.91	100.00	4.55
23	391.30	17.01	247.39	10.76	209.94	9.13	164.60	7.16	132.07	5.74	101.52	4.41
24	397.00	16.54	251.00	10.46	213.00	8.88	167.00	6.96	134.00	5.58	103.00	4.29
8.9	283.34	31.84	179.14	20.13	152.02	17.08	119.19	13.39	95.64	10.75	73.51	8.26

3. Estimation des débits maximums par les formules empiriques

3.1.1. Résultats et discussions

3.1.2. Application de la méthode de Gradex

❖ Bassin versant de chiffa

➤ Station 021418

✓ Détermination du Gradex : d'après l'HYFRAN, l'équation de la droite de Gumbel est : $P = 18 * \mu + 65$

Le Gradex est donc : $a = 18 \text{ mm}$

✓ Choix du pas de temps : Après l'examen des enregistrements des crues de la station de Fer à cheval (021201), on a estimé le temps de base par : $n = 24$ heures.

✓ L'ajustement de la série des débits de la station de Fer à cheval à la loi de Gumbel nous a donné :

$$Q_{10 \text{ ans}}(021418) = 1110 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} Q_{10 \text{ ans}}(\text{CHIFFA}) &= Q_{10 \text{ ans}}(021418) * S_{\text{CHIFFA}} / S_{\text{EL-HARRACH}} \\ &= 1110 * (352.96 / 386.32) \end{aligned}$$

$$Q_{10 \text{ ans}}(\text{CHIFFA}) = \mathbf{1014.2 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$\begin{aligned} R_{10 \text{ ans}}(\text{mm}) &= Q_{10 \text{ ans}}(\text{m}^3/\text{s}) * 3,6 * n(\text{heures}) / S(\text{km}^2) && \mathbf{(III.10)} \\ &= 1014.2 * 3,6 * 24 / 352.96 \\ &= \mathbf{248.3 \text{ mm}} \end{aligned}$$

✓ Extrapoler de la distribution des débits au-delà de 0.9 ($T=10$ ans) par une droite de pente égale au gradex de la pluie.

$$Q_{\mu\%} = a * \mu + b'$$

a : le gradex $a = 18 \text{ mm}$.

μ : variable réduite de Gumbel ($\mu = -\ln(-\ln(F))$).

$$b' = Q_{10 \text{ ans}} - a * \mu(T=10 \text{ ans}) \text{ avec } F = 1 - 1/10 = 0,9 \longrightarrow \mu = 2,25$$

$$b' = 207.64$$

$$Q_{\mu\%} = 18\mu + 207.64$$

✓ On trace cette équation sur même graphe que celui de l'ajustement des $P_{j\text{max}}$, pour chaque période de retour, on tire le débit en (mm).

