

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA



Faculté des Sciences et Sciences Appliquées  
Département de Génie Civil

**Mémoire de Fin d'Etude**

Présenté par :

**BOUKAMOUM Thilali**

**BOUREZGUE Hakim Syphax**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : **Hydraulique**

Option : **Ressources Hydrauliques**

**Thème**

**Calcul des hydrogrammes de crues et analyse fréquentielle des données  
hydro-pluviométriques dans le bassin versant de l'Oued Isser (Nord  
Algérie)**

**Devant le jury composé de :**

<b>MERIDJA</b>	<b>Madani</b>	<b>MCB</b>	<b>UAMOB</b>	<b>Président</b>
<b>ZEGGANE</b>	<b>Houari</b>	<b>MCB</b>	<b>U. M'sila</b>	<b>Encadreur</b>
<b>GHERNAOUT</b>	<b>Redhouane</b>	<b>MCA</b>	<b>UAMOB</b>	<b>Co-encadreur</b>
<b>YAHIAOUI</b>	<b>Abdelhalim</b>	<b>MCA</b>	<b>UAMOB</b>	<b>Examineur</b>

**Année Universitaire 2020/2021**

## *Remerciements*

*Avant tout, nous remercies dieu de nous avoir donné la force et le courage d'effectuer ce projet de fin d'étude.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nous vifs remerciements à notre encadreur Zeggane Houari pour ses orientations, ses précieux conseils et sa contribution dans l'élaboration ce travail, ainsi que pour son soutien, ses multiples conseils et à monsieur GHERNAOUT Redhouane Co -Encadreur.*

*Par la même occasion je remercie :*

- Les membres du jury qui ont bien accepté de juger mon travail, et qui ont pris le temps de rapporter ce mémoire.*
- Tous les enseignants de département de génie civil en particulier ceux de notre spécialité hydraulique qui ont contribué à ma formation.*
- Nous remercions également tous les personnes d'ANRH d'ALGER surtout les personnes de service hydrologie*

*Enfin je tiens à remercier toute la promotion de ressources en Hydraulique.*

## *Dédicace*

*Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir aidé dans ce travail*

*Que je dédie :*

*A mon très cher père qui a toujours été là pour moi et qui m'a donné un magnifique modèle du labeur et de persévérance;*

*A ma chère mère pour l'éducation qui m'ont prodiguée avec tous les moyens et au près de tout les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, pour leur patience, leur amour et leurs encouragements.*

*A mes chères sœurs : IBTISSAM, MALAK*

*A mon frère ARSELAN*

*A mes amis pour leur soutien psychologique, et en particulier : AMINA, KATIA, SAMAH, MOUNIA, MERIEM, RAZIKA,*

*Et A mon cher ami MASSI*

*A mon binôme SYPHAX*

*A tous ceux qui me sont chers.*

*THILALI*

## *Dédicace*

*Je dédié ce modeste travail :*

*A tous les membres de ma famille sans exception petits et grands.*

*Par occasion je rends hommage à ma regrettée Mère, à ma grand-mère (Yemma) et à mon oncle El Hadj Khaled Allah Yarhamhoum.*

*Je tiens aussi à remercier mes collègues du groupe RHM2 et à mes enseignants que j'admire beaucoup pour leurs simplicités et leurs bien faisances.*

*A mes amis pour leur soutien en particulier : Ali, El Hadj Faouzi, Farid, Riad, Lounas, Momouh, Bakhlích (Khalef), Rayal.*

*A mon binôme Thilili*

*A tous ceux qui me sont chers.*

*\*Syphax.*

## حساب هيدروغرافات الفيضانات وتحليل ترددات بيانات التصريف والأمطار في حوض وادي يسر شمال الجزائر

### ملخص

يمنح هيدروغراف الفيضان معلومات مهمة للغاية في تنفيذ مشاريع لمنع الفيضانات، بهدف حماية المنشآت وأحجامها وكذلك لتجنب مخاطر الكوارث. الهدف من هذه الدراسة هو تطوير طريقة مناسبة لإنشاء هيدروغراف الفيضانات وتحليل ترددات بيانات التصريف والأمطار في حوض وادي يسر شمال الجزائر. سمح تراكم المنحنيات القياسية المصغرة المتحصل عليها انطلاقاً من المنحنيات الخام الملاحظة بحساب المنحى الموزجي لكل محطة من محطات القياس. يمكن تطبيق مثل هذه الهيدروغرافات القياسية على نفس الحوض لحساب منحنيات الفيضانات النادرة.

بالإضافة إلى ذلك، تم استخدام نموذج Galton Log-Normal لمحاكاة هيدروغرافات الفيضانات. تم اختبار جودة المحاكاة حسب النموذج المقترح من خلال مقارنة الهيدروغرافات المقاسة مع تلك المحسوبة ومعياري ناش. خلص تحليل التردد باستخدام برنامج HYFRAN للبيانات القصوى للتدفق والهطول إلى استنتاج أن سلاسل التدفقات القصوى تتلائم مع القانون الاعتيادي اللوغارتمي تتلاءم سلاسل الأمطار القصوى للمحطات المطرية لتبلاط (090203) وجواب (090301) وخميسي (090104) بشكل جيد مع القانون الاعتيادي اللوغارتمي، في حين أن سلسلة الأمطار القصوى لجباحية (090403) ودشية (090314) تتلاءم مع القوانين كامبل وبيرسن 3 اللوغاريتمي على التوالي. يتيح تحليل التردد اختيار أفضل قوانين التعديل من أجل حساب تدفقات المشروع القصوى لفترات عودة مختلفة T. كما يسمح بالتحقق من صحة بعض الصيغ التجريبية المستخدمة في حساب تدفقات التردد الأقصى في حوض وادي يسر.

**الكلمات المفتاحية:** هيدروغراف الفيضان، تحليل ترددات، حوض وادي يسر، غالتون، الجزائر.

## **Calculation of flood hydrographs and frequency analysis of rainfall-runoff data in the Wadi Isser basin (North Algeria)**

### **Abstract**

The flood hydrograph is too important information in carrying out projects to prevent floods, with the aim of protecting hydraulic structures and their sizes, as well as to avoid disaster risk. The objective of this study is the development of an appropriate method for the establishment of flood hydrographs and the frequency analysis of rainfall-runoff data in the Wadi Isser watershed (North Algeria). The superposition of the reduced unit hydrographs obtained from the raw observed hydrographs allowed for each hydrometric station a standard hydrograph or a normed adimensional hydrograph. Such a standard hydrograph can be applied to the same basin (and for the same stations) to provide a rare flood hydrograph. In addition, a Galton-style log-normal model has been used to simulate flood hydrographs. The simulation quality of the proposed model has been optimized by comparing the hydrographs measured with those calculated, and by the Nash criterion. The frequency analysis of the maximum data rate and precipitation, by the HYFRAN software, has concluded that all the maximum flow series are adjustable to the log-normal law. The maximum rainfall series of Tablat (090203), Djouab (090301) and Khemisti (090104) fit well to log-normal distribution, while the max rain sets of Djebahia stations (090403) And Dechiya (090314) fit Gumbel and Log Pearson laws of respectively. Frequency analysis makes it possible to choose the best probability distribution in order to calculate the maximum project flows for different return periods  $T$ . It also allows validating some empirical formulas used for the calculation of frequency rates in the Wadi Isser watershed.

**Key words:** Flood Hydrograph, Frequency Analysis, Wadi Isser basin, Galton, Algeria

## **Calcul des hydrogrammes de crues et analyse fréquentielle des données hydro-pluviométrique dans le bassin versant d'Oued Isser (Nord Algérie)**

### **Résumé**

L'hydrogramme de crue est une information trop importante dans la réalisation des projets pour prévenir les crues, dans le but de la protection des ouvrages et leurs dimensionnements ainsi que pour éviter les risques de catastrophe. L'objectif de cette étude est la mise au point d'une méthode appropriée pour l'établissement des hydrogrammes de crues et l'analyse fréquentielle des données hydro-pluviométrique dans le bassin versant d'Oued Isser (Nord Algérie). La superposition des hydrogrammes unitaires réduits obtenus à partir des hydrogrammes bruts observés a permis de calculer pour chaque station hydrométrique un hydrogramme type ou un hydrogramme adimensionnel normé. Un tel hydrogramme-type peut être appliqué au même bassin pour fournir un hydrogramme de crue rare. De plus, un modèle Log-Normale type de Galton a été employé pour simuler les hydrogrammes de crues. La qualité de simulation par le modèle proposé a été optimisée par la comparaison des hydrogrammes mesurés à ceux calculés et par le critère de Nash. L'analyse fréquentielle des données max du débit et de précipitation par le logiciel HYFRAN a permis de conclure que toutes les séries du débit max s'ajustent bien à la loi Log-Normale. Les séries des précipitations max des stations de Tablat (090203), Djouab (090301) et Khemisti (090104) s'ajustent bien à la loi Log-Normale également, tandis-ce que les séries des pluies max des stations de Djebahia (090403) et Dechiya (090314) s'ajustent bien aux lois de Gumbel et Log Pearson respectivement. L'analyse fréquentielle permet de choisir les meilleures lois d'ajustement afin de pouvoir calculer les débits max de projet pour différentes périodes de retour T. Elle permet également de valider quelques formules empiriques utilisée pour le calcul des débits max fréquentiels dans le bassin versant d'Oued Isser.

**Mots clés :** Hydrogramme de crue, Analyse fréquentielle, Bassin Oued Isser, Galton, Algérie.

*Tables*  
*Des*  
*Matières.*

Introduction générale.....	1
Chapitre I : parité bibliographique .....	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Le bassin versant .....	3
I .2.1 Notion De "Bassin Versant" .....	3
I.2.1.1 Bassin versant topographique .....	3
I.2.1.2 Bassin versant hydrogéologique .....	4
I.3 Hydrométrie .....	4
I.3.1 Réseau hydrométrique.....	4
I.3.2 Stations de jaugeage .....	5
I.4 Mesure des débits .....	6
I.4.1 Acquisition des débits en fonction du temps.....	6
I.4.2 Jaugeages par exploration du champ des vitesses .....	7
I.5 Calcul des crues en absence des données d'hydrométrie .....	8
I.5.1 Formule empiriques de calcul des crue .....	8
I.5.1.1 Formule de Mallet-Gauthier .....	8
I.5.1.2 Formule de Giandotti .....	9
I.5.1.3 Formule de Turraza .....	9
I.6 Construction de l'hydrogramme de projet par formulation analytique .....	10
I.6.1 En présence de données de mesure .....	10
I.6.2 En absence de données de mesure.....	11
I.6.2.1 Modèle Nash .....	11
I.6.2.2 Modèle Sokolovski .....	12
I.6.2.3 Modèle d'Alekceev .....	13
I.6.2.4 Modèle PEARSON .....	14
I.7 Fonction-critère de Nash.....	14
I.8 les crues en Algérie.....	14
I.9 Analyse fréquentielle .....	15
I.9.1 Modèles les plus utilisés.....	15
I.9.1.1 Loi de Gumbel .....	15
I.9.1.2 Loi Log Normale.....	16
I.9.1.3 Loi Log Pearsson III .....	17
I.9.2 Tests d'ajustement .....	18

I.9.2.1 Test de khi-deux $\chi^2$ (test de Pearson) .....	18
I.9 Conclusion .....	20
Chapitre II : présentation de la région d'étude .....	21
II.1 Introduction.....	21
II.2 Présentation de la région d'étude.....	21
II.2.1 Cadre géographique .....	21
II.2.2 Climat de la région .....	23
II.2.3 Températures .....	23
II.2.4 Evapo- transpiration.....	24
II.2.5 Gelée.....	25
II.2.6 Vent .....	25
II.3 Caractéristiques morphologiques du bassin .....	25
II.3.1 Caractéristiques physiques.....	25
II.3.1.1 Indice de compacité ou indice de Gravélius .....	26
s : surface du bassin en $\text{km}^2$ ; .....	26
II.3.1.2 Coefficient de forme $R_f$ .....	26
II.3.1.3 Coefficient de forme $K_f$ .....	26
II.3.1.4 Elancement $R_e$ .....	26
II.3.1.5 Rectangle équivalent.....	27
II.3.2 Caractéristiques de forme.....	27
II.3.2.1 Hypsometrie Des Bassins .....	27
II.3.2.2 Indice de pente.....	28
II.3.2.3 Indice de pente de roche « $I_p$ ».....	28
II.3.2.4 Indice de pente globale $I_g$ .....	29
II.3.2.5 Pente moyenne d'un bassin versant « $I_m$ ».....	29
II.3.3.1 Caractéristiques du réseau hydrographique des quatre sous bassins.....	30
II.3.3.2 Densité de drainage $D_d$ .....	34
II.3.3.3. coefficient de torrencialité .....	34
II.3.3.4.Temps de concentration .....	35
II.3.4 Lithologie du bassin versant.....	35
II.3.4.1 Le Haut Isser .....	37
II.3.4.2 Le Moyen Isser .....	38
II.3.4.3.Le Bas Isser .....	38

II.3.5 Topographie du bassin Isser .....	38
II.3.5.1 Le Haut Isser .....	38
II.3.5.2 Le Moyen Isser .....	39
II.3.5.3 Le Bas Isser .....	39
II.3 Ressources en eau.....	40
II.3.1 Eaux superficielles .....	40
II.3.1.2 Mobilisations .....	40
II.3.1.2.1 Retenue collinaire .....	40
II.3.1.2.2 Les barrages.....	42
II.4 Conclusion .....	44
Chapitre III : calcul des hydrogrammes de crue.....	45
III.1 Introduction.....	45
III.2 Etude Des Debits Et Des Hydrogrammes De Crue .....	45
III.2.1 Méthodologie .....	45
III.2.2 Présentation des données hydrométriques.....	45
III.2.3 Méthodologies de calcul des hydrogrammes de crues .....	47
III.3 Dépouillement des données hydrogrammes de crues .....	55
III.4 Établissement des hydrogrammes unitaires.....	62
III.5 Elaboration d'un modèle d'hydrogramme de crue.....	64
III.5.1 Quelque hydrogramme de crue mesuré et calculé des stations hydrométrique.....	65
III.6 Détermination des paramètres de l'hydrogramme de crue.....	73
III.6.1 Temps de montée de l'hydrogramme de crue.....	73
III.6.2 Coefficient de forme $k$ de l'hydrogramme de crue .....	74
III.7 Validation du modèle proposé.....	74
III.7.1 Critère de Nash pour la station Lakhadaria 090501 .....	75
III.8 Analyse fréquentielle des débits maximums journaliers .....	78
III.8.1 Station hydrometrique Lakhdaria 090501 .....	79
III.8.2 Station hydrometrique la traille 090408.....	80
III.8.3 Station hydrometrique beni slimane 090305 .....	81
III.8.4 Station hydrométrique Dechmia 090309.....	82
III.8.5 Station hydrométrique Mezahim (090101) .....	83
III.9 Résultats du test d'adéquation pour les séries des débits max.....	84
III.10 Analyse fréquentielle des Pluies maximums journaliers .....	85

III.10.1 Analyse fréquentielle des pluies max de la station de djebahia 090403.....	85
III.10.2 Analyse fréquentielle des pluies max de la station de tablatdrs 090203 .....	87
III.10.3 Analyse fréquentielle des pluies max de la station de djouab 090301 .....	88
III.10.4 Analyse fréquentielle des pluies max de la station de dechiya 090314 .....	89
III.10.5 Analyse fréquentielle des pluies max de la station de khemisti 090104.....	90
III.11 Résultats du test d'adéquation pour les séries des pluies max .....	91
III.12 Comparaison entre les débits max fréquents par ajustement et par formules empiriques pour une période de retour T= 20 ans. ....	91
III.13 Conclusion .....	93
Conclusion général : .....	94
Références Bibliographiques.....	96