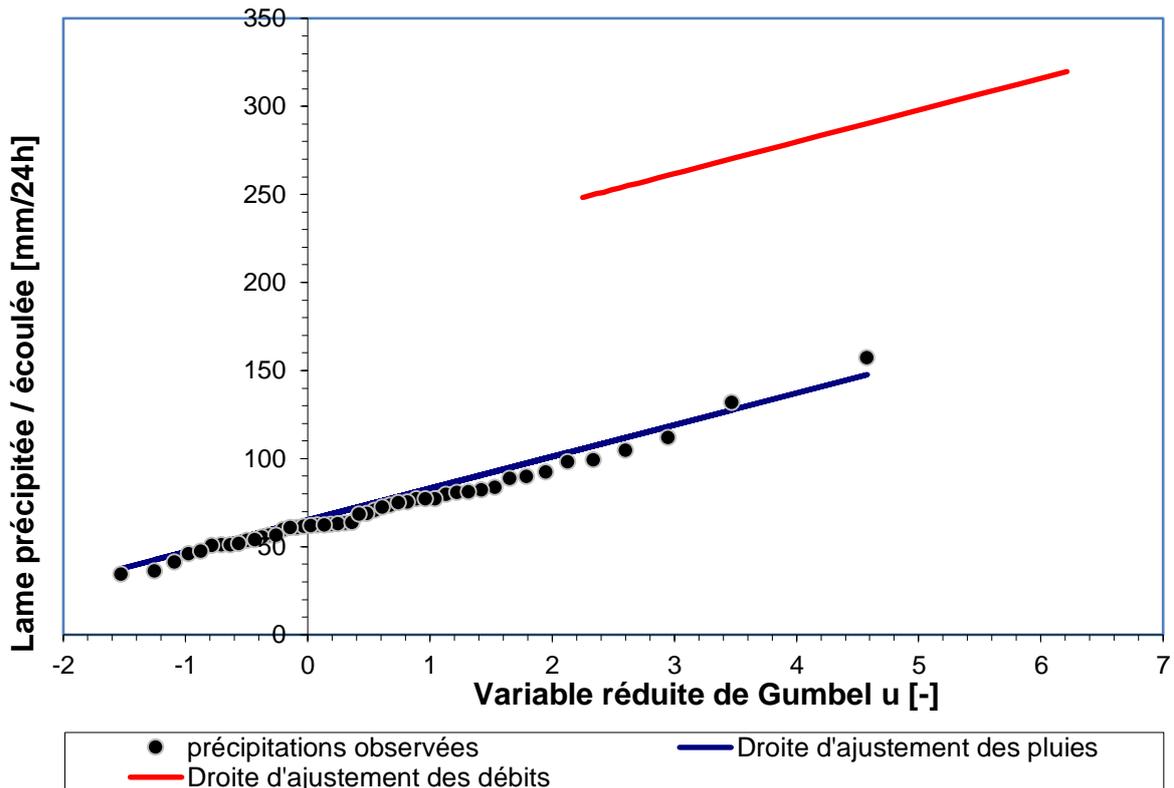


Figure III. 11 Graphe de l'ajustement des pluies et la droite d'extrapolation des débits chiffa1.

✓ Calcul des débits de pointe :

L'analyse des enregistrements des débits de la station hydrométrique d'EL-HARRACH nous a permis d'estimer le coefficient de pointe suivante :

$$P = Q_{\max} / Q_{\text{moy}} = 2.5$$

Donc on multiplie tous les débits extrapolés par le coeff. P pour obtenir les débits maximums pour chaque période de retour.

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III. 34 débit de pointe par la méthode de Gradex chiffa 1

T [ans]	F(x) [-]	U [-]	Q _T [mm/24h]	Q _T [m ³ /s]	Q _P [m ³ /s]
10	0,900	2,25	248.3	1014	2535
50	0,980	3,90	278.1	1136	2840
100	0,990	4,6	290.7	1187	2968
1000	0,999	6,91	1357	1357	3394

➤ **Station 021301**

L'équation de la droite de Gumbel est :

$$P = 18 * \mu + 65$$

Le Gradex est donc : $a = 18 \text{ mm}$

$$Q_{10 \text{ ans}} (021301) = 617 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{10 \text{ ans}} (\text{CHIFFA}) = 308 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R_{10 \text{ ans}} (\text{mm}) = 75.4 \text{ mm}$$

$$b' = 34.79$$

$$Q_{\mu\%} = 18\mu + 34.79$$

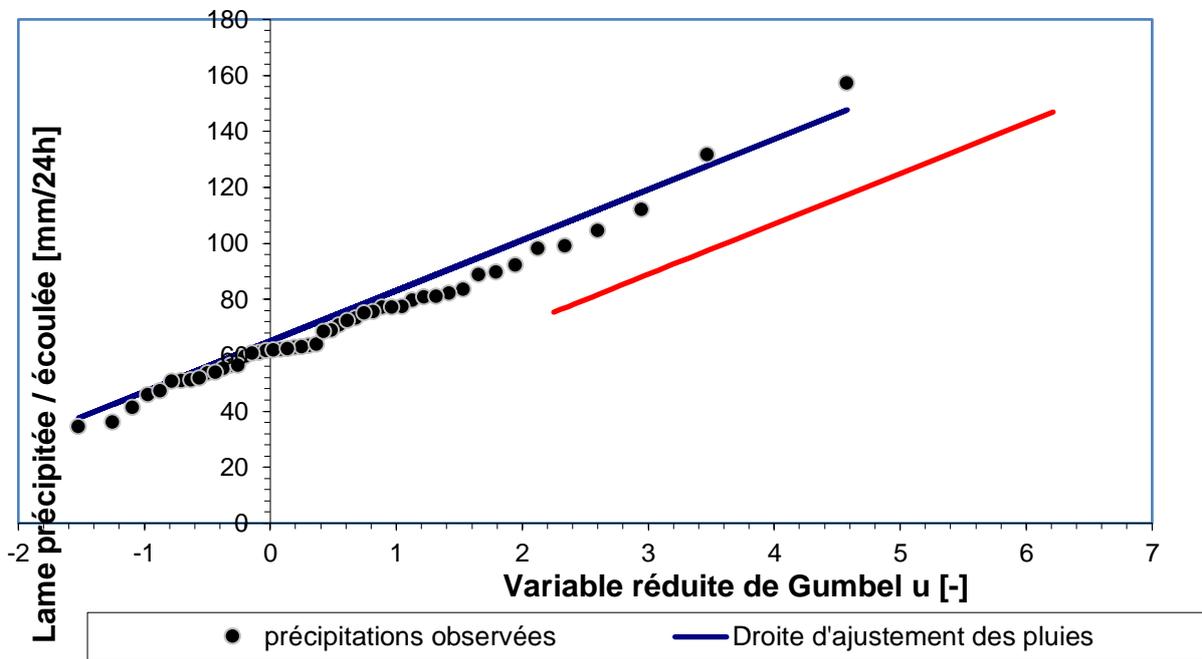


Figure III. 12 Graphe de l'ajustement des pluies et la droite d'extrapolation des débits chiffa2