*Liste*  
*Des*  
*Tableaux*

Tableau (II.1) : Répartition mensuelle de la température.....	24
Tableau (II.2) : ETP aux différentes stations hydrométriques en mm.....	24
Tableau (II.3) : Nombre de jours de Gelée aux stations de Tablat et Bir-Ghbalou.....	25
Tableau (II.4) : Nombre de jours de sirocco aux stations Beni Slimane et Bir-Ghbalou.....	25
Tableau (II.5) : Caractéristiques hydrographiques des quatres bassins.....	33
Tableau (II.6) : Caractéristiques hydrographiques des quatres sous bassins.....	35
Tableau (II.7) : Potentialités en eau superficielle du bassin Isser (période 1910-1993).....	40
Tableau (II.8) : Retenues collinaires et leurs capacités par wilaya.....	40
Tableau (II.9) : Quelques caractéristiques hydromorphométriques des différents sites (retenues collinaires).....	41
Tableau II.10. Caractéristiques des barrages en exploitation (ANBT ,2014).....	42
Tableau II.11. Caractéristiques des barrages en exploitation (ANBT,2014).....	43
Tableau (III.1) : Caractéristiques des stations hydrométriques.....	45
Tableau (III.2) : Crue 20-02-1991(station de Lakhdoria 090501).....	46
Tableau (III.3) : Crue du 20 février 1991 en valeurs réels et logarithmiques (station de Lakhdoria 090501).....	48
Tableau (III.4) : Hydrogramme sélectionné du 20 février 1991 observé à la station de Lakhdoria.....	49
Tableau (III.5): détermination de l'hydrogramme normé.....	51
Tableau (III.6) : Hydrogrammes de crues observés à la station Pont de la traille (90408).....	54
Tableau (III.7) : Hydrogrammes de crues observés à la station de Lakhdoria (090501).....	55
Tableau (III.8) : Hydrogrammes de crues observés à la station Déchmia (090309).....	56
Tableau (III.9) : Hydrogrammes de crues observés à la station de Beni Slimane (090305).....	57
Tableau( III.10) : Hydrogrammes de crues observés à la station de Mezahim (090101).....	58
Tableau (III.11) : Critère de Nash pour la crue du 30-04-1990, station de Lakhdoria.....	77
Tableau (III.12) : Critère de Nash pour quelques crues de la station de Lakhdoria 090501.....	78
Tableau (III.13) : Critère de Nash pour quelques crues de la station Mezahim 090101.....	79
Tableau (III.14): Critère de Nash pour quelques crues de la station Dechmia 090309.....	79
Tableau (III.15) : Critère de Nash pour quelques crues de la station Beni Slimane 090305.....	79

*Liste*  
*Des*  
*Figures*

Figure (I.1) : Bassin versant topographique.....	3
Figure (I.2) : Bassin versant hydrogéologique.....	4
Figure (I.3) Limnimétrie.....	7
Figure(I.4) : Courbe de tarage .....	7
Figure (I.5) : Jaugeages par exploration du champ des vitesses.....	8
Figure (I.6) : Exemple d'un hydro gramme unitaire.....	11
Figure (II.1) : Situation générale du bassin Isser.....	21
Figure (II.2) : Situation générale du bassin Isser.....	22
Figure (II.3) : Carte des wilayas du bassin de l'Oued Isser (ANRH 2021).....	23
Figure (II.4) : Altitudes du bassin Isser au droit de la station de Lakhdaria (90501).....	28
Figure (II.5) : Les altitudes du bassin Isser au droit de la station 90501.....	30
Figure (II.6) : Réseau hydrographique du bassin 90501.(Zeggane, 2017).....	31
Figure (II.7) : Réseau hydrographique du bassin 90408.(Zeggane, 2017).....	31
Figure (II.8) : Réseau hydrographique du bassin 90101.(Zeggane, 2017).....	32
Figure (II.9) : Réseau hydrographique du bassin 90309.(Zeggane, 2017).....	32
Figure (II.10) : Profile en long du cour d'eau principal Isser.....	34
Figure (II.11) : .Lithologie du bassin versant.....	36
Figure (II. 12) : Lithologie du bassin versant.(Zeggane, 2017).....	39
Figure (III.1) : Emplacement des stations hydrométriques.....	45
Figure (III.2) : Identification de la date de fin de ruissellement par la méthode graphique.....	50
Figure (III.3) : Hydrogramme de crue $Q = f(t)$ .....	51
Figure (III.4) : Hydrogramme normé de la crue du 20 février 1991 observée à la station de Lakhdaria.....	52
Figure (III.5) : Hydrogramme unitaire réduits de la station de Lakhdaria (090501).....	59
Figure (III.6) : Hydrogramme unitaire réduits de la station pont de la traïlle ( 090408).....	60
Figure (III.7) : Hydrogramme unitaire réduits de la station de Dechmia (090309).....	60
Figure (III.8) : Hydrogramme unitaire réduits de la station de Beni Slimane( 090305).....	61

*Introduction*  
*Générale*



Les crues constituent une menace sérieuse pour les biens matériels et les vies humaines. Il a été bien démontré, à la conférence mondiale sur la prévention des catastrophes naturelles qui s'est tenue à Yokohama en 1994, que les crues étaient à l'origine de plus de décès et de dommages que n'importe quel autre type de catastrophe au monde (Organisation des Nations unies, 1994). Avec une population mondiale qui augmente et la possibilité d'une modification du climat, il est très probable que le problème des crues ne fera à l'avenir que s'aggraver (Grabs et al., 1997 ; Gellens et Schändler, 1997). Ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus destructives et même les plus fréquentes et provoquent d'importants dégâts humains et matériels. La planification et la conception des aménagements destinés à la mise en valeur des ressources en eau dépendent étroitement des évaluations hydrologiques. (Eichert et al., 1987).

En Algérie précisément dans le nord, où les précipitations sont plus fréquentes durant les saisons humides, les crues sont importantes. Pour prévenir les risques d'inondations ; des observations du phénomène donnent des séries de débit max de crues, qui permettent de mettre en œuvre des études hydrologiques pour prévenir les risques de catastrophe et de protéger les citoyens et leurs biens personnels ou publics. En l'absence de données hydrométriques, le calcul des débits fréquents se fait dans la quasi-totalité par des modèles des débits fréquents (Boutoutaou, 2015 ; Sokolovski, 1949 ; Turraza, 1968 ; Giandotti, 1968 ; Montana, 1978), utilisant les paramètres morpho-métriques du bassin versant, paramètres hydrographiques et météorologiques, notamment les pluies annuelles et pluies maximales fréquentes). Parmi les méthodes couramment utilisées en hydro-météorologie pour estimer les précipitations, dans les sites ayant peu ou aucune donnée.

L'analyse fréquentielle d'une série de débits maximaux ou de pluies maximales permet d'estimer le temps de retour d'une valeur particulière ou une valeur particulière d'une période de retour donnée. Cette étape s'appelle la modélisation fréquentielle par une équation mathématique qui y exprime le comportement statistique des données primaires.

Le bassin versant d'Oued Isser, objet de cette étude, fait partie des 17 bassins versants que compte l'Algérie (ANRH, 2001), bassin 09, l'Oued Isser est le réceptacle des eaux du versant sud du massif des Khachna, une partie de Djurdjura et de l'Atlas blidéen. Toutes les rivières en amont, ainsi que tous les ruisseaux, s'y jettent inlassablement. Dans cette étude nous

proposerons une méthodologie pour le calcul des hydrogrammes de crues basée sur la superposition des hydrogrammes unitaires réduits obtenus à partir des hydrogrammes bruts observées au niveau des cinq stations du bassin d'Oued Isser. Nous proposerons aussi un modèle Log-Normale type de Galton qui pourra être employé pour la simulation les hydrogrammes de crues dans le bassin. Nous proposerons également, une méthodologie d'analyse fréquentielle des données max du débit et de précipitation par le logiciel HYFRAN afin de pouvoir calculer les débits/pluies max de projet pour différentes périodes de retour T, et de valider quelques formules empiriques utilisée pour le calcul des débits max fréquents dans le bassin versant d'Oued Isser.

Dans le cadre de préparation de ce mémoire de fin d'étude nous avons établis le plan de travail suivant :

Introduction générale ;

Chapitre I. Recherches bibliographiques ;

Chapitre II : Etude hydrologique du bassin versant d'Oued Isser ;

Chapitre III : Etablissement des hydrogrammes de crues ;

Conclusion générale

## **I.1 Introduction**

L'étude hydrologique est une étape primordiale, qui requiert des connaissances en hydraulique et en hydrologie ainsi que des notions mathématique et statistique.

Dans ce domaine on utilise plusieurs techniques scientifique notamment dans la mesure des débits et leurs calculs. Pour simplifier le calcul on utilise plusieurs méthodes, dont celle des hydrogrammes de crue. Pour avoir ce genre de diagramme en utilise des méthodes de calcul différente ; les formules empirique et les ajustements aux lois de probabilité.

## **I.2 Le bassin versant**

En tout point d'un cours d'eau, nous serons amenés à définir son bassin versant et à caractériser son comportement hydrologique.

### **I.2.1 Notion du "Bassin Versant"**

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval. Selon la nature des terrains, nous serons amenés à considérer deux définitions.

#### **I.2.1.1 Bassin versant topographique**

Si le sous-sol est imperméable, le cheminement de l'eau ne sera déterminé que par la topographie. Le bassin versant sera alors limité par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente comme le montre la figure ci-jointe.

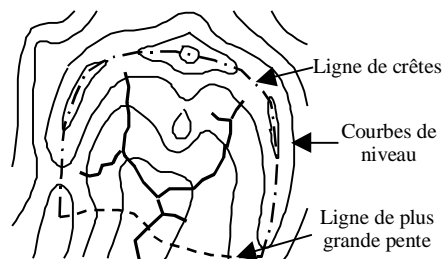


Figure (I.1) : Bassin versant topographique

#### **I.2.1.2 Bassin versant hydrogéologique**

Dans le cas d'une région au sous-sol perméable, il se peut qu'une partie des eaux tombées à l'intérieur du bassin topographique s'infilte puis sorte souterrainement du bassin (ou qu'à l'inverse des eaux entrent souterrainement dans le bassin).

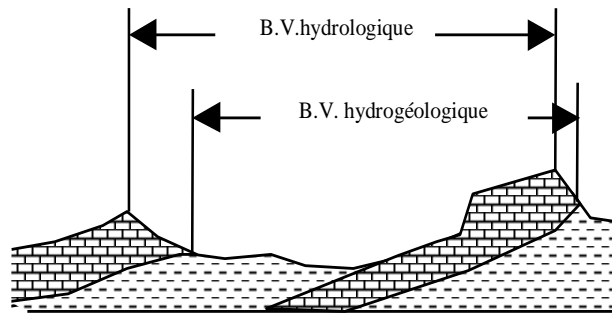


Figure (I.2) : Bassin versant hydrogéologique

Dans ce cas, nous serons amenés à ajouter aux considérations topographiques des considérations d'ordre géologique pour déterminer les limites du bassin versant. Cette distinction entre bassin topographique et hydrogéologique se justifie surtout pour les petits bassins. En effet,

Lorsque la taille du bassin augmente, les apports et les pertes souterraines ont plus de chance de se compenser. De plus, on peut admettre que le débit des cours d'eau est proportionnel à la surface du bassin, les échanges souterrains se font, eux, aux frontières et varient donc sensiblement comme le périmètre. Lorsque la taille du bassin augmente, la surface croît plus vite que le périmètre et la valeur relative des échanges souterrains par rapport au débit de surface tend à devenir négligeable.

### I.3 Hydrométrie

L'hydrométrie a pour objet la mesure des hauteurs d'eau et des débits. La connaissance de ces informations s'effectue au moyen d'un réseau hydrométrique au sein duquel seules les stations de jaugeage fournissent des chroniques continues des débits.

#### I.3.1 Réseau hydrométrique

C'est l'ensemble des stations ou des sites permettant de connaître les hauteurs d'eau et/ou des débits de diverses rivières, de manière continue ou discontinue, voire épisodique. Il est constitué :

##### - De sites de mesures ponctuelles :

Lieux où sont effectuées, de manière régulière ou pas, des mesures ponctuelles du débit (dont la durée varie de  $\frac{1}{4}$  d'heure pour des ruisseaux à plusieurs heures pour la Loire) appelées jaugeage; les débits sont exprimés en  $\text{m}^3/\text{s}$  (en  $\text{l/s}$  pour les ruisseaux).

Ces mesures sont le plus fréquemment utilisé en fonction des analyses de la qualité des eaux ou pour le suivi des ressources en eau (particulièrement en été pour suivre l'état des rivières sollicitées pour l'irrigation).

- **De stations limnométriques et limnigraphiques** : lorsqu'on observe essentiellement les hauteurs d'eau en un point d'une rivière, on dit qu'on a affaire à une station limnométrique lorsqu'il s'agit d'observations discontinues et à une station limnigraphique lorsqu'on enregistre de manière continue les hauteurs d'eau. Les hauteurs d'eau sont observées sur une échelle limnométrique fixe (généralement graduée en cm), ce qui permet de contrôler les indications de l'appareil enregistreur dans le cas d'une station limnigraphique.

- **De station de jaugeage** : permettant l'établissement d'une chronique continue des débits, ce qui sous-entend un enregistrement continu des hauteurs d'eau et la possibilité de calculer les débits à partir des hauteurs d'eau.

### **I.3.2 Stations de jaugeage**

Il n'existe pas actuellement de procédé économique qui permette une mesure continue du débit et son enregistrement ; les services hydrométriques ont donc recours à un enregistrement continu des hauteurs d'eau en des sites où il y a de fortes présomptions qu'il existe une relation stable entre hauteurs d'eau et débits.

Le service gestionnaire d'une station de jaugeage effectue des tournées de maintenance et de mesure du débit (jaugeage) de manière plus ou moins régulière.

Les débits mesurés sont ensuite calculés et reportés dans des logiciels graphiques permettant de visualiser la relation hauteur-débit lorsqu'elle existe : c'est la courbe de tarage

Cette relation hauteur-débit est rentrés dans la banque nationale de données HYDRO, ce qui permet de calculer les débits journaliers des stations pour lesquelles ont été préalablement rentrées les hauteurs d'eau enregistrées sur le terrain et contrôlées au bureau ; les débits journaliers sont ensuite publiés par année calendaire ou par année hydrologique (septembre à août) et constituent les données de base des études hydrologiques et du suivi des ressources en eau.

D'autres données sont utilisées lorsqu'on étudie les débits d'une rivière :

- Des données à pas de temps plus fin ; on a alors affaire à un hydro gramme qui indique les débits en fonction du temps de manière continue.

- Ou des données plus agrégées, telles que des débits moyens mensuels ou interannuels (plusieurs années ou sur l'ensemble d'une période d'observation).

**Nota :** la nécessité de passer par la connaissance d'une hauteur d'eau dans une section de rivière pour pouvoir en connaître les débits a pour conséquence la modification possible de la relation hauteur-débit lorsque le lit de la rivière se modifie, par exemple à la suite d'une crue notable ou à la suite de travaux : on dit alors qu'il y a détarage.

#### **I.4 Mesure des débits**

##### **I.4.1 Acquisition des débits en fonction du temps**

Actuellement, il n'existe aucune technique opérationnelle qui permette de mesurer directement le débit en fonction du temps. Cette opération se fait généralement dans la pratique de la manière suivante (JP Laborde, 2003) :

- On enregistre en un point du cours d'eau (la station hydrométrique), la hauteur d'eau  $H$  en fonction du temps. Cet enregistrement  $H(t)$  est appelé "limnigramme"
- A différents instants  $t = t_1, t_2, \dots, t_n$ , on pratique des mesures instantanées de débits  $Q_{t1}, Q_{t2}, \dots, Q_{tn}$  ; ces mesures correspondent à des enregistrements de hauteur synchrone  $H_{t1}, H_{t2}, \dots, H_{tn}$ .
- Dans certaines conditions hydrauliques, comme le passage en "section critique", il existe une relation biunivoque entre la hauteur d'eau et les débits. Dans ces conditions, les différents jaugeages ( $Q_{ti}, H_{ti}$ ) permettent d'établir la relation hauteur-débit appelée courbe de tarage :  $Q(H)$ .
- En combinant la courbe de tarage  $Q(H)$  et le limnigramme  $H(t)$ , on obtient aisément l'évolution du débit en fonction du temps  $Q(t)$  appelé hydrogramme.