Tableau III. 35 débit de pointe par la méthode de Gradex chiffa 2

T [ans]	F(x) [-]	U [-]	Q _T [mm/24h]	Q _T [m ³ /s]	Q _P [m ³ /s]
10	0,900	2,25	75.4	308	770
50	0,980	3,90	105.2	430	1074
100	0,990	4,6	117.8	481	1203
1000	0,999	6,91	159.8	651	1628

❖ Bassin versant EL-HARRACH

❖ Station 021126

L'équation de la droite de Gumbel est :

$$P = 40.3 * \mu + 49.4$$

Le Gradex est donc : $a = 40.3$ mm

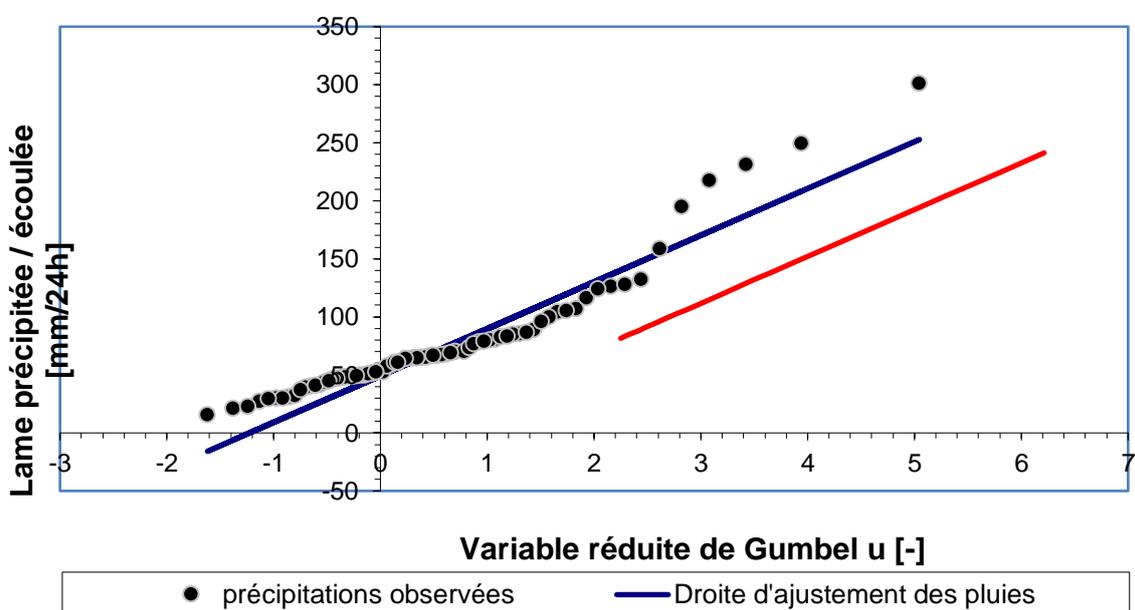
$$Q_{10 \text{ ans}} (021126) = 333 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{10 \text{ ans}} (\text{EL-HARRACH}) = 364.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R_{10 \text{ ans}} (\text{mm}) = 81.5 \text{ mm}$$

$$b' = -9.18$$

$$Q_{\mu\%} = 40.3\mu - 9.18$$



9

Figure III. 13 Graphe de l'ajustement des pluies et la droite d'extrapolation des débits EL-HARRACH

Tableau III. 36 débit de pointe par la méthode de Gradex EL-HARRACH

T [ans]	F(x) [-]	U [-]	Q _T [mm/24h]	Q _T [m ³ /s]	Q _P [m ³ /s]
10	0,900	2,25	81.5	365	911
50	0,980	3,90	148.1	661	1655
100	0,990	4,6	176.2	788	1970
1000	0,999	6,91	269.2	1204	3009

3.1.3. Résultats de calcul des débits pour chaque bassin

❖ Bassin versant de CHIFFA

✓ Station 021102

Tableau III. 37 Débit maximum calculé d'après la station 021102

Période de retour	10	50	100	1000
$P_{max,j}$	148	229	269	432
P_{et}	105.63	163.44	191.99	308.32
Mallet-Gauthier	47.03	68.80	76.28	97.09
Giandoti	1119.99	1732.95	2035.67	3269.11
Possenti	642271.48	993784.92	1167371.80	1874738.36
Turraza	814.65	1350.07	1691.85	2037.76
Sokolovsky	1314.27	2084.60	2465.03	4015.16
Taibi ANRH	8.34	17.33	22.40	/
Meddi	261.08	430.66	503.86	673.44
Franco-Rodier	2051.31	6412.64	9609.72	13897.14
	1140.23	2310.03	2956.84	5932.16
ISKOVSKI	7265.72			
Gradex	308	430	481	651
	1014	1136	1187	1357
SCS	9055.90	13060.13	13791.13	13859.1
Station hydrométrique	333	655	846	1840