Figure (I.3) Limnimétrie

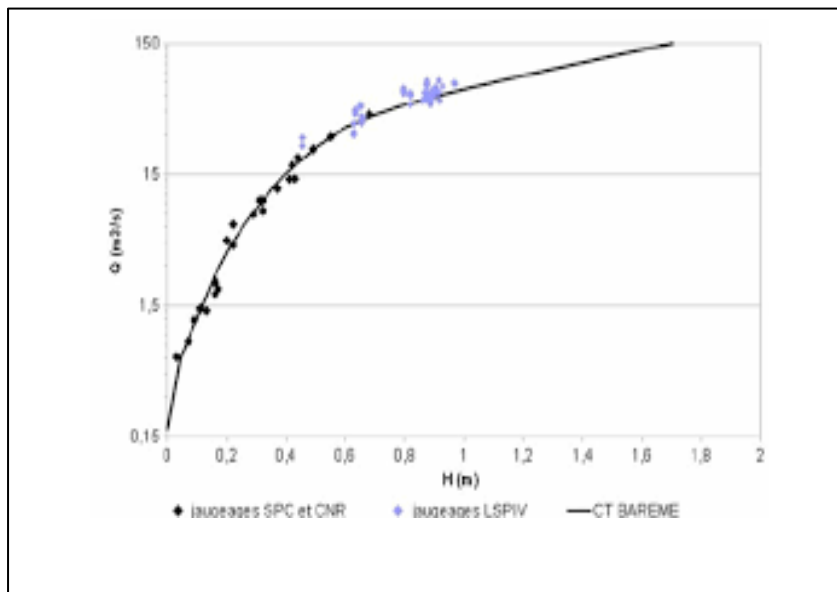


Figure (I.4) : Courbe de tarage

### I.4.2 Jaugeages par exploration du champ des vitesses

Soit une section droite S d'un cours d'eau ; le débit dans cette section se définit comme le flux du vecteur vitesse à travers S...

$$Q = \int_S \mathbf{V} \cdot d\mathbf{s} \quad \text{ou plus explicitement} \quad Q = \int_{RG}^{RD} \int_0^{f(x)} \mathbf{V}(x,y) \cdot dy \cdot dx \dots\dots\dots(I.1)$$

Les jaugeages par exploration du champ des vitesses consistent à étudier la fonction  $V(x,y)$  en l'échantillonnant suivant différentes valeurs de  $x$  et de  $y$ . Généralement, on se fixe différentes abscisses (des "verticales")  $x_1, x_2, \dots, x_i, x_n$  et sur chaque abscisse  $x_i$ , on échantillonne à différentes profondeurs  $y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ij}, \dots, y_{ip}$ , la vitesse  $V(x_i, y_{ij})$ ; cette technique est appelée jaugeage "point par point".

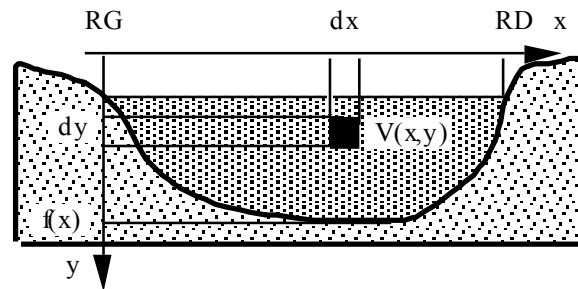


Figure (I.5) : Jaugeages par exploration du champ des vitesses

On peut également, sur chaque verticale  $x_i$ , mesurer directement  $(Q)$ ; on dit alors que l'on effectue un jaugeage "par intégration".

### I.5 Calcul des crues en absence des données d'hydrométrie

#### I.5.1 Formule empiriques de calcul des crue

En absence de données de mesure des débits de crues, on utilise souvent les formules empiriques. Les formules les plus utilisées en Algérie sont les suivantes :

##### I.5.1.1 Formule de Mallet-Gauthier

La formule est donnée sous la forme suivante :

$$Q_{f\%} = Q_T = 2K \log(1 + 20\bar{P}) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log(T) - \log(S)} \dots\dots\dots(I.2)$$

$Q_{f\%}$  ou  $Q_T$  – débit de crue fréquentielle ou débit de crue de période de retour  $T$  ;

$K$  – coefficient régional variant entre 1 et 3. Pour l'Algérie  $K \approx 2$  ;

$\bar{P}$  – pluie moyenne annuelle en  $m$  ;

$S$  – surface du bassin versant en  $km^2$  ;

$L$  – longueur du cours d'eau principal,  $km$  ;

$T$  – années.

Formule utilisée uniquement pour  $T \geq 10ans$

**I.5.1.2 Formule de Giandotti**

La formule de Giandotti est présentée par la formule suivante :

$$Q_{f\%} = Q_T = \frac{\gamma S P_{icT} \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}{4\sqrt{S} + 1.5L} \dots\dots\dots(I.3)$$

$Q_{f\%}$  ou  $Q_T$  – débit de crue fréquentielle ou débit de crue de période de retour  $T$  ;

$S$  – surface du bassin versant en  $km^2$  ;

$L$  – longueur du cours d’eau principal ,  $km$  ;

$\gamma$  – Coefficient topographique variant entre 66 et 166. Pour le cas de l’Algérie  $\gamma = 100$  ;

$H_{moy}$  et  $H_{min}$  – altitudes moyenne et minimale du bassin versant respectivement ;

$P_{icT}$  – pluie de durée égale au temps de concentration  $t_c$  et de période de retour  $T$ , en  $m$  ;

$$P_{icT} = P_{jT} \left( \frac{t_c}{24} \right)^b$$

$P_{jT}$  – pluie maximale journalière de période de retour  $T$  ;

$t_c$  – temps de concentration – temps que met la gouttelette d’eau la plus éloignée pour arriver à l’exutoire :

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5\sqrt{L}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \text{ heures} \dots\dots\dots(I.4)$$

$$\begin{cases} S - km^2 \\ L - km \\ H_{moy} \text{ et } H_{min} - m \end{cases}$$

$b$  – Coefficient climatique tabulé en fonction des zones (voir l’étude des pluies et des intensités pluviale en Algérie BODY)

**I.5.1.3 Formule de Turraza**

La formule de Turraza et donnée par la relation suivante :

$$Q_{f\%} = Q_T = \frac{CI_{tcT}S}{3.6} \dots\dots\dots(I.5)$$

$Q_{f\%}$  ou  $Q_T$  – débit de crue fréquentielle ou débit de crue de période de retour  $T$  ;

$S$  – surface du bassin versant en  $km^2$  ;

$C$  – coefficient de ruissellement

$C = 0.6$  – pour  $T = 10ans$  ( $f = 90\%$ , fréquence au non dépassement) ;

$C = 0.7$  – pour  $T = 100ans$  ( $f = 99\%$  fréquence au non dépassement) ;

$C = 0.9$  – pour  $T = 1000ans$  ( $f = 99.9\%$  fréquence au non dépassement) ;

Pour les autres période de retour  $T$ , il faut effectuer des interpolations.

$I_{tcT}$  – intensité pluviale correspondant au temps de concentration  $t_c$  et au période de retour  $T$  ;

$$I_{tcT} = \frac{P_{tcT}}{t_c} \quad mm/heure$$

**I.6 Construction de l'hydrogramme de projet par formulation analytique**

**I.6.1 En présence de données de mesure**

Si l'on dispose d'observation sur les crues, il est possible de sélectionner les hydrogrammes unitaires et les superposer. En fait on évaluera l'hydrogramme unitaire moyen ou médian entre ces différentes observations ( Boutoutaou et al, 2015).

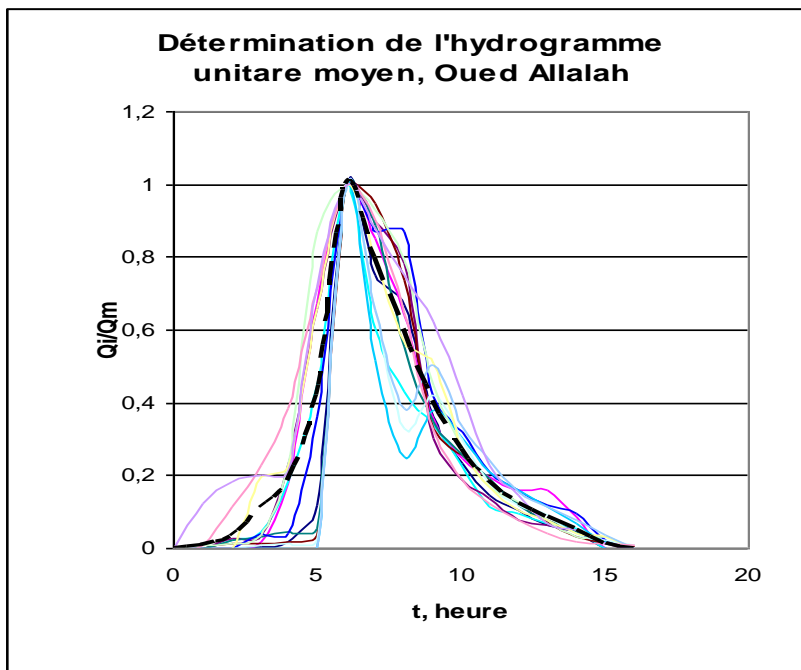


Figure (I.6) : Exemple d'un hydro gramme unitaire

**I.6.2 En absence de données de mesure**

Dans le cas où l'on ne dispose pas de mesure des débits de crues des cours d'eau, on peut recourir aux méthodes empiriques pour calculer des hydrogrammes de crues. On pourra utiliser les méthodes suivantes :

**I.6.2.1 Modèle Nash**

Rappelons que l'Hydrogramme Unitaire Conceptuel (HUC) de Nash est entièrement caractérisé pour un bassin versant donné, par les valeurs prises pour les paramètres n (nombre de réservoir) et tp (Temps de montée). Sa fonction est formulée telle que :

$$K = \frac{t_p}{(n-1)} \dots\dots\dots(I.6)$$

$$Q_p = \frac{1}{K \cdot \Gamma(n)} \cdot (n - 1)^{(n-1)} \cdot e^{1-n} \dots\dots\dots(I.7)$$

$$Q(t) = Q_p \left(\frac{t}{t_p}\right)^{(n-1) \cdot \frac{t}{t_p}} \cdot e^{-n-1} \dots\dots\dots(I.8)$$

Avec :

K : coefficient de stockage des réservoirs, en [h] ;

tp : temps de montée, en [h] ;

- n : nombre de réservoirs, adimensionnel ;
- Qp : débit de pointe, en [1/h] ;
- Γ(n) : fonction Gamma, adimensionnelle ;
- Q(t) : fonction de vidange des n réservoirs, en [1/h].

**I.6.2.2 Modèle Sokolovski**

Cette méthode est d'un usage très courant dans les services d'hydrologie de états Indépendants de l'ex URSS ainsi qu' en Alegrie .la formule de base de SOKOLOVSKI repose sur les hypothèses suivantes :

1. 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.
2. 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.
3. La forme de la crue est prise sur la basa d'hydrogrammes réellement observés comme Curviligne (deux paraboles convergentes en pointe).
4. La caractéristique principale de la crue est le temps de montée (tm), de durée égale au Temps de concentration (Tc)

Sokolovski propose de formes pour tacer l'hydrogramme de crue :

1. **Pour la montée :**

$$Q_{ti} = Q_{f\%} \left( \frac{t}{t_m} \right)^2 \dots\dots\dots(I.9)$$

**2. Pour la décrue (la descente)**

$$Q_{ii} = Q_{f\%} \left( \frac{t_d - t'}{td} \right)^3 \dots\dots\dots(I.10)$$

$t_m$  – Temps de montée de la crue. Il peut être assimilé au temps de concentration  $t_c$ , c'est-à-dire  $t_m \approx t_c$

$t_d$  – Temps de décrue.  $t_d = \beta t_m = \beta t_c$

1. pour les surfaces des bassins versant  $S \leq 50km^2 \rightarrow \beta = 2$  ;
2. pour les bassins versants non boisés (forêts) et sol peut perméable  $\beta = 2 \div 3$  ;
3. pour les bassins versants boisés (forêts) et sol perméable  $\beta = 3 \div 4$  ;

$t' = t_i - t_c$

**I.6.2.3 Modèle d'Alekceev**

L'hydrogramme de crue selon Alekceev peut être simulé par la fonction de répartition statistique de Goodritch :

$$y = 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}} \dots\dots\dots(I.11)$$

$y = \frac{Q}{Q_{max}}$ , débit adimensionnel (débit exprimé en pourcentage par rapport au débit max)  $x = \frac{t}{t_m}$ , temps adimensionnel (temps exprimé en pourcentage par rapport au temps de montée de la crue)

$a = f_1(\lambda)$  – paramètre fonction du coefficient de forme de l'hydrogramme de crue.

$$\lambda = \frac{Q_m t_m}{w_m} = \frac{Q_m t_m}{1000h_m S} \dots\dots\dots(I.12)$$

L'hydrogramme de crue est établi sur la base de la table donnée ci-dessous qui donne les valeurs normées des coordonnées x et y (en unités) correspondant au paramètre  $\lambda$ .

On commence tout d'abord à calculer la valeur  $\lambda$ , ensuite on détermine les coordonnées normés  $x$  et  $y$  correspondant à cette valeur ou à une valeur plus proche d'elle fournie par la table. On multiplie ces coordonnées par le temps de montée  $t_m$  et le débit de crue max  $Q_{max}$  (Les abscisses par les valeurs de  $x$  et les ordonnées par les valeurs de  $y$ )

$$t = x t_m \text{ et } Q = y Q_{max}$$

**I.6.2.4 Modèle PEARSON**

La formulation du modèle de l'hydrogramme unitaire est le suivant

$$\frac{Q}{Q_m} = \left(\frac{e}{tp}\right)^\alpha * (t)^\alpha * (e)^{-\alpha \frac{t}{tp}} \dots\dots\dots(I.13)$$

- Q : débit à l'instant t en (m<sup>3</sup>/s) ;
- Qm : débit de pointe en (m<sup>3</sup>/s) ;
- Tp : temps de pointe (en seconde) ;
- T : l'instant t en (seconde) ;
- $\alpha$  : coefficient d'ajustement du modèle.

**I.7 Fonction-critère de Nash**

La fonction-critère de Nash peut être utilisée pour déterminer l'écart quadratique moyen entre une courbe de référence (Y<sub>réf</sub>(x)) et une courbe simulée (Y<sub>mod</sub>(x)) qui se veut modéliser correctement la courbe de référence. Il est défini de la façon suivante lorsque les courbes sont définies en un nombre discret de points n (Nash et al 1970) :

$$Nash[Y(x)] = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n (Y_{mod}(x_k) - Y_{réf}(x_k))^2}{\sum_{k=1}^n (Y_{réf}(x_k) - \bar{Y}_{réf})^2} \dots\dots\dots(I.14)$$

Si Nash[Y(x)] = 1 : estimation de Y<sub>réf</sub>(x) parfaite avec Y<sub>mod</sub>(x),

- Si 0 < Nash[Y(x)] < 1 : estimation de Y<sub>réf</sub>(x) meilleure avec Y<sub>mod</sub>(x), qu'avec Y<sub>réf</sub>,
- Nash[Y(x)] < 0 : estimation moins bonne.