✓ Station 021112

Tableau III. 38 Débit maximum calculé d'après la station 021112

Période de retour	10	50	100	1000
$P_{max,j}$	80.3	114	128	181
P_{et}	57.31	81.36	91.35	129.18
Mallet-Gauthier	34.41	50.34	55.82	71.04
Giandoti	607.66	862.66	968.58	1369.69
Possenti	348475.67	494722.62	555478.03	785480.66
Turraza	441.98	672.09	804.75	853.57
Sokolovsky	670.39	990.86	1123.98	1628.08
Taibi ANRH	5.23	10.86	14.04	/
Meddi	261.08	430.66	503.86	673.44
Franco-Rodier	2051.31	6412.64	9609.72	13897.14
	1140.23	2310.03	2956.84	5932.16
ISKOVSKI	5044.77			
Gradex	308	430	481	651
	1014	1136	1187	1357
SCS	10932.53	18532.62	22476.65	39344.92
Station hydrométrique	333	655	846	1840

✓ **Station 021113**

Tableau III. 39 Débit maximum calculé d'après la station 021113

Période de retour	10	50	100	1000
$P_{max,j}$	92.90	134	153	219
P_{ct}	66.30	95.64	109.20	156.30
Mallet-Gauthier	39.95	58.45	64.81	82.48
Giandoti	702.98	1014.07	1157.85	1657.24
Possenti	403155.54	581516.07	663969.83	950388.20
Turraza	511.30	790.48	962.40	1033.00
Sokolovsky	790.19	1181.15	1361.84	1989.46
Taibi ANRH	6.52	13.54	17.50	/
Meddi	261.08	430.66	503.86	673.44
Franco-Rodier	2051.31	6412.64	9609.72	13897.14
	1140.23	2310.03	2956.84	5932.16
ISKOVSKI	6003.74			
Gradex	308	430	481	651
	1014	1136	1187	1357
SCS	10449.63	17509.09	21022.78	35689.72
Station hydrométrique	333	655	846	1840

✓ **Station 021115**

Tableau III. 40 Débit maximum calculé d'après la station 021115

Période de retour	10	50	100	1000
$P_{max,j}$	140	190	211	285
P_{ct}	99.92	135.60	150.59	203.41
Mallet-Gauthier	53.88	78.82	87.40	111.23
Giandoti	867.44	1156.65	1285.86	1691.87
Possenti	607554.10	824537.70	915670.82	1236806.56
Turraza	770.73	1120.65	1327.13	1344.19
Sokolovsky	1238.18	1713.62	1913.37	2617.21
Taibi ANRH	10.30	21.41	27.67	/
Meddi	261.08	430.66	503.86	673.44
Franco-Rodier	2051.31	6412.64	9609.72	13897.14
	1140.23	2310.03	2956.84	5932.16
ISKOVSKI	8590.16			
Gradex	308	430	481	651
	1014	1136	1187	1357
SCS	8562.54	14218.82	17021.34	26661.63
Station hydrométrique	333	655	846	1840

✓ **Station 021126**

Tableau III. 41 Débit maximum calculé d'après la station 021126

Période de retour	10	50	100	1000
$P_{\max,j}$	141	188	209	275
P_{ct}	100.63	134.18	149.17	196.27
Mallet-Gauthier	57.01	83.40	92.48	117.70
Giandoti	867.44	1156.65	1285.86	1691.87
Possenti	611893.77	815858.36	906991.48	1193409.84
Turraza	776.22	1108.88	1314.58	1297.13
Sokolovsky	1247.64	1694.70	1894.45	2522.07
Taibi ANRH	11.27	23.41	30.26	/
Meddi	261.08	430.66	503.86	673.44
Franco-Rodier	2051.31	6412.64	9609.72	13897.14
	1140.23	2310.03	2956.84	5932.16
ISKOVSKI	9202.41			
Gradex	308	430	481	651
	1014	1136	1187	1357
SCS	8520.84	14375.75	17176.82	28323.58
Station hydrométrique	333	655	846	1840

✓ **Station 021128**

Tableau III. 42 Débit maximum calculé d'après la station 021128

Période de retour	10	50	100	1000
$P_{\max,j}$	134	213	251	397
P_{ct}	95.64	152.02	179.14	283.34
Mallet-Gauthier	43.80	64.08	71.04	90.43
Giandoti	824.43	1310.43	1544.21	2442.43
Possenti	581516.07	924350.16	1089257.71	1722849.84
Turraza	737.78	1255.95	1578.91	1873.04
Sokolovsky	1314.27	2084.60	2465.03	4015.16
Taibi ANRH	7.48	15.55	20.09	/
Meddi	261.08	430.66	503.86	673.44
Franco-Rodier	2051.31	6412.64	9609.72	13897.14
	1140.23	2310.03	2956.84	5932.16
ISKOVSKI	6694.08			
Gradex	308	430	481	651
	1014	1136	1187	1357
SCS	8810.49	12716.86	13620.60	613.30
Station hydrométrique	333	655	846	1840