**I.8 les crues en Algérie**

Les inondations sont les catastrophes naturelles les plus destructives et même les plus fréquentes et provoquent d'importants dégâts humains et matériels. La planification et la conception des aménagements destinés à la mise en valeur des ressources en eau dépendent étroitement des évaluations hydrologiques. la prédétermination de la crue de projet, s'avère

donc, comme une étape importante dans tous aménagements dans le bassin versant, sa réponse hydrologique, en terme de la distribution de l'hydrogramme de crue dans le temps est aussi importante, en présence de donnée hydrométriques, celles des débits maximums annuels, la prédéterminations du débit fréquentielle est moins difficile, espérant bien sûr que les données en question sont proches du lieu d'aménagement, en revanche la construction de l'hydrogramme de crue s'avérerait difficile à moins d'utilisations des formules empiriques, comme celle de Sokolovsk.

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique, Les inondations de l'automne 1969 en Algérie, les inondations catastrophiques de Mars 1973 sur l'Est Algérien, les inondations de Mars 1974 des bassins versants de l'Algérois et de la Sebaou, les inondations de Décembre 1984 sur tout l'Est Algérien affectant surtout les agglomérations et les villes provoques par des orages localisés d'automne et d'été ( Lahlah, 2004). Nous citons pour exemple l'inondation catastrophique survenue à Bab el Oued (Alger) à cause des pluies diluviennes (260 mm en moins de 24 heures) abattues sur les hauteurs de Bouzaréah la nuit du 09 au 10 novembre 2001. Cette inondation a fait presque 1000 morts et les dégâts matériels ont dépassé les 4 milliards de dinars (Boutoutaou D. 2007).

### **I.9 Analyse fréquentielle**

L'analyse fréquentielle d'une série de débits maximaux ou de pluies maximales permet d'estimer le temps de retour d'une valeur particulière. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation décrivant (modélisant) le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée. C'est du choix du modèle fréquentiel (et plus particulièrement de son type) que dépendra la validité des résultats de l'analyse fréquentielle.

#### **I.9.1 Modèles les plus utilisés**

Les modèles fréquents très souvent utilisés pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes sont la distribution statistique de Gumbel (loi double exponentielle ou loi de Gumbel), la loi de disstribution Log Normal et la loi de distribution Log Pearson III.

**I.9.1.1 Loi de Gumbel**

La fonction de répartition au non dépassement de la loi de Gumbel  $F(x)$  s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \text{Exp} \left[ -\text{Exp} \left( -\frac{x-m}{a} \right) \right] \dots\dots\dots(I.15)$$

Les paramètres de la loi sont déterminés soit par la méthode des moments, soit par la méthode de maximum de vraisemblance. Par la méthode des moments les paramètres  $a$  et  $m$  sont calculés d'après les formules :

$$m = \bar{x} - 0.577 \text{ et } a = \frac{S}{1.28} \dots\dots\dots(I.16)$$

Avec :  $S$  et  $\bar{x}$  sont l'écart type et la moyenne de l'échantillon.

Et pour une période de retour  $T$ , la quantile  $x_T$  peut être calculée par :

$$X_T = m - a \text{Ln} \left[ -\text{Ln} \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right] \dots\dots\dots(I.17)$$

Concernant les intervalles de confiance IC, on utilise généralement une méthode analytique prenant en considération la variance  $\text{Var}(x_T)$  :

$$IC = \left[ x_T - U_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\text{Var}(x_T)}, x_T + U_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\text{Var}(x_T)} \right] \dots\dots\dots(I.18)$$

$$\text{Avec : } \text{Var}(x_T) = \frac{S^2}{n} \left[ 1 + 1.14K_T + K_T^2 \left( 0.6 + \frac{n}{2(n-1)} \right) \right] \dots\dots\dots(I.19)$$

$$\text{Et } K_T = 0.45 + \frac{1}{1.28} \text{Ln} \left[ -\text{Ln} \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right] \dots\dots\dots(I.20)$$

$n$  : taille de l'échantillon et  $U$  variable de Gauss.

**I.9.1.2 Loi Log Normale**

La fonction de répartition au non dépassement de la loi de log Normal  $F(x)$  s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_1^{\frac{x}{t}} \frac{1}{t} \text{Exp} \left[ -\frac{(\text{Lnt}-m)^2}{2\sigma^2} \right] \dots\dots\dots(I.21)$$

Par la méthode des moments les paramètres  $m$  et  $\sigma$  sont calculés d'après les formules :

$$m = \bar{x} \text{ et } \sigma = S \dots\dots\dots(I.22)$$

Et pour une période de retour  $T$ , la quantile  $x_T$  peut être calculée par :

$$X_T = \text{Exp} \left[ m + U_{1-\frac{1}{T}} \sigma \right] \dots\dots\dots(I.23)$$

Concernant les intervalles de confiance IC, on utilise généralement une méthode analytique prenant en considération la variance  $Var(x_T)$  :

$$IC = \left[ IC = x_T - U_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{2+U^2}{2n}}, x_T + U_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{2+U^2}{2n}} \right] \dots\dots\dots(I.24)$$

**I.9.1.3 Loi Log Pearson III**

La fonction de répartition au non dépassement de la loi Log Pearson III  $f(x)$  s'exprime de la manière suivante :

$$f(x) = \frac{|\alpha|}{0} \int_1^x \frac{1}{t} [\alpha(Lnx - m)]^{-1} Exp[-\alpha(Lnt - m)] dt \dots\dots\dots(I.25)$$

Par la méthode des moments les paramètres  $\alpha$ ,  $m$  et  $v$  sont calculés d'après les formules :

$$\alpha = \frac{2}{C_s S}, m = \bar{x} - \frac{2S}{C_s}, et v = \frac{4}{C_s^2} \dots\dots\dots(I.26)$$

Avec  $C_s$  : coefficient d'asymétrie

Et pour une période de retour  $T$ , la quantile  $x_T$  peut être calculée par :

$$X_T = Exp \left[ m + \varepsilon \frac{K_T \sqrt{v}}{a} + \frac{v}{a} \right] \dots\dots\dots(I.27)$$

Avec  $\varepsilon=1$  si  $\alpha > 0$  et  $\varepsilon=-1$  si  $\alpha < 0$  et  $K_T$  est calculé par :

$$K_T = U + (U^2 - 1)K + \frac{1}{3}(U^3 - 6U)K^2 - (U^2 - 1)K^3 + UK^4 + \frac{1}{3}K^5 \dots\dots\dots(I.28)$$

Avec  $U = U_{1-\frac{1}{T}}$  et  $K = \frac{C_s}{6}$

Concernant les intervalles de confiance IC, on utilise généralement une méthode analytique prenant en considération la variance  $Var(x_T)$  :

$$IC = \left[ IC = x_T - U_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{Var(x_T)}, x_T + U_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{Var(x_T)} \right] \dots\dots\dots(I.29)$$

$$Avec : Var(x_T) = \frac{S}{n} \left[ 1 + \frac{K_T^2}{2} (1 + \frac{3}{4} C_s^2) + K_T C_s \right] \dots\dots\dots(I.30)$$

**I.9.2 Tests d'ajustement**

La construction de modèles stochastiques est une étape importante de l'analyse statistique de données. Pour valider un modèle stochastique à partir des données observées, il faut disposer d'un test répondant à la question : le modèle construit correspond-il bien aux données ? Il s'agit donc du problème suivant. Il existe plusieurs test d'ajustement, les plus

couramment utilisés sont le test de coefficient de corrélation (ou de détermination), le test de Kolmogorov-Smirnov et le test de Khi-deux. Nous ne détaillons dans ce qui suit que le test de Khi-deux que nous avons utilisé dans notre travail (fourni par le logiciel Hyfran).

### III.9.2.1 Test de khi-deux $\chi^2$ (test de pearson)

D'après un échantillon, nous choisirons la formulation mathématique de la loi de probabilité et nous calculerons les paramètres numériques de cette loi.

On peut alors se demander quelle est la probabilité pour que la loi retenue représente effectivement la population mère dont l'échantillon est a priori représentatif.

En testant cette hypothèse, on court deux risques :

- un risque de première espèce qui consiste à rejeter à tort l'hypothèse alors qu'elle est vraie. La probabilité de ce risque est appelée **niveau de signification à  $\alpha$  %**. Elle est définie par la valeur numérique du test,  $\alpha$  étant toujours exprimé en probabilité au dépassement de cette valeur numérique ;
- un risque de deuxième espèce qui est d'accepter à tort l'hypothèse alors qu'elle est fausse. La probabilité de ce risque étant  $\beta$ , on appelle **puissance du test la valeur  $(1 - \beta)$** .

$H_0$  : la loi retenue représente effectivement la population mère dont l'échantillon est a priori représentatif.

$H_1$  : la loi retenue ne représente pas la population mère dont l'échantillon est a priori représentatif.

- $\alpha$  s'appelle le **risque de première espèce** (probabilité de choisir  $H_1$  alors que  $H_0$  est vraie) (en l'occurrence 5% dans cet exemple);
- $\beta$  s'appelle le **risque de deuxième espèce** (probabilité de conserver  $H_0$ , alors que  $H_1$  est vraie)

Le test de  $\chi^2$  permet de vérifier si une distribution observée peut être assimilée à une distribution théorique. On test alors l'hypothèse suivante, dite l'hypothèse nulle  $H_0$ .

$H_0$  : « Dans la population, la distribution des fréquences du caractère dans les différentes classes est celle décrite par le modèle ou la loi théorique. Sous l'hypothèse  $H_0$ , la variable aléatoire  $\chi^2$  sui une loi de Pearson à un degré de liberté :

$$v = k - 1 - r \dots\dots\dots(I.31)$$

Avec :  $k$  - nombre des classes et  $r$  - nombre de paramètres définissant la loi théorique.

On calcul l'observation  $\chi^2$  soit:

$$\chi_{obs}^2 = \sum \frac{(n_j - n_0)^2}{n_0} \dots\dots\dots (I.32)$$

$n_j$ – effectif observée dans la classe  $j$  et  $n_0$ – effectif théorique de cette même classe.

La procédure de mise en œuvre du test de  $\chi_{obs}^2$  est la suivantes:

1. on détermine le nombre de classe, au moins 5 valeurs pour chaque classe :  $k = \frac{n}{5}$  ;
2. on définit les bornes (les limites)  $k$  des classes, telle que  $\Delta F_j = \frac{1}{k}$  ;
3. on constitue le tableau des fréquences cumulées des  $k$  classes ;
4. on compte les effectifs réels  $n_j$  des  $k$  classes ;
5. on calcul la quantité statistique par la formule  $\chi_{obs}^2 = \sum \frac{(n_j - n_0)^2}{n_0}$  ;
6. on détermine  $v$ , le nombre de degré de liberté ;
7. on compare la quantité  $\chi_{obs}^2$  avec la quantité théorique  $\chi_{v,\alpha}^2$  ;
8. on conclut par le rejet ou le non rejet de l'hypothèse nulle avancée antérieurement.

Pour calculer la quantité théorique  $\chi_{v,\alpha}^2$  on procède comme suit :

- On se donne un seuil de signification  $\alpha$  (le plus souvent  $\alpha = 0.05$  ou  $\alpha = 0.01$ ) ;

Le test de l'hypothèse nulle  $H_0$  s'effectue ainsi :

1. Si  $\chi_{obs}^2 \geq \chi_{v,\alpha}^2$  on refuse l'hypothèse  $H_0$  au seuil de signification  $\alpha$  (ce qui signifie que la probabilité de se tromper en refusant  $H_0$  n'étant que  $\alpha$ . On prend ce risque ;
2. Si  $\chi_{obs}^2 < \chi_{v,\alpha}^2$  on ne peut refuser l'hypothèse  $H_0$  au seuil de signification  $\alpha$  (le test ne fournit aucune exigence contre  $H_0$ )

**I.9 Conclusion :**

Ce chapitre a fait l'objet d'une recherche bibliographique dont le but est de comprendre les méthodes de calcul et de mesure des débits de crues et les méthodes de construction des hydrogrammes de projet par formulation analytique en présence et en absence de données de mesure.

Ce chapitre a pour but également de comprendre l'analyse fréquentielle d'une série de débits maximaux ou de pluies maximales qu'on utilise généralement pour estimer le temps de retour d'une valeur particulière ou d'un période de retour (fréquence) donné.

Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation décrivant (modélisant) le comportement statistique des valeurs extrêmes. Ces modèles décrivant la probabilité d'apparition d'un événement de crue ou de pluie sont dans la plupart des cas : la distribution statistique de Gumbel, la loi de distribution Log Normal et la loi de distribution Log Pearson III. La validité des résultats de l'analyse fréquentielle dépend des tests d'ajustement dont Khi-deux est le plus performant.

## II.1 Introduction :

L'Algérie est composée de 15 bassins hydrographiques. Chaque bassin se diffère par rapport aux autres par des caractéristiques physiques et de forme.

Le but de ce chapitre est de présenter la région d'étude d'Oued Isser du point de vue topographique, géographique, climatique et morphologique. En d'autres termes c'est l'exposition de la nature et des œuvres humaines.

## II.2 Présentation de la région d'étude

### II.2.1 Cadre géographique

Le bassin d'Isser est situé dans le Nord algérien, il est limité par :

- au Nord par la Méditerranée et Nord-Ouest par les daïras de Tablat et Larbâa.
- à l'Est par la daïra de Drâa El Mizane et Sud Est par la wilaya de Bouira.
- Au Sud-Ouest par la daïra de Ksar El Boukhari et la wilaya de Médéa.
- au Sud par la daïra d'Ain boucif.

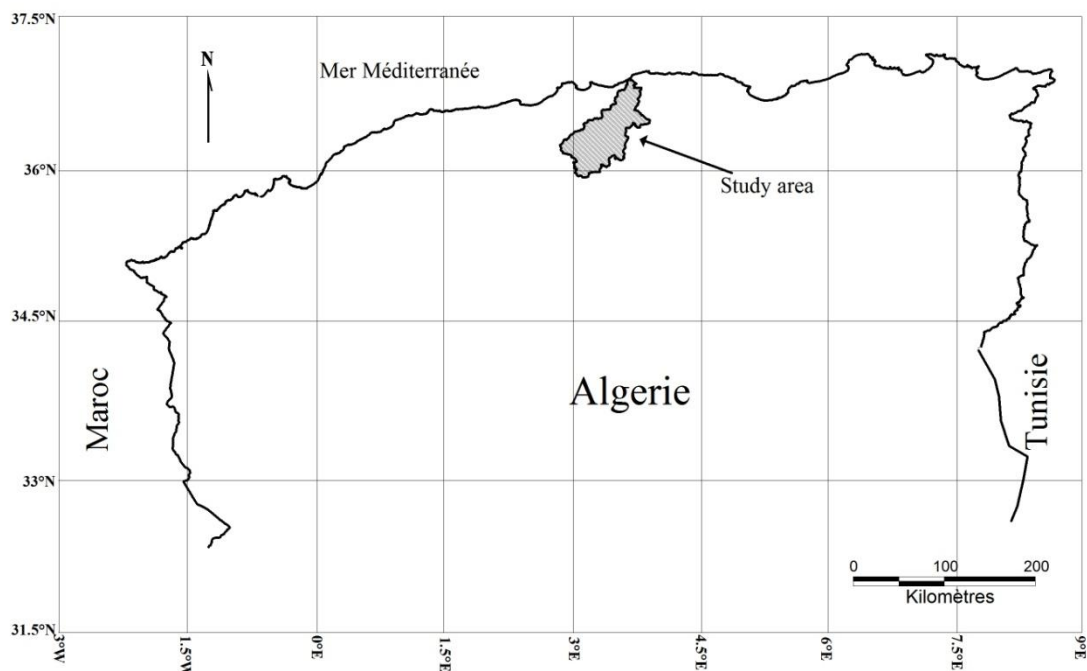


Figure (II.1) : Situation générale du bassin Isser

Le bassin versant de l'Oued Isser au droit du barrage de Beni Amarane draine une superficie de 4126 km<sup>2</sup>. Le bassin versant Isser est situé environ à 70 Km au Sud Est d'Alger. Il présente sensiblement la forme d'un quadrilatère d'orientation Sud –Ouest /Nord-Est. Du point de vue

administratif, ce bassin chevauche plusieurs wilayas : Médéa, Bouira, Tizi Ouzou et Boumerdès.