❖ **Bassin versant de EL-HARRACH**

✓ **Station 021303**

Tableau III. 43 Débit maximum calculé d'après la station 021303

Période de retour	10	50	100	1000
$P_{\max,j}$	128	208	249	428
P_{ct}	86.58	140.69	168.42	299.50
Mallet-Gauthier	56.15	82.50	91.54	116.64
Giandoti	918.01	1491.73	1785.76	3175.60
Possenti	674304	1095744	1311732	2254704
Turraza	855.59	1489.75	1902.41	2452.49
Sokolovsky	1359.18	2283.35	2756.96	4995.73
Taibi ANRH	9.48	19.71	25.47	/
Meddi	332.58	548.59	641.84	857.86
Franco-Rodier	180.19	354.43	457.79	995.66
ISKOVSKI	6504.12			
Gradex	365	661	788	1204
SCS	9055.90	13060.13	13791.13	143859.1
Station hydrométrique (021418)	1110	3470	5200	7520
Station hydrométrique (021301)	617	1250	1600	3210

✓ **Station 021305**

Tableau III. 44 Débit maximum calculé d'après la station 021305

Période de retour	10	50	100	1000
$P_{\max,j}$	166	250	289	435
P_{ct}	112.28	169.10	195.48	294.23
Mallet-Gauthier	66.42	97.59	108.30	137.98
Giandoti	1190.50	1792.97	2072.67	3119.72
Possenti	874488	317000	1522452	2291580
Turraza	1109.49	1790.75	2208.03	2493.05
Sokolovsky	1798.12	2768.57	3219.13	4905.72
Taibi ANRH	12.35	25.67	33.17	/
Meddi	332.58	548.59	641.84	857.86
Franco-Rodier	180.19	354.43	457.79	995.66
ISKOVSKI	8000.99			
Gradex	365	661	788	1204
SCS	7463.50	9976.57	9781.29	9365.98
Station hydrométrique (021418)	1110	3470	5200	7520
Station hydrométrique (021301)	617	1250	1600	3210

✓ **Station 021307**

Tableau III. 45 Débit maximum calculé d'après la station 021307

Période de retour	10	50	100	1000
$P_{max,j}$	92.90	124.00	137.00	182.00
P_{ct}	62.84	83.87	92.67	123.11
Mallet-Gauthier	53.39	78.44	87.04	110.91
Giandoti	666.29	889.27	982.58	1305.33
Possenti	489397.20	653232.00	721716.00	958776.00
Turraza	621.22	888.54	1046.50	1043.06
Sokolovsky	953.71	1312.89	1463.19	1983.09
Taibi ANRH	8.78	18.24	23.57	/
Meddi	332.58	548.59	641.84	857.86
Franco-Rodier	180.19	354.43	457.79	995.66
ISKOVSKI	6114.67			
Gradex	365	661	788	1204
SCS	10449.63	18029.05	21971.08	39260.60
Station hydrométrique (021418)	1110	3470	5200	7520
Station hydrométrique (021301)	617	1250	1600	3210

3.1.4. Calcul d'erreur relative

L'erreur relative calculée par la formule suivante :

$$E = \left| \frac{Q_{\text{observée}} - Q_{\text{calculée}}}{Q_{\text{calculée}}} \right|$$

❖ **Bassin versant de CHIFFA**

✓ **Station 021102**

Tableau III. 46 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021102)

Mallet-Gauthier (%)	85.88	89.50	90.98	94.72
Giandoti (%)	70.27	62.20	58.44	43.72
Possenti (%)	99.95	99.93	99.93	99.90
Turraza (%)	59.12	51.48	50.00	9.70
Sokolovsky (%)	74.66	68.58	65.68	54.17
Taibi ANRH (%)	97.50	97.35	97.35	/
Meddi (%)	27.55	52.09	67.90	63.40
Franco-Rodier (%)	83.77	89.79	91.20	86.76
	70.80	71.65	71.39	68.98
ISKOVSKI (%)	95.42	90.99	88.36	74.68
Gradex (%)	6.12	52.33	75.88	64.62
	67.16	42.34	28.73	35.59
SCS (%)	96.32	94.98	93.87	86.72

✓ **Station 021112**

Tableau III. 47 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021112)

Mallet-Gauthier (%)	89.67	92.31	93.40	96.14
Giandoti (%)	45.20	24.07	14.49	34.34
Possenti (%)	99.9/0	99.87	99.85	99.77
Turraza (%)	24.66	2.54	5.13	53.61
Sokolovsky (%)	50.33	33.90	24.73	13.02
Taibi ANRH (%)	98.43	98.34	98.34	/
Meddi (%)	27.55	52.09	67.90	63.40
Franco-Rodier (%)	83.77	89.79	91.20	86.76
	70.80	71.65	71.39	68.98
ISKOVSKI (%)	93.40	87.02	83.23	63.53
Gradex (%)	6.12	52.33	75.88	64.62
	67.16	42.34	28.73	35.59
SCS (%)	96.95	96.47	96.24	95.32

✓ **Station 021113**

Tableau III. 48 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021113)

Mallet-Gauthier (%)	88.00	91.08	92.34	95.52
Giandoti (%)	52.63	35.41	36.86	11.03
Possenti (%)	99.92	99.89	99.87	99.81
Turraza (%)	34.87	17.14	12.09	43.86
Sokolovsky (%)	57.86	44.55	37.88	7.51
Taibi ANRH (%)	98.04	97.93	97.93	/
Meddi (%)	27.55	52.09	67.90	63.40
Franco-Rodier (%)	83.77	89.79	91.20	86.76
	70.80	71.65	71.39	68.98
ISKOVSKI (%)	94.45	89.09	85.91	69.35
Gradex (%)	6.12	52.33	75.88	64.62
	67.16	42.34	28.73	35.59
SCS (%)	96.81	96.26	95.98	94.84

✓ **Station 021115**

Tableau III. 49 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021115)

Mallet-Gauthier (%)	83.82	87.97	89.67	93.95
Giandoti (%)	61.61	43.37	51.99	8.76
Possenti (%)	99.95	99.92	99.91	99.85
Turraza (%)	56.79	41.55	36.25	26.95
Sokolovsky (%)	73.11	61.78	55.78	29.70
Taibi ANRH (%)	96.91	96.73	96.73	/
Meddi (%)	27.55	52.09	67.90	63.40
Franco-Rodier (%)	83.77	89.79	91.20	86.76
	70.80	71.65	71.39	68.98
ISKOVSKI (%)	96.12	92.37	90.15	78.58
Gradex (%)	6.12	52.33	75.88	64.62
	67.16	42.34	28.73	35.59
SCS (%)	96.11	95.39	95.03	93.10

✓ **Station 021126**

Tableau III. 50 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021126)

Mallet-Gauthier (%)	82.88	87.27	89.07	93.60
Giandoti (%)	61.61	43.37	51.99	8.76
Possenti (%)	99.95	99.92	99.91	99.85
Turraza (%)	57.10	40.93	35.64	29.50
Sokolovsky (%)	73.31	61.35	55.34	27.04
Taibi ANRH (%)	96.62	96.43	96.42	/
Meddi (%)	27.55	52.09	67.90	63.40
Franco-Rodier (%)	83.77	89.79	91.20	86.76
	70.80	71.65	71.39	68.98
ISKOVSKI (%)	96.38	92.88	90.81	80.01
Gradex (%)	6.12	52.33	75.88	64.62
	67.16	42.34	28.73	35.59
SCS (%)	96.09	95.44	95.07	93.50

✓ **Station 021128**

Tableau III. 51 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021128)

Mallet-Gauthier (%)	86.85	90.22	91.60	95.09
Giandoti (%)	59.61	50.02	82.53	24.67
Possenti (%)	99.94	99.93	99.92	99.89
Turraza (%)	54.86	47.85	46.42	1.80
Sokolovsky (%)	74.66	68.58	65.68	54.17
Taibi ANRH (%)	97.75	97.63	97.63	/
Meddi (%)	27.55	52.09	67.90	63.40
Franco-Rodier (%)	83.77	89.79	91.20	86.76
	70.80	71.65	71.39	68.98
ISKOVSKI (%)	95.03	90.22	87.36	72.51
Gradex (%)	6.12	52.33	75.88	64.62
	67.16	42.34	28.73	35.59
SCS (%)	96.22	94.85	93.79	66.67

❖ **Bassin versant EL-HARRACH**

✓ **Station 021303 (Station hydrométrique (021418))**

Tableau III. 52 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021303) par rapport à la station hydrométrique 021418

Mallet-Gauthier (%)	94.94	97.62	98.24	98.45
Giandoti (%)	17.30	57.01	65.66	57.77
Possenti (%)	99.84	99.68	99.60	99.67
Turraza (%)	22.92	57.07	63.42	67.39
Sokolovsky (%)	22.45	34.20	46.98	33.57
Taibi ANRH (%)	99.15	99.43	99.51	/
Meddi (%)	70.04	84.19	87.66	88.59
Franco-Rodier (%)	83.77	89.79	91.20	86.76
ISKOVSKI (%)	82.93	87.44	25.08	13.51
Gradex (%)	67.12	80.95	84.85	83.99
SCS (%)	87.74	73.43	62.29	94.77

✓ **Station 021303 (Station hydrométrique (021301))**

Tableau III. 53 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021303) par rapport à la station hydrométrique 021301

Mallet-Gauthier (%)	90.90	93.40	94.28	96.37
Giandoti (%)	48.79	19.34	11.61	1.07
Possenti (%)	99.91	99.89	99.88	99.86
Turraza (%)	38.67	19.18	18.90	23.60
Sokolovsky (%)	54.60	45.26	41.97	35.75
Taibi ANRH (%)	98.46	98.42	98.41	/
Meddi (%)	46.10	56.11	59.89	73.28
Franco-Rodier (%)	70.80	71.65	71.39	68.98
ISKOVSKI (%)	90.51	80.78	75.40	50.65
Gradex (%)	40.84	47.12	50.75	62.49
SCS (%)	93.19	90.43	88.40	97.77

✓ **Station 021305 (Station hydrométrique (021418))**

Tableau III. 54 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021305) par rapport à la station hydrométrique 021418