Le cadre géographique dans lequel se développe le bassin versant est constitué de l'atlas tellien algérois au Nord qui culmine à 1130 m au Djebel Tamesguida et de la chaîne des Bibans au Sud qui culmine à 1810 m au Djebel Dir. Ces deux chaînes sont séparées par la plaine des Ariba d'altitude 550 m. Le bassin versant de l'Oued Isser dont les lignes de crête se situent entre 90 et 1810 m a une altitude moyenne de 710 m.

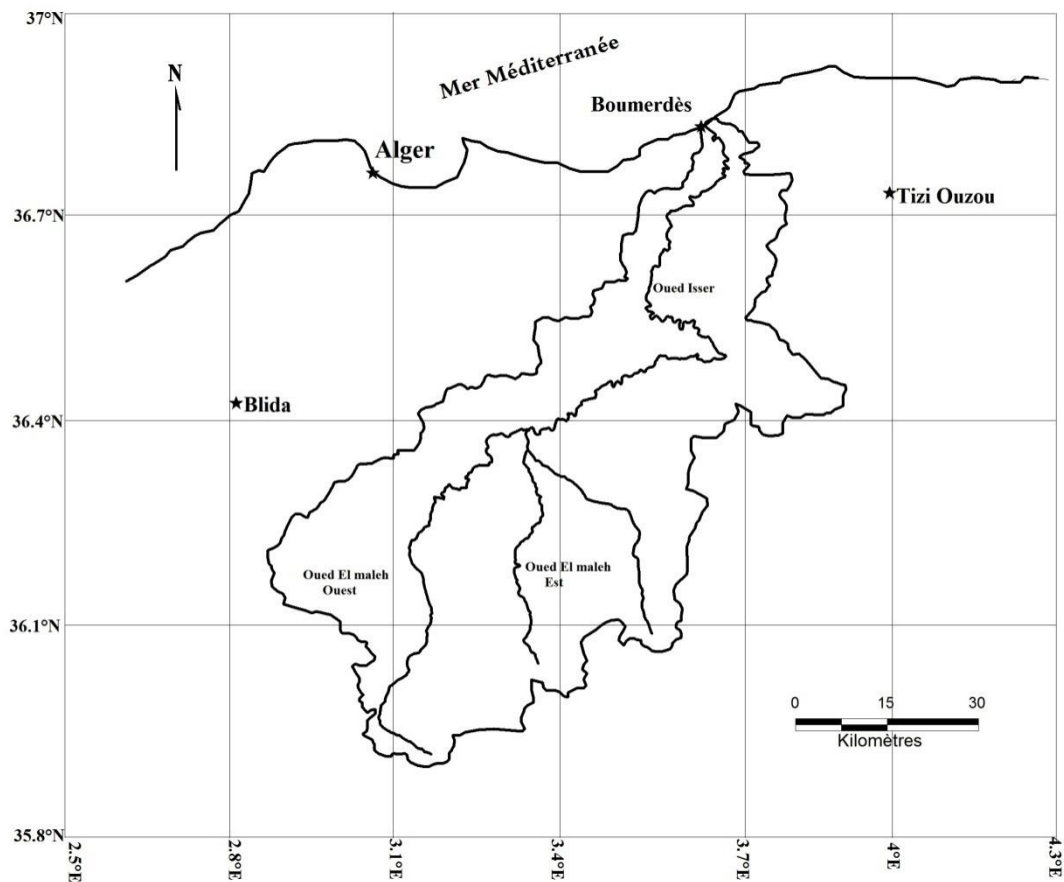


Figure (II.2) : Situation générale du bassin Isser

Carte des wilayas du Bassin versant de l'oued Isser

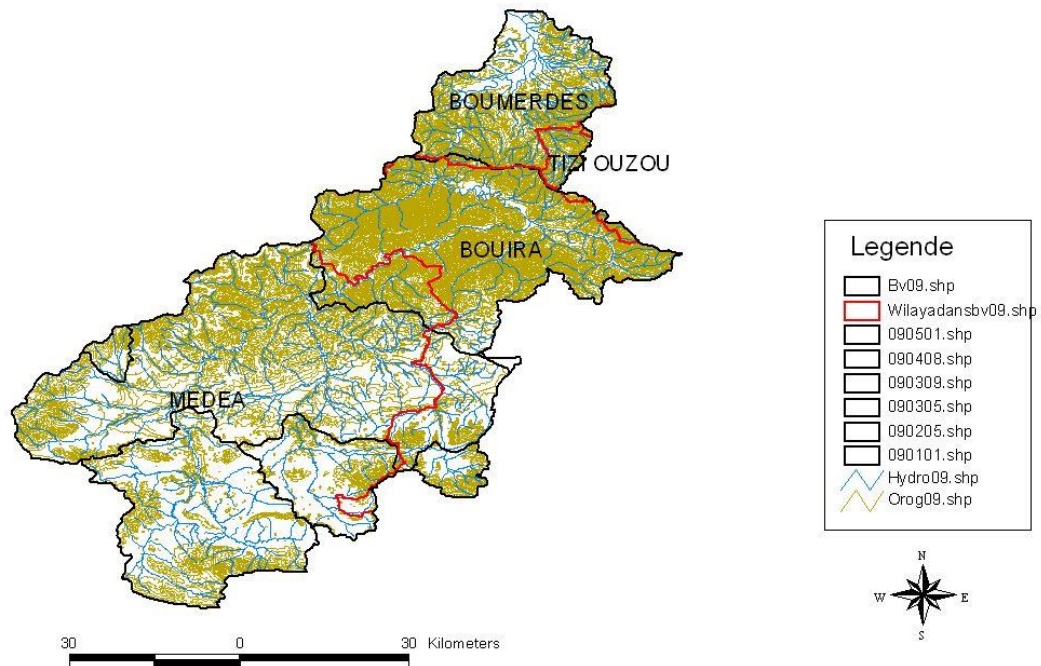


Figure (II.3) : Carte des wilayas du bassin de l'Oued Isser (ANRH 2021)

### I.2.2 Climat de la région

D'après Sogetha-Sogreah (1962), la région de l'oued Isser est soumise au climat de l'atlas tellien, présentant des degrés de continentalité qui croît très rapidement en s'éloignant de la mer. La température moyenne annuelle décroît de 17 °c à 10 °c par effet orographique. L'amplitude moyenne mensuelle passe de 16°c à 20 °c du Nord au Sud de cette région du fait principalement des minima observés en hiver. On peut observer des gelées blanches, pendant 1 à 50 jours par an de Novembre en Mars et la neige persiste plus de 20 jours par an sur les cimes au-dessus de 1000 m d'altitude.

### II.2.3 Températures

Le bassin est soumis à un climat méditerranéen intermédiaire. Entre le climat Tellien de montagne pluvieux et à l'amplitude thermique faible, avec des chutes de neige et le climat Tellien de plaine plus sec relativement chaud et présentant de forts écarts de température. Le bassin versant de l'oued Isser est caractérisé par une température relativement humide d'octobre

au moi d'Avril et sèche de Mai à Septembre. La température moyenne annuelle à Beni Slimane altitude (600m) est de l'ordre de 14 ° c.

**Tableau (II.1) : Répartition mensuelle de la température**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Minimale	1	1	3	6.5	9.5	16	16	17	14	10	5	3
Maximale	8	12	15	20	22	28	30	32	26	24	15	10
Moyenne	4.5	6.5	9	13	16	22	23	24.5	20	17	10	6.5

A.N.R.H (1996)

#### II.2.4 Evapo- transpiration

Nous donnerons en tableau (II.2), l'évaporation potentielle (ETP) extraite des cartes évaporations (ETP) établie par l'ANRH en 2002.

**Tableau (II.2) : ETP aux différentes stations hydrométriques en mm**

Station	MEZAHIM	Beni Slimane	Déchia	La Traille	Lakhdaria
	90101	90305	90309	90408	90501
Septembre	145.18	146.52	140.76	144.81	143.1
Octobre	94.71	96.05	85.77	95.64	95.21
Novembre	51.37	52.46	44.08	53.3	54.57
Décembre	35.1	35.37	28.28	37.83	39.84
Janvier	38.03	38.42	30.2	40.41	43.42
Mars	87.01	85.73	76.95	89.45	93.66
Avril	124.1	123.21	114.64	122.81	125.32
Mai	165.31	166.42	154.98	162.95	159.92
Juin	201.97	206.02	192.7	198.41	189.06
Juillet	226.36	225.38	224.94	221.53	203.96
Août	201.86	199.88	200.35	199.08	197.27

ANRH 2002

### II.2.5 Gelée

La gelée est enregistrée du mois de novembre au mois de mai, le nombre moyen de jour par mois enregistré aux stations de Tablat et Bir Ghbalou est donné dans le tableau 03 ci-dessous (A.N.R.H,2001).

Tableau (II.3) : Nombre de jours de Gelée aux stations de Tablat et Bir-Ghbalou.

Station	Altitude(m)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Total annuel
Tablat	450	0	0	1	5	6	3	3	1	0	0	0	19
BirGhbalou	624	0	0	3	11	11	8	5	4	1	0	0	13

### II.2.6 Vent :

Les vents chargés d'humidité sont de direction Nord –Sud à Nord -Ouest sud- Est alors que les vents desséchant sont de direction Sud –Nord. Le sirocco souffle sur tout le bassin, le nombre moyen de jour de sirocco par an enregistré au niveau de la station de Beni Slimane et de Bir-Ghbalou est donnée par le tableau II.4.

Tableau (II.4) : Nombre de jours de sirocco aux stations Beni Slimane et Bir-Ghbalou

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Total annuel
Beni Slimane	3	0	0	0	0	0	1	2	5	6	8	25
Bir Ghbalou	3	1	1	0	0	0	1	1	2	5	4	18

## II.3 Caractéristiques morphologiques du bassin :

### II.3.1 Caractéristiques physiques :

La forme du bassin versant est la configuration géométrique telle est qu'elle projetée sur un plan horizontal. Elle influence directement sur le temps de réponse du bassin, c'est à dire sur le temps de parcours des eaux à travers le réseau de drainage et par conséquent, il influe sur l'hydrogramme de crue (Llamas,1992).

**II.3.1.1 Indice de compacité ou indice de Gravélius :**

Défini par la relation :

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots (II.1)$$

Avec P : Périmètre du bassin en Km ;

S : Surface du bassin en Km<sup>2</sup> ;

Kc < 1 : bassin ramassé ;

Kc > 1 : bassin allongé.

**II.3.1.2 Coefficient de forme Rf**

Ce paramètre est le rapport entre la superficie du bassin et le carré de la largeur (Lm) selon Horton :

$$R_f = \frac{S}{Lm^2} \dots\dots\dots (II.2)$$

Avec : S : surface du bassin en Km<sup>2</sup>.

Lm : la distance entre l'embouchure et le point le plus éloigné du bassin suivant le cours d'eau principale en Km.

**II.3.1.3 Coefficient de forme Kf**

Il exprime le rapport entre la largeur moyenne et la longueur axiale.

$$K_f = \frac{Bm}{La} \dots\dots\dots (II.3)$$

Avec : Bm : représente la largeur suivant le cours d'eau principal en Km,

La : la longueur axiale du bassin en Km.

**II.3.1.4 Elancement Re**

Ce rayon de circulation entre la superficie du bassin et celle du cercle dont la circonférence est égale au périmètre du bassin

$$R_e = \frac{4.\pi.S}{P^2} \dots\dots\dots (II.4)$$

Sa valeur est 1 pour un bassin circulaire et de 0.78 pour un bassin carré.

**II.3.1.5 Rectangle équivalent**

Défini par sa longueur "L" et sa largeur "l" et par la même surface du bassin versant "S".  
 Les dimensions de ce rectangle sont données par les formules suivantes :

➤ La longueur :  $L = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right]$  .....(II.5)

➤ La largeur :  $l = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right]$  .....(II.6)

**II.3.2 Caractéristiques de forme**

**II.3.2.1 Hypsométrie des bassins :**

La variation d'altitude à l'intérieur d'un bassin ainsi que l'altitude moyenne sont des données essentielles aux études de la température et des précipitations (Llamas, 1992), la figure (II.4) montre la répartition des altitudes sur l'ensemble du bassin Isser.

La description détaillée de l'élévation d'un bassin est donnée par les courbes hypsométriques, et à partir de celles –ci, nous pouvons déterminer les caractéristiques, à savoir :

- L'altitude maximale ( $H_{max}$ ).
- L'altitude minimale ( $H_{min}$ ).
- L'altitude médiane correspond à 50% de la surface ( $H_{50\%}$ ) ; ou l'altitude médiane
- L'altitude moyenne ( $H_{moy}$ ).
- L'altitude correspond à 5% de la surface ( $H_{5\%}$ )
- L'altitude correspond à 95% de la surface ( $H_{95\%}$ )
- Dénivelée ( $D= H_{5\%} - H_{95\%}$ ).
- L'altitude moyenne ( $H_{moy}$ ), qui peuvent être déterminée par l'expression (7)

$H_{moy} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \cdot H_i}{S}$  .....(II.7)

Avec :  $H_{moy}$  : Altitude moyenne du bassin(m) ;

$S_i$  : Surface comprise entre deux courbes de niveaux i et i+1 ( $Km^2$ ) ;

$H_i$  : Altitude entre ces deux courbes de niveaux (m) ;

$S$  : Surface totale du bassin versant en  $Km^2$ .

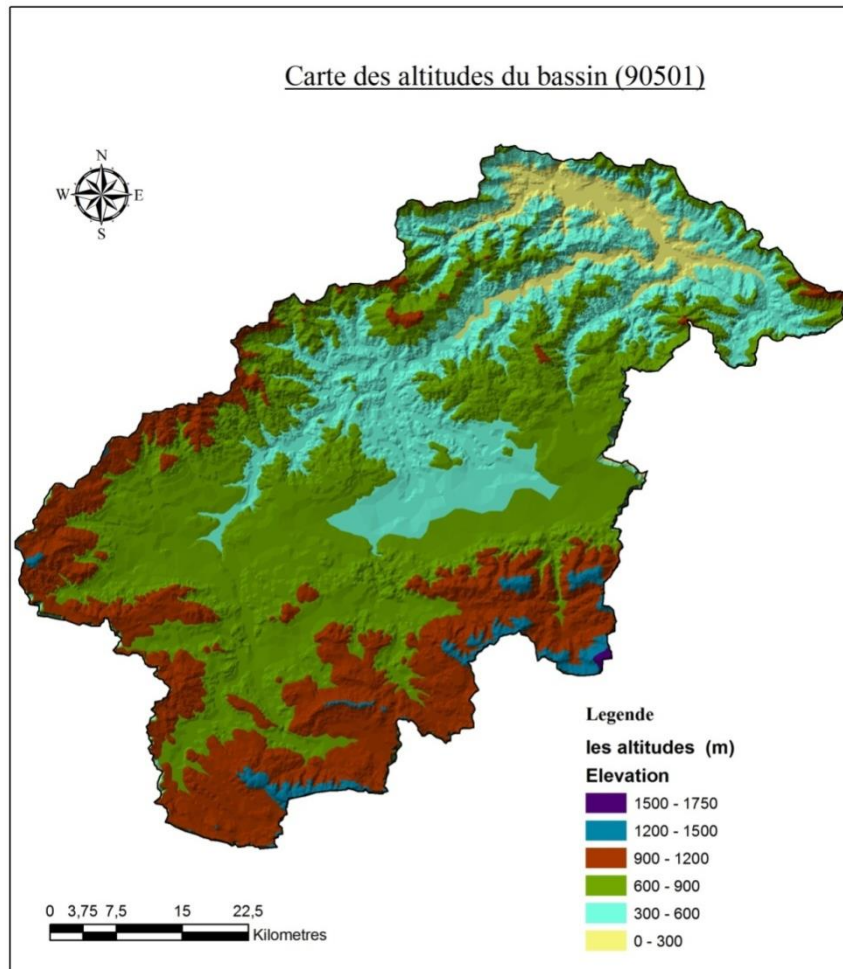


Figure (II.4) : Altitudes du bassin Isser au droit de la station de Lakhdaria (90501).

**II.3.2.2 Indice de pente :**

Selon Dubreuil (1974), le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant pour permettre des comparaisons et des classifications entre bassins. Ces indices de pentes sont déterminés à partir de la connaissance des courbes hypsométriques.

**II.3.2.3 Indice de pente de roche « Ip »**

Il sert à déterminer la pente moyenne avec les données réelles du bassin versant ; il est déterminé par l'expression 8 :

$$I_p = \frac{l}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{B_i(a_i - a_{i-1})} \dots\dots\dots(II.8)$$

Avec : Ip : Indice de pente de roche en % ;

Bi : Fraction de surface comprise entre l'altitude ai et ai+1 (ai, ai+1) altitude des courbes de niveau du bassin (m) ;

L : Longueur du rectangle équivalent en (Km) ;  
ai+1,ai :Cotes de ligne de niveaux du bassin (m).

**II.3.2.4 Indice de pente globale Ig**

Pour la classification du bassin versant, cet indice est déterminé par la formule (9) :

$$I_g = \frac{D}{L} \dots\dots\dots(II.9)$$

Avec : D : Dénivelée (m).

L : Longueur du rectangle équivalent (Km).

**II.3.2.5 Pente moyenne d'un bassin versant «Im »**

La pente moyenne d'un bassin versant peut se calculer par l'expression (10) :

$$I_m = H \left( \frac{0.5L_1 + L_2 + L_3 + \dots + 0.5L_n}{S} \right) \dots\dots\dots(II.10)$$

Avec : Im : Pente moyenne du bassin en (%).

H : Hauteur entre deux courbes de niveaux consécutives (m).

Li : Longueur de la courbe de niveau en (Km).

S : Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>)

L : Longueur du rectangle équivalent en (Km).

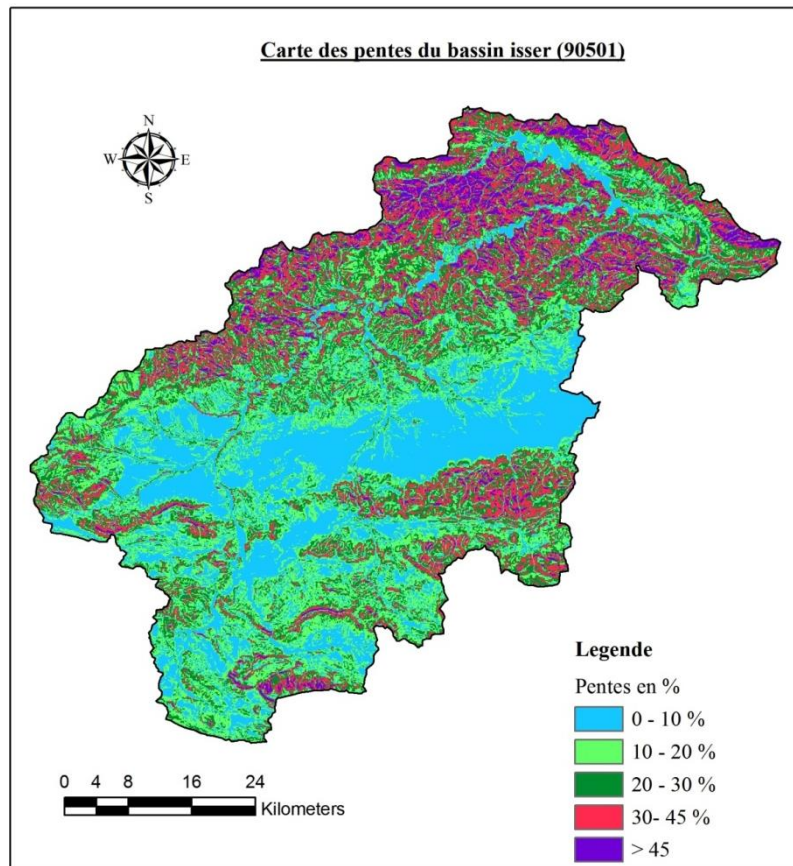


Figure (II.5) : Les altitudes du bassin Isser au droit de la station 90501

### II.3.3 Paramètres du réseau hydrographique

#### II.3.3.1 Caractéristiques du réseau hydrographique des quatre sous bassins

Les figures 6 , 7, 8 et 9 montrent les chevelures des réseaux hydrographiques classées des quatre sous bassins.

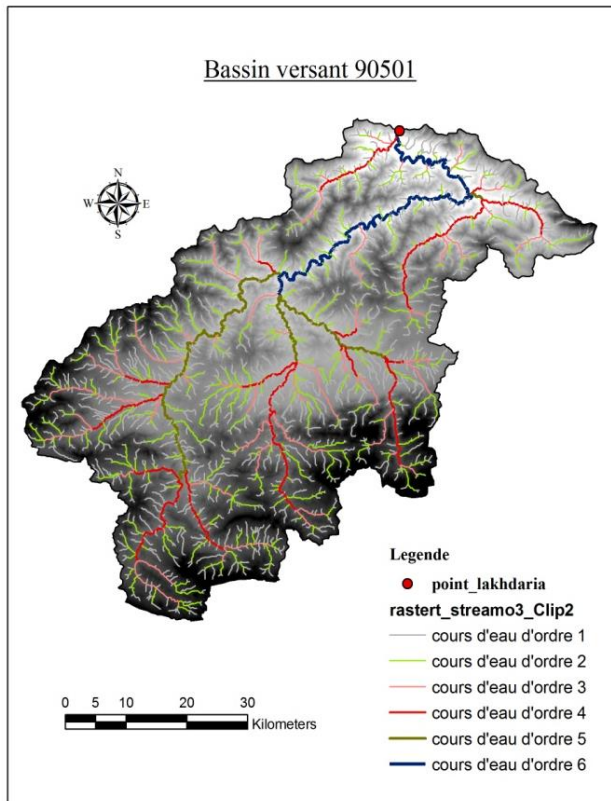


Figure (II.6) : Réseau hydrographique du bassin 90501.(Zeggane, 2017)

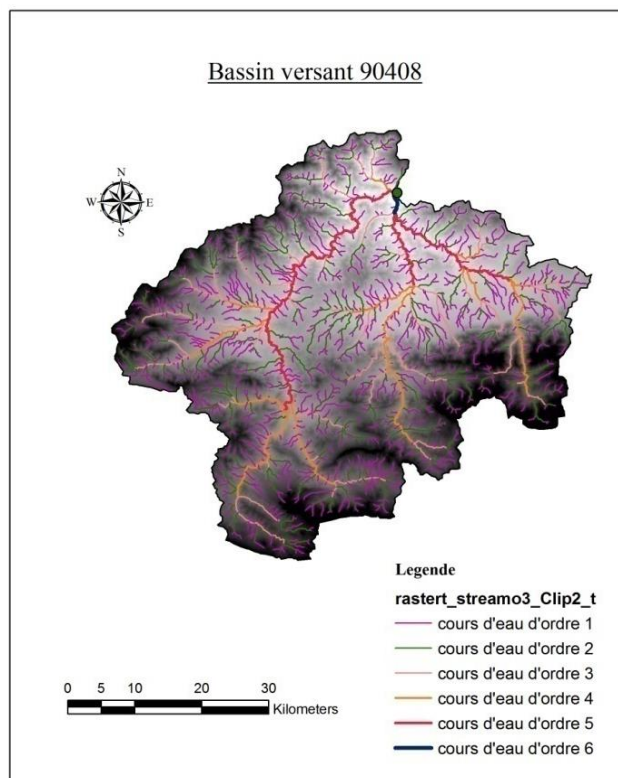


Figure (II.7) : Réseau hydrographique du bassin 90408.(Zeggane, 2017)

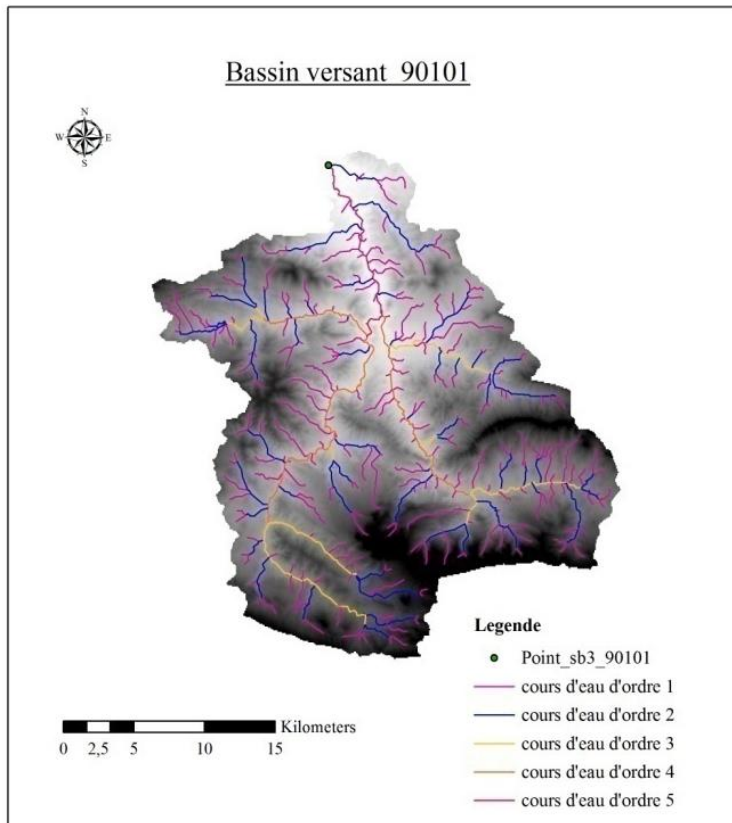


Figure (II.8) : Réseau hydrographique du bassin 90101.(Zeggane, 2017)

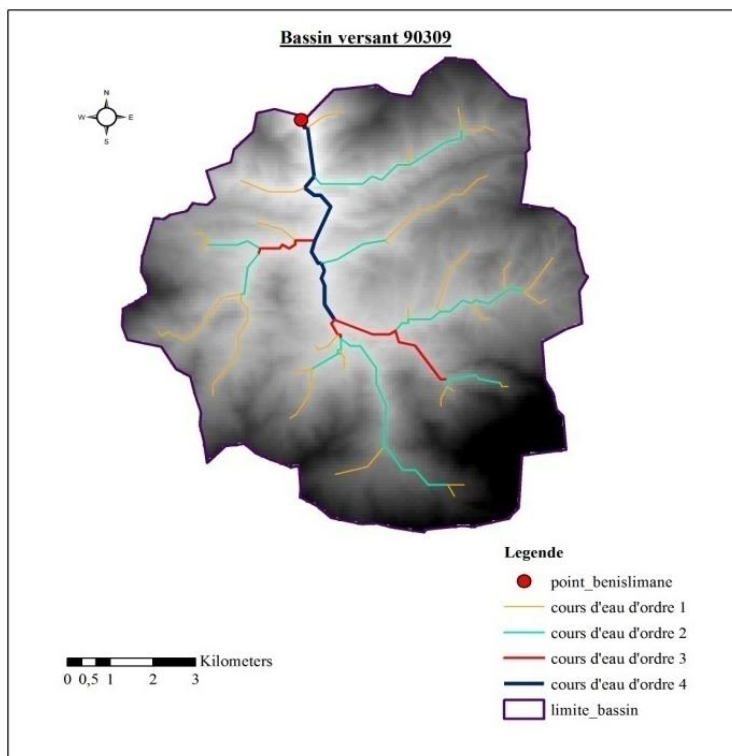


Figure (II.9) : Réseau hydrographique du bassin 90309.(Zeggane, 2017)

Les principales caractéristiques des réseaux hydrographiques des quatre sous bassins sont présentées dans le tableau II.5.

Tableau (II.5) : Caractéristiques hydrographiques des quatres bassins

0905			0904		0901		0903	
Ordres	Nb C d'eau	L(Km2)	Nb C d'eau	L(Km2)	Nb C d'eau	L(Km2)	Nb C d'eau	L(Km2)
1	1620	1487,29	1167	1110,57	303	285,9	29	25,66
2	747	718,79	564	548,41	175	151,9	18	19,59
3	381	334,23	303	266,48	71	48,2	7	5,58
4	277	221,97	192	156,56	64	47,9	6	<b>5,58</b>
5	137	101,87	135	99,36	28	<b>16,6</b>	**	**
6	100	<b>84,1</b>	5	<b>3,91</b>	**	**	**	**

Avec : Nb C d'eau : Nombre des cours d'eau aux nœuds pour chaque ordre et L (km<sup>2</sup>) : longueur du cours d'eau pour chaque ordre.

La longueur des cous d'eau principaux des différents bassins versants sont 84.1 km, 3.91, 16.6 et 5.58 respectivement pour les bassins 0905, 0904, 0901 et 0903. La figure (II.10) montre le profile en long du cour d'eau principal.

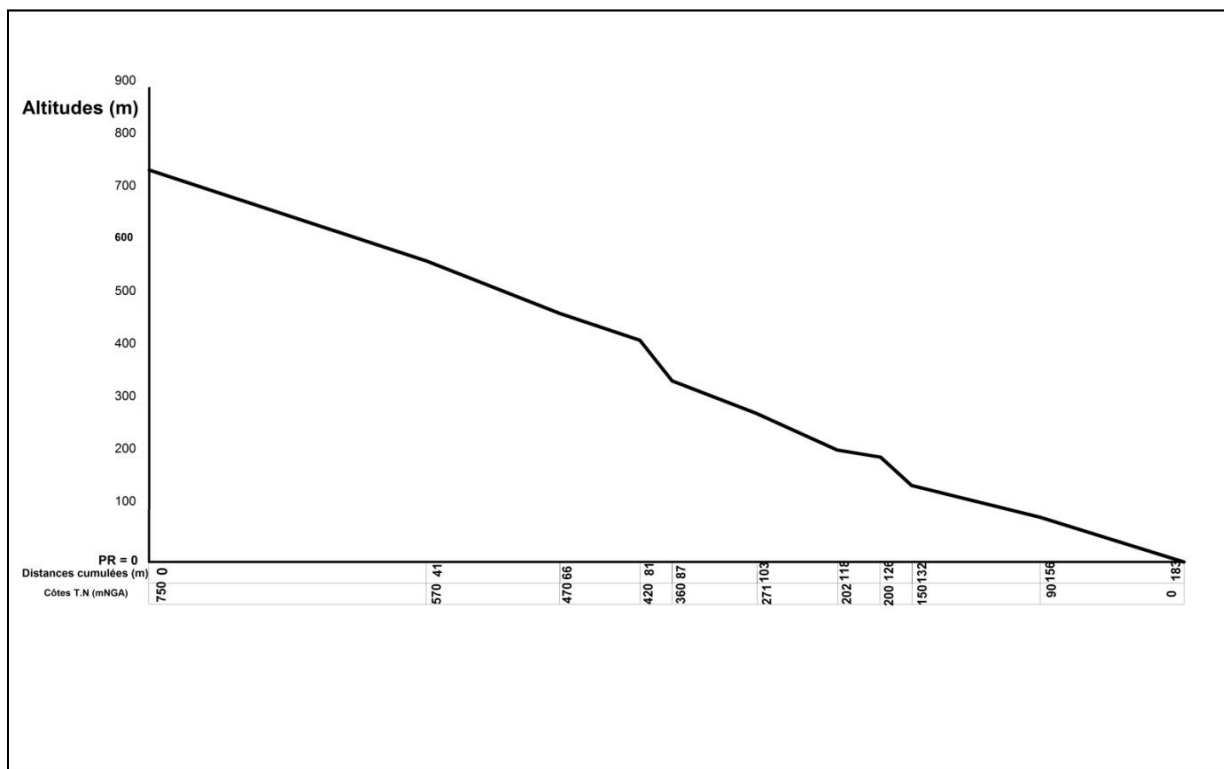


Figure (II.10) : Profile en long du cour d'eau principal Isser

**II.3.3.2 Densité de drainage Dd**

C'est le rapport de la longueur totale des talwegs à la surface du bassin versant, elle est exprimée en Km/Km<sup>2</sup>.