Mallet-Gauthier (%)	94.02	97.19	97.92	98.17
Giandoti (%)	7.25	48.33	60.14	58.51
Possenti (%)	99.87	98.91	99.66	99.67
Turraza (%)	0.05	48.39	57.54	66.85
Sokolovsky (%)	61.99	20.21	38.09	34.76
Taibi ANRH (%)	98.89	99.26	99.36	/
Meddi (%)	70.04	84.19	87.66	88.59
Franco-Rodier (%)	83.77	89.79	91.20	86.76
ISKOVSKI (%)	86.13	56.63	53.87	6.40
Gradex (%)	67.12	80.95	84.85	83.99
SCS (%)	85.13	65.22	88.10	24.55

✓ **Station 021305 (Station hydrométrique (021301))**

Tableau III. 55 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021305) par rapport à la station hydrométrique 021301

Mallet-Gauthier (%)	89.24	92.19	93.23	95.70
Giandoti (%)	92.95	43.44	29.54	2.81
Possenti (%)	99.93	99.61	99.89	99.86
Turraza (%)	79.82	43.26	38.00	22.33
Sokolovsky (%)	65.69	54.85	50.30	34.57
Taibi ANRH (%)	98.00	97.95	97.93	/
Meddi (%)	46.10	56.11	59.89	73.28
Franco-Rodier (%)	70.80	71.65	71.39	68.98
ISKOVSKI (%)	92.29	84.38	80.00	59.88
Gradex (%)	40.84	47.12	50.75	62.49
SCS (%)	91.73	87.47	83.64	65.73

✓ **Station 021307 (Station hydrométrique (021418))**

Tableau III. 56 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021307) par rapport à la station hydrométrique 021418

Mallet-Gauthier (%)	95.19	97.74	98.33	98.53
Giandoti (%)	39.97	74.37	81.10	82.64
Possenti (%)	99.77	99.47	99.28	99.22
Turraza (%)	44.03	74.39	79.88	86.13
Sokolovsky (%)	14.08	62.16	71.86	73.63
Taibi ANRH (%)	99.21	99.47	99.55	/
Meddi (%)	70.04	84.19	87.66	88.59
Franco-Rodier (%)	83.77	89.79	91.20	86.76
ISKOVSKI (%)	81.85	43.25	17.59	18.69
Gradex (%)	67.12	80.95	84.85	83.99
SCS (%)	89.38	80.75	76.33	80.85

✓ **Station 021307 (Station hydrométrique (021301))**

Tableau III. 57 Erreur relative du débit maximum (Station pluviométrique 021307) par rapport à la station hydrométrique 021301

Mallet-Gauthier (%)	91.35	93.72	94.56	96.54
Giandoti (%)	7.99	28.86	38.59	59.34
Possenti (%)	99.87	99.81	99.78	99.67
Turraza (%)	0.68	28.92	34.59	67.51
Sokolovsky (%)	35.31	5.03	5.55	61.87
Taibi ANRH (%)	98.58	98.54	98.53	/
Meddi (%)	46.10	56.11	59.89	73.28
Franco-Rodier (%)	70.80	71.65	71.39	68.98
ISKOVSKI (%)	89.91	79.56	73.83	47.50
Gradex (%)	40.84	47.12	50.75	62.49
SCS (%)	94.10	93.07	92.72	91.82

3.1.5. Discussion des résultats

Pour le bassin de CHIFFA, d'après les résultats d'estimation des débits maximums et l'erreur relative de ces débits par rapport au débit observé dans la station hydrométrique de CHIFFA, on constate que pour la période de retour $T=10$ ans l'estimation de débit maximum par la méthode de Gradex est la plus appropriée, et pour les périodes de retour les plus élevées, l'erreur relative minimale a été observée par la méthode de Turraza.

Pour le bassin d'EL-HARRACH qui est jaugé par deux stations hydrométriques (021418, 021301) on a comparé les résultats d'estimation de débit par rapport aux débits des deux stations.

1^{ère} station

D'après les résultats de calcul on constate que pour la période de retour $T= 10$ ans l'estimation de débit maximum par la méthode de Turraza est la plus appropriée, Pour les périodes de retours (50, 100 ans) les formules empiriques donnent des résultats éloignés que les observations de la station hydrométrique 021418 qui donnent des erreurs plus élevées de 38% à 97%

2^{ème} station

D'après les résultats de calcul on constate que pour la période de retour $T= 10$ ans l'estimation de débit maximum par la méthode de Turraza est la plus appropriée, Pour les périodes de retour les plus élevées (50 et 100 ans), l'erreur relative minimale a été observée par la méthode de Sokolovsky en utilisant la station pluviométrique 021307, Pour la période de retour de 1000ans, l'erreur est estimée à 2.81% par la méthode de Giandotti en utilisant la station pluviométrique 021305.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons ajusté les séries des pluies maximales journalières des stations pluviométriques des deux bassins versants (CHIFFA et EL-HARRACH) afin d'estimer le débit maximum par les formules empiriques. Après le calcul des débits on a choisi les formules et les méthodes qui donnent des résultats plus proches aux observations des stations hydrométriques des deux bassins pour différentes périodes de retours.

Conclusion générale

Une bonne estimation des événements hydrologique est indispensable pour diminuer les risques majeurs des inondations et assurer la sécurité des ouvrages hydraulique. Le but de notre étude est de comparer le débit maximum des deux bassins versants (CHIFFA et EL-HARRACH) estime par les séries hydrométriques avec ceux des formules empiriques et les méthodes d'estimation des débits.

Avant cela nous avons présenté les formules empiriques et les méthodes d'estimation des débits, puis nous avons effectué une étude géographique, morphologique et climatique de nos bassins versants, finalement nous avons terminé par une application numérique de ces formules et nous avons sélectionné la formule et la méthode la plus appropriée pour évaluer le débit maximum en utilisant l'erreurs relative.

D'après les résultats de notre étude, on constate que l'estimation des débits maximums dans les bassins versants varie d'une formule empirique à l'autre et d'une station pluviométrique à l'autre. Ainsi, nous avons pu définir la formule la plus appropriée pour chaque station pluviométrique existant dans les deux bassins versant après le calcul d'erreur relative entre le débit observé dans les stations hydrométrique et les débits estimer par les formules et les méthodes d'estimation des débits.

De ce constat, il est conseillé d'utiliser la formule de Turraza pour les périodes de retour supérieure à 50 ans et Gradex pour les périodes de retour inférieure ou égale à 50ans.

Référence bibliographique

- BOUTOUTAOU, D. & ZEGGANE, H.** Méthode de calcul des crues et des hydrogramme de crue des oueds non jauges de l'algerie, Revue scientifique et technique. 2014,LJEF NO 24 et 25.
- DOUVINET, Johnny, DEFOSSEZ, Stéphanie, ANSELLE, Arnaud, et al.** Les maires face aux plans de prévention du risque inondation (PPRI). *LEspace géographique*, 2011, vol. 40, no 1, p. 31-46.
- HINGRAY, Benoît, PICOUET, Cécile, & MUSY, André.** Hydrologie : Une science pour l'ingénieur. PPUR presses polytechniques, 2009.
- GARÇON, R.** Modèle global pluie-débit pour la prévision et la prédétermination des crues. La Houille Blanche, 1999, no 7-8, p. 88-95.
- GAUME, E.** Un parcours dans l'étude des phénomènes extrêmes en hydrologie. 2007.
- Guillot, P.** (1980). Pluies et débits extrêmes. La Météorologie, numéro spé.
- GUILLOT, P., & DUBAND, D. (1967).** La méthode du GRADEX pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies. In: Colloque International sur les crues et leur évaluation, Leningrad. 1967, 15-22.
- KETROUCI, Khadidja, MEDDI, Mohamed, & ABDESSELAM, Boucif.** Étude des crues extrêmes en Algérie : cas du bassin-versant de la Tafna. Science et changements planétaires/Sécheresse, 2012, vol. 23, no 4, p. 297-305.
- LABORDE, J. P.** Eléments d'hydrologie de surface. Université de Nice-Sophia Antipolis. France.2000, (204p).
- Manuel-Hydrologie.pdf.** (2017, 07 23).
- MEDDI, Mohamed., BOUCHAIB& Faiza BELHADJ.** Etude Des Crues Dans Le Bassin Du Cheliff : Application De La Méthode Du Gradex. Revue Nature & Technologie, 2010, p. 21-28. MEYLAN, Paul, FAVRE, Anne-Catherine, et MUSY, André. Hydrologie fréquentielle : une science prédictive. PPUR presses polytechniques, 2008.
- MEDDI, M. (2014).** Etude De L'écoulement Moyen Annuel Dans Le Nord De L'Algérie : Proposition De Formules D'estimation Du Débit Moyen Annuel.
- Meddi, M., Toumi, S., & Assani, A. A. (2017).** Application of the L-moments approach to the analysis of regional flood frequency in Northern Algeria. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 7(1), 77.
- MICHEL, C. & OBERLIN, Guy.** Seuil d'application de la méthode du Gradex. La Houille Blanche, 1987, no 3, p. 199-203.

OUARDA, Taha BMJ, GINGRAS, Hugo & BOBÉE, Bernard. Synthèse des méthodes simples de régionalisation. INRS-Eau, 2001.

ROCHE, Pierre-Alain, MIQUEL, Jacques, & GAUME, Eric. Hydrologie quantitative : Processus, modèles et aide à la décision. Springer Science & Business Media, 2012.

SGHAR. (2013, 01 10). Mémoire

TOUAÏBIA, B. Manuel pratique d'hydrologie. Edition Madani, Blida, Algérie, 2004.

ZEROUAL, Ayoub, MEDDI, Mohamed, & ASSANI, Ali A. Artificial neural network rainfall-discharge model assessment under rating curve uncertainty and monthly discharge volume predictions. Water Resources Management, 2016, vol. 30, no 9, p. 3191-3205.

<https://doi.org/10.1504/IJHST.2017.080959>

<http://www.gard.gouv.fr/content/download/6961/39937/file/PIECE%201.pdf>

<http://lylmack.over-blog.com/ehydrologie>