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{S} \dots\dots\dots(II.11)$$

Avec :  $\sum_{i=1}^n l_i$ : Longueur totale cumulée des talwegs.

S : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

**II.3.3.3. coefficient de torrentialité**

$$C_t = F_t \cdot D_d \dots\dots\dots(II.12)$$

Avec :  $F_t$  : Fréquence des talwegs élémentaires :  $F_t = \frac{N}{S}$ .

N : Nombre des talwegs d'ordre 1.

**II.3.3.4. Temps de concentration**

C'est le temps que met une goutte de pluie la plus éloignée pour arriver à l'exutoire. Il peut être calculé par la formule de Giandotti.

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

Avec : L : longueur du talweg principal qu'est égale à 82Km

Le tableau (II.6) résume les caractéristiques hydrographiques des quatres sous bassins de l'Oued Isser.

Tableau (II.6) : Caractéristiques hydrographiques des quatres sous bassins

	Paramètres		Sous bassins				
	Symbole	Unité	0901	0903	0904	0905	
caractéristiques de forme	S	Km2	665	73	2570	3615	
	P	Km	110	41	210	270	
	Kc	-	1,19	1,1	1,16	1,26	
	Rf	-	0,33	0,55	0,22	0,09	
	Kf	-	0,40	0,66	0,36	0,18	
	Re	-	0,65	0,84	0,52	0,34	
	Rc	-	0,69	0,55	0,73	0,62	
	L	Km	37	9,55	66,1	98,2	
	caractéristiques topographiques	Hmax	m	1467	1810	1810	1810
		Hmin	m	595	810	349	90
Hmoy		m	750	940	843	710	
D		m	872	1000	1461	1720	
Ds		m	499,71	742,96	679,50	517,07	
Ig		%	19,38	86,96	13,40	8,60	
Ip		%	15,00	22,00	12,00	11,00	
Im		%	54	60	51	48,5	
Hydrographiques	Dd	Km/Km2	3,03	2,4	3,2	3,6	
	Ct		19,39	17,5	23,98	29,5	
	Lcp	Km	45	11,5	109	200	

## II.3.4 Lithologie du bassin versant :

Du point de vue géologique, le bassin Isser au droit de la station de Lakhdaria est composé, de 39% de schiste avec calcaire et 5 % d'argilite et argile (voir figure II.11). Les schistes avec calcaire sont des roches du crétacé moyen, du crétacé supérieur et de l'éocène, elles sont hautement fissiles, tendres et érodables, les eaux de ruissellement peuvent provoquer le ravinement, sur les schistes dont pendage est plus faible (généralement entre 10 et 20°). Les argilites et argiles sont des dépôts du miocène et du pliocène inférieur, elles sont tendres, les pentes sont douces et convexes selon des pendages compris entre 5° et 20°, l'eau de ruissellement provoque rapidement le ravinement (BINNIE et al,1983).

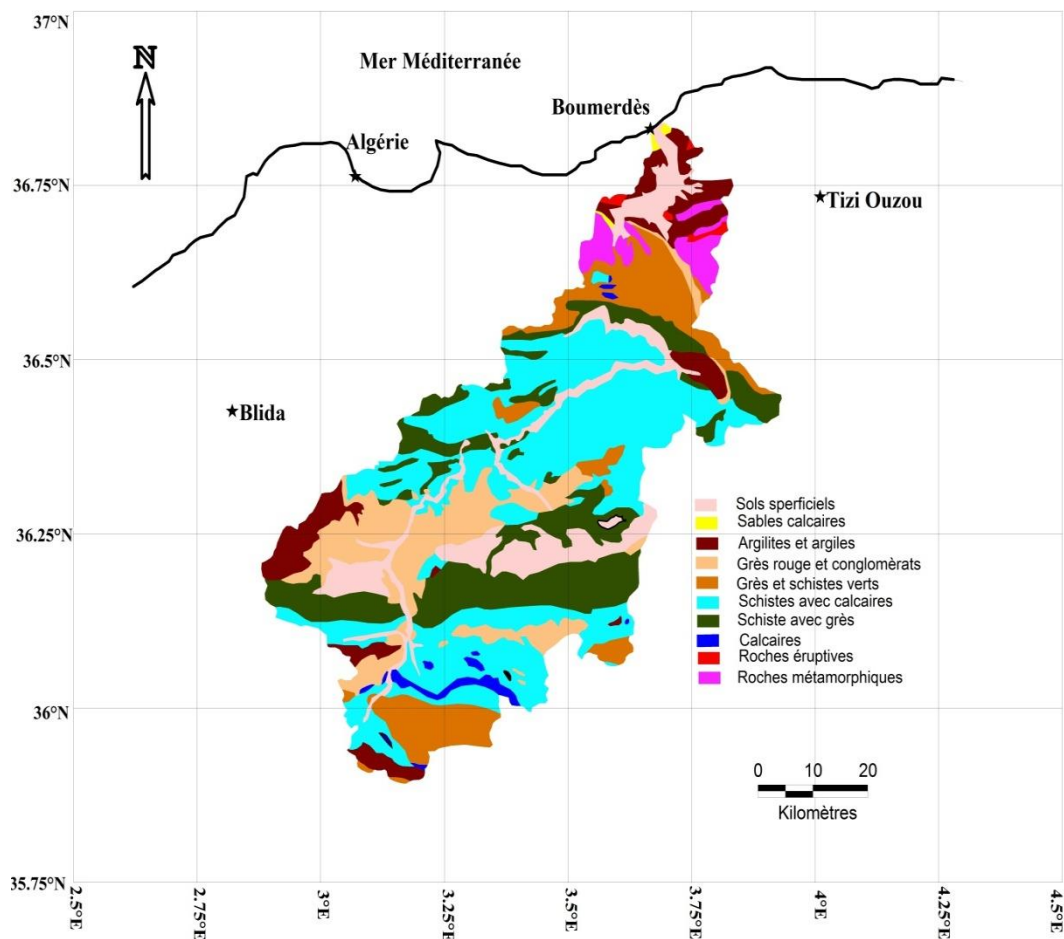


Figure (II.11) : .Lithologie du bassin versant

**II.3.4.1 Le Haut Isser :**

Le haut Isser est constitué à 60% de formation marneuse et marno- calcaire appartenant au crétacé inférieur, moyen et supérieur. Les argiles et sable rouge de l'aquitainien continental occupent 13 % du bassin. On y trouve également des alluvions en terrasses du quaternaire continental. Ces formations occupent 12% de la surface du bassin. Des époinçements triasiques dans le crétacé supérieur ont provoqué la salure des eaux de l'oued Mellah. Ces marnes qui constituent 69 % de la superficie totale, se fissurent et craquent par déshydratation pendant la saison sèche. Elles s'altèrent sur plusieurs centimètres en formant un tapis des gravillons mêlé de poussière argilo- calcaire qui partent en débâcle aux premières averses orageuses de la saison de pluie. Ces formations sont assez facilement érodables.

**II.3.4.2 Le Moyen Isser :**

Les schistes argileux, les marnes grises et schisteuses avec des couches de grés occupent 70 % du moyen ISSER. Ces formations appartiennent au crétacé inférieur, moyen de supérieur. On rencontre l'oligocène marin dont les formations sont présentées par des conglomérats, grés et marnes constituent 13.41% de la superficie totale de bassin. Le miocène inférieur est représenté par des grés et marnes ; ces formations constituent 4 % du bassin. Les alluvions du quaternaire continentales occupent 6,90% de la superficie totale. On note la présence des traces de trias marin ou lagunaire formant 0,6 % du bassin. Le moyen Isser présente en général des formations meubles, facilement érodables.

**II.3.4.3.Le Bas Isser :**

Le bas Isser est constitué de 43.15% des formations marneuses des grés et des conglomérats, appartenant à l'oligocène marin. Le miocène inférieur marin dont les formations sont des grés et des marnes constituant 14,91% du bas Isser. Les schistes cristallins et micacés sont respectivement des schistes à chlorite et à séricine et quartz à biotite, formant 19,84% de la superficie totale. Le crétacé inférieur occupe 2,11 % du bassin. Ces formations sont représentées par des schistes argileux, des marnes grises et des grés ; Les alluvions de quaternaire continentales occupent 18.6 % du bas Isser.

On y trouve des granites formant 1.93 % de la superficie totale. Ces formations dures 'conglomérats et granites' donnent au bas Isser, la caractéristique du moins érodable en comparaison avec le haut ISSER.

### **II.3.5 Topographie du bassin Isser :**

#### **II.3.5.1 Le Haut Isser :**

Le haut ISSER dont les lignes de crête se situent entre 1200-1800 m à une altitude moyennes 843 m, 50% de la surface est comprise entre les altitudes 700- 1100 m. Il présente deux arrêtes principales orientées, Sud – Ouest et Nord –Est. L'arrête Nord- Ouest est moins élevée, son altitude passe de 1240 m au KEF-R'MEL à 1971 au Bou mali. L'arrête Sud – Ouest est plus élevée et passe de 1460m à KEF LAKHDAR CHERGUI à la cote 1810 au BJEBLE DIRA, point culminant du bassin.

#### **II.3.5.2 Le Moyen Isser :**

Le relief est plus au moins accentué. Il se situe entre l'altitude 900 à la station LAKHDARIA à 1265m au BJEBLE FOU DA.

#### **II.3.5.3 Le Bas Isser :**

Les altitudes du bas ISSER sont comprises entre 0-1031 sur la bordure du massif occidental de DJURDJURA. Il présente une topographie accentuée. Voir figure II.12

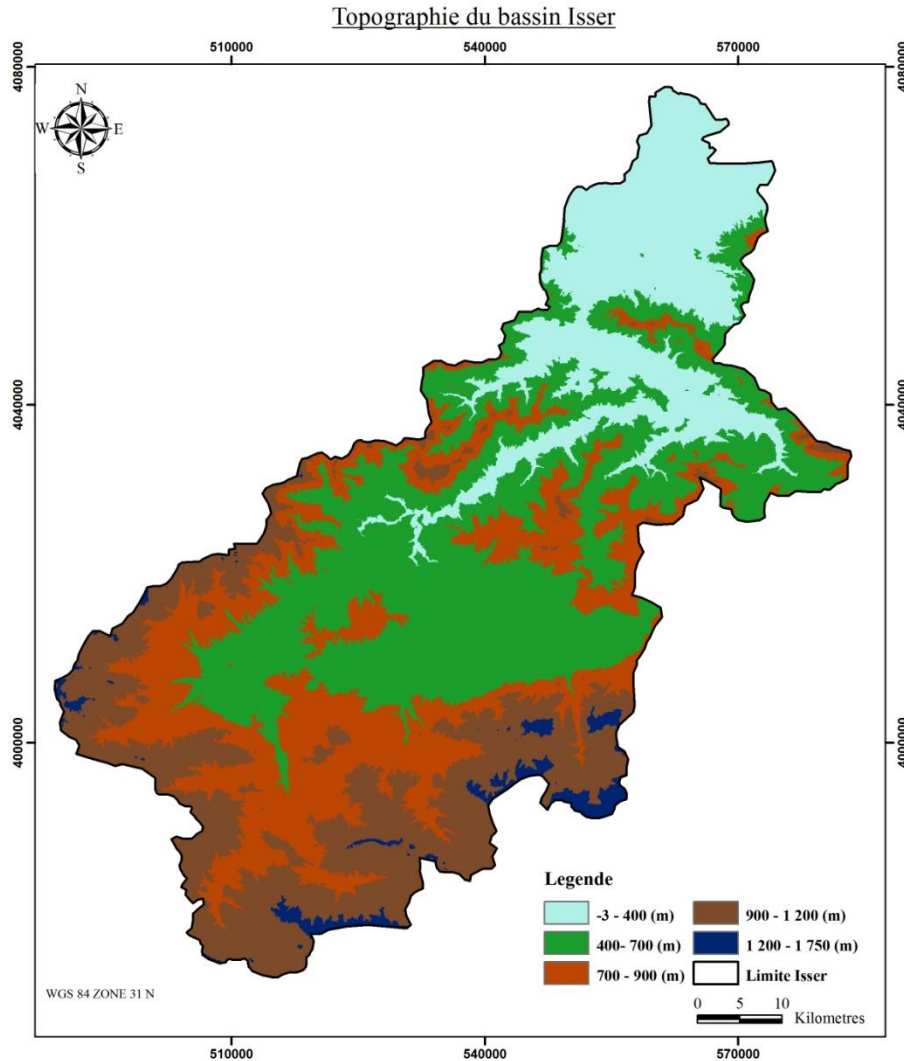


Figure (II. 12) : Lithologie du bassin versant.(Zeggane, 2017)

### II.3 Ressources en eau :

#### II.3.1 Eaux superficielles :

Les potentialités en eaux superficielles du bassin de l'Isser ont été estimées dans le cadre de l'étude du plan national de l'eau pour une période de référence allant de 1910 à 1993.

Le débit spécifique moyen pour toute la surface du bassin est estimé à 165 mm/an ce qui donne un potentiel en eau superficielle de 729 Hm<sup>3</sup>/an, soit 17% des potentialités en eau superficielle du bassin Algérois-Hodna-Soummam (voir tableau II.7).

Tableau (II.7) : Potentialités en eau superficielle du bassin Isser (période 1910-1993)

Bassin versant	Code	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Débit spécifique (mm/an)	Apport annuel (Hm <sup>3</sup> /an)
Isser	09	4 149	165	729

Source ANRH, 2021

### II.3.1.2 Mobilisations :

#### II.3.1.2.1 Retenue collinaire :

Plusieurs retenues collinaires ont été construites tout en long du réseau hydrographique du bassin Isser, en vue de protéger les barrages qui se trouvent à l'aval d'une part et satisfaire les besoins en irrigation de la région d'autre part. La réalisation de retenues collinaires n'a connu un véritable essor qu'à partir de l'année 1982 où un grand programme d'étude et de réalisation decetype d'ouvrage a été initié par le secteur de l'hydraulique visant la satisfaction des besoins des petites exploitations agricoles. Les retenues collinaires dans le bassin de l'Isser sont au nombre de 52 retenues totalisant une capacité de l'ordre de 10 hm<sup>3</sup>. La répartition spatiale de ces retenues par wilaya est donnée dans le tableau ci-après.

Tableau (II.8) : Retenues collinaires et leurs capacités par wilaya

Wilaya	Retenues collinaires	
	Nombre	Capacité x1000 m <sup>3</sup>
Tizi Ouzou	4	630
Boumerdès	12	1 080
Bouira	7	592
Médéa	29	7 949
<b>Total</b>	<b>52</b>	<b>10 245</b>

Source DHW, 2009

Les caractéristiques de quelques unes sont présentées dans le tableau II.9.

Tableau (II.9) : Quelques caractéristiques hydro-morpho-métriques des différents sites (retenues collinaires)

Site	Bs21	Bs12	Bs25	Eo23	Eo18	Bouchiouane	El Mardja El Arida	El Gueria	Djelada
<b>X (Km)</b>	557,6	550,4	547,4	528,75	527,8	585,5	576,8	577,1	597,6
<b>Y (Km)</b>	328,8	327,2	323,8	324,8	322	357,3	335,5	331,2	350,8
<b>Z (m)</b>	598	652,4	662,2	755,7	815	320	622	650	495
<b>S(Km<sup>2</sup>)</b>	3,325	2,875	10	3,765	3,58	0,7	4,7992	3,694	1,4
<b>P (Km)</b>	8,53	7,62	15,75	8,13	9,8	3,7	8,945	7,8	5,26
<b>Kc</b>	1,31	1,26	1,32	1,17	1,2	1,23	1,14	1,13	1,18
<b>L(Km)</b>	3,32	2,73	5,68	2,57	2,71	1,297	2,59	2,17	1,85
<b>l(Km)</b>	1,04	1,05	1,75	1,46	1,31	0,53	1,85	1,7	0,75
<b>Alt max(m)</b>	800	790	860	780	1112	520	750	750	715
<b>Alt min(m)</b>	600	652	680	920	815	320	622	630	450
<b>Alt moy(m)</b>	750	720	770	850	960	425	690	710	600
<b>Im(%)</b>	45	40,2	47,85	61,6	68,3	38,35	75,5	39,9	27,5
<b>Lp(Km)</b>	3,635	2,75	6,25	3,25	3,7	1,5	3,195	3,05	1,8
<b>Dd(Km/Km<sup>2</sup>)</b>	4,41	4,33	4,8	3,2	3,43	6,03	4,95	2,42	3,7
<b>Es (T/Ha.an)</b>	4,7	4,5	5	4,5	6	8	16	8	6

### II.3.1.2.2 Les barrages :

**Barrage Beni Amrane:** Avec une capacité actuelle de 6 Hm<sup>3</sup>, cet ouvrage de prise implanté sur l'oued Isser, est situé à 5 km environ à l'amont de la ville de Thenia, dans la wilaya de

Boumerdès. Les apports de l'oued Isser, sont estimés à 414 Hm<sup>3</sup> pour une superficie du bassin versant de 3 710 km<sup>2</sup>. Après la réalisation du barrage KoudiatAcerdoune, implanté sur le même oued, le barrage Beni Amrane ne drainera que les apports du bassin Intermédiaire soit 370 km<sup>2</sup>. Il est conçu de manière à fournir un stockage de l'oued Isser afin de faciliter le pompage d'eau brute vers les réservoirs de Keddara et éventuellement directement à la station de traitement de Boudouaou.

**Barrage Ladrat:** Le barrage Ladrat implanté sur l'oued du même nom, se trouve à l'Est de Médéa à 5 km environ au Sud-Ouest d'El Oumaria dans la wilaya de Médéa. Les apports de l'oued Ladrat au niveau du barrage sont estimés à 8 Hm<sup>3</sup> pour une superficie du bassin versant de 73 km<sup>2</sup>. D'une capacité actuelle de 9 Hm<sup>3</sup>, ce barrage est destiné à l'irrigation du périmètre de Ladrat.

**Barrage KoudiatAcerdoune:** Ce barrage est situé dans la commune de Maala wilaya de Bouira. En Plus de sa participation à la régularisation du système Isser-Kaddara, ce barrage est destiné à l'alimentation en eau potable de 14 centres urbains et 34 localités à travers le territoire des wilayas : Bouira, Tizi Ouzou, Médéa et M'sila et à l'irrigation de 3 000 ha du périmètre du moyen Isser ainsi qu'au renforcement de la mise en valeur hydro-agricole du périmètre de la Mitidja Centre et Est. Les tableaux II.8 et II.9 présentent les caractéristiques générales des barrages en exploitaion.

Tableau II.10. Caractéristiques des barrages en exploitation (ANBT ,2014).

Nom du barrage	Code SBV	Wilaya	Coordonnées (m)			Oued	S. B.V (km <sup>2</sup> )	Type de barrage	Année M.E.S
			X	Y	Z				
<b>Beni Amrane</b>	905	Boumerdès	570 100	369 750	90	Isser	3 710	Enrochement	1988
<b>Ledrat</b>	902	Médéa	533 300	326 550	650	Ledrat	73,5	Terre	1989
<b>K. Acerdoune</b>	<b>0904</b>	Bouira	580 150	354 700	217	Isser	2 800	BCR	2013

Tableau II.11. Caractéristiques des barrages en exploitation (ANBT,2014).

Nom du barrage	Apport moy ((hm <sup>3</sup> .an <sup>-1</sup> ))	Envasement moy annuel (hm <sup>3</sup> .an <sup>-1</sup> )	Capacité	Volume utile initial	Volume Rég initial (hm <sup>3</sup> .an <sup>-1</sup> )	Capacité totale actuelle (hm <sup>3</sup> )	Usage	Volume affecté
			initiale (hm <sup>3</sup> )	(hm <sup>3</sup> )				(hm <sup>3</sup> .an <sup>-1</sup> )
<b>Beni Amrane</b>	414	4,1	16	11,6	Trans-Keddara	6	Trans-Keddara	110
<b>Ledrat</b>	8	-	10	6,8	4,7	29	-	4,7
<b>K. Acerdoune</b>	246	ND	640	450	178	-	AEP-IRRIG	-

#### II.4 Conclusion

En conclusion de ce chapitre, on peut dire que le comportement hydrologique du bassin versant de l'Oued Isser est lié à plusieurs facteurs physique, lithologique, géomorphologique et hydraulique.

Après avoir présenté la région d'étude des points de vue géographie, climat, température, evapo-transpiration, gelée et vent ; nous avons examiné les différentes caractéristiques morphométriques du bassin (physiques, hydrographique, lithologique et topographique) ainsi que la situation de la ressource en eau dans ce bassin.

Les principaux paramètres du milieu physique analysés ci-dessus fond du bassin une géostructure plus ou moins complexe le rendant très sensible au processus d'écoulement. Cette complexité s'explique en grande partie par la grande variété des faciès géologiques, des formes topographiques, du couvert végétal, des systèmes de pentes et des nuances climatiques. Les formations de sol imperméable (marneux), les terrains accidentés et le pourcentage élevé des sols nus dépourvus de végétation favorisent l'écoulement de surface .

**III.1 Introduction :**

Ce chapitre étudie les débits et traite l'établissement des hydrogrammes de crues ainsi que l'analyse fréquentielle des données max de débit et de précipitation.

**III.2 Etude des débits et des hydrogrammes de crue :****III.2.1 Méthodologie :**

L'étude des hydrogrammes est basée sur les données des débits enregistrées à 5 stations hydrométriques du bassin d'Isser. En raison de son rôle primordial dans l'établissement de l'hydrogramme unitaire synthétique (HUS) il est nécessaire de rappeler la théorie de l'hydrogramme unitaire (HU). La théorie de l'hydrogramme unitaire repose sur les hypothèses suivantes :

- La pluie nette est uniforme sur le bassin versant et constante dans le temps ;
- Les caractéristiques de l'HU sont invariables dans le temps - la durée de l'hydrogramme de ruissellement direct (temps de base) est constante et indépendante de l'intensité de pluie ;
- La réponse du bassin versant aux pluies est linéaire : pour une même durée de référence  $\tau$ , les ordonnées de l'HU sont proportionnelles au volume de la pluie nette ;
- L'hydrogramme unitaire reflète l'ensemble des caractéristiques physiques du bassin versant.

**III.2.2 Présentation des données hydrométriques**

Nous disposons des données des stations hydrométriques dont les caractéristiques sont montrées dans le tableau III.1, les données, en questions, sont les débits maximums, les débits moyens journaliers, les débits minimums les débits instantanés de ces stations de mesure fournies par l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH).

Tableau (III.1) : Caractéristiques des stations hydrométriques

Code stations	Noms	Périodes d'obs	Coordonnées Lambert		S km <sup>2</sup>	P km	Recéq L (km)	Altitudes (m)			Ip roche %	Dd Km.km <sup>-2</sup>
			x (km)	y (km)				min	max	moy		
09.01.01	MEZAHIM	1973-1993	539,7	322,65	665	110	37	585	1467	342	0,15	3,03
09.03.05	BENI SLIMANE	1973-1996	557,6	322,25	273	71	24,2	600	1371	940	0,13	2,4
09.03.09	DECHMIA	1972-1984	578,3	316,45	73	41	9,55	810	1810	1144	0,32	3,8
09.05.01	LAKHDARIA	1966-2000	579,1	368,75	3615	270	98,2	90	1810	750	0,11	3,6
09.04.08	LA TRAILLE	1970-1984	559,3	343,25	2570	210	66,1	349	1810	843	0,12	3,2

S : Superficie en km<sup>2</sup>, P : Périmètres en km, Recéq (L) : Longueur du rectangle équivalent, Ip : Indice de pente globale (indice de roche) en %, Dd : Densité de drainage (km.km<sup>-2</sup>), Ct : Coefficient de torrentialité, Périodes d'obs : Périodes d'observations en années hydrologiques.

L'emplacement de ces stations hydrométriques est donné par la figure (III.1).

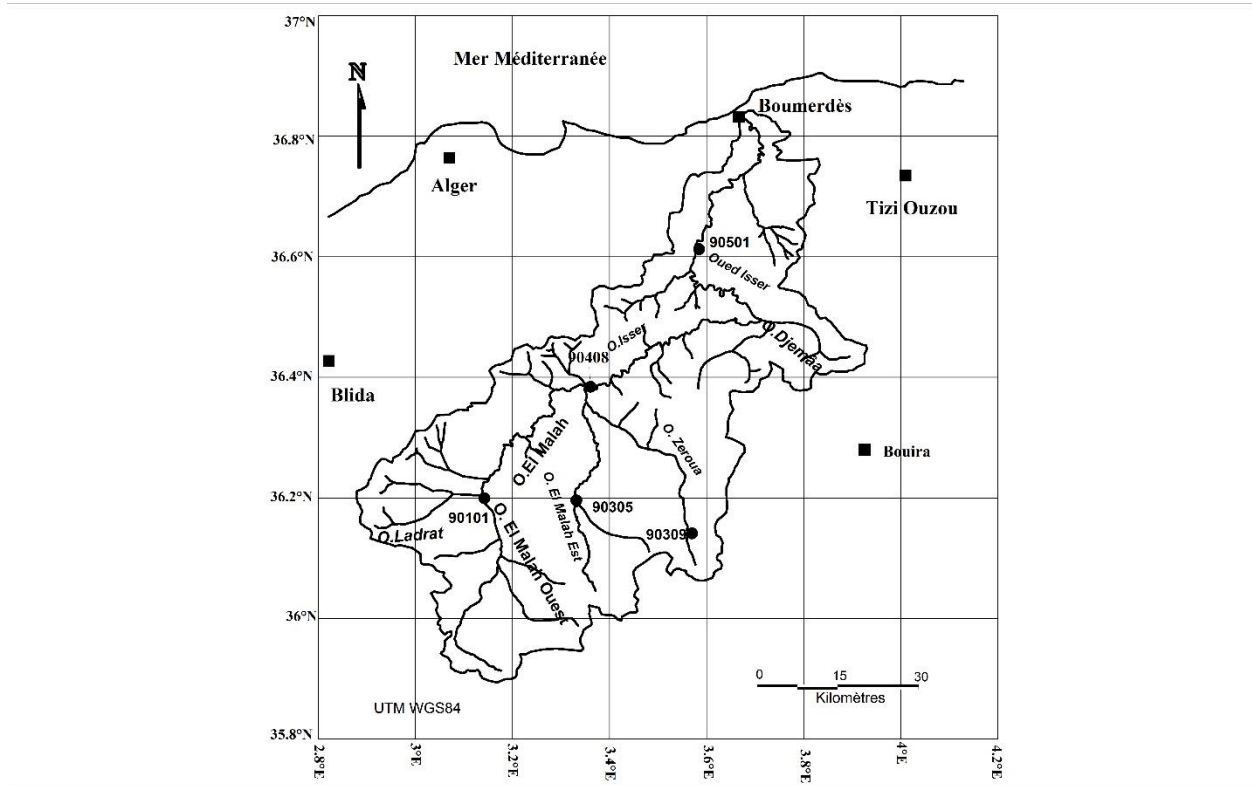


Figure (III.1) : Emplacement des stations hydrométriques

### III.2.3 Méthodologies de calcul des hydrogrammes de crues

Les hydrogrammes de crues sont sélectionnés dans le jeu de données pour les différentes stations hydrométriques du bassin. En général, la sélection s'effectue en deux étapes essentielles :

**1<sup>ère</sup> étape :** Identification de la date et l'heure de début de ruissellement à partir de l'hydrogramme de crue (augmentation brutale au début de l'évènement). Le tableau (III.2) montre un exemple de crue mesurée à la station de Lakhdaria le 20 février 1991.

Tableau (III.2) : Crue 20-02-1991(station de Lakhdaria 090501)

Temps (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Temps (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Temps (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Temps (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
0	7,07	30	78,5	63	21,75	119	11,83
1	9,96	31	72,08	65	20,75	121	11,66
2	11,66	32	68,4	30	78,5	123	11,66
3	13,8	33	65,18	69	19	125	10,3
3,92	16,2	34	63,8	71	18,75		
5	16,4	35	63,34	73	18,25		
6	20	36	61,96	75	17,6		
7	24,8	37	61,04	77	17,2		
8	35,3	38	58,74	79	16,6		
9	51,38	39	56,9	81	16,2		
10	84	40	51,84	83	15,6		
11	134,4	41	43	85	15,2		
12	220,3	42	39,5	87	14,8		
13	311,2	43	40,2	89	14,4		
14	343,55	44	38,8	91	14,2		
15	424,3	45	37,75	93	14		
16	390,1	46	37,05	95	14		
17	331,6	47	35,65	97	13,8		
20	301	48	34,6	99	13,6		
21	309,5	49	33,2	101	13,2		
22	297,6	50	32,85	103	13		
23	270,4	51	31,1	105	12,8		
24	231,1	52	30,75	107	12,6		
25	184,5	53	29,7	109	12,6		
26	146,24	55	27,8	111	12,4		
27	116,56	57	26	113	12,2		
28	99,16	59	24,5	115	12		
29	87	61	23	117	12		

**2<sup>ème</sup> étape :** Identification de la date de fin de ruissellement par la méthode graphique. Cette identification s'effectue comme suit :

- 1- Tracer de la courbe  $Q=f(t)$  ;
- 2- Tracer de la courbe  $\text{Ln}(Q)=f(t)$  ;
- 3- Cherche le point d'inflexion (changement de direction) de la courbe descendante de  $\text{Ln}(Q)=f(t)$  ;
- 4- Tracer deux droites , une après le point d'inflexion qui va passer sur le maximum de points, une autre avant le point d'inflexion ;
- 5- Chercher le point d'intersection des deux droites ;
- 6- Projection de ce point d'intersection des deux droites sur la courbe  $Q=f(t)$ , ce point est le point de fin de ruissellement.

Le tableau (III.3) montre les données de la crue du 20 février 1991 en valeurs réels et logarithmiques. La figure (III.4) illustre les courbes  $Q=f(t)$  et  $\text{Ln}(Q)=f(t)$  et la méthode employée dans l'identification du point de la fin de ruissellement.

Tableau (III.3) : Crue du 20 février 1991 en valeurs réels et logarithmiques (station de Lakhdaria 090501)

Temps (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	LnQ	Temps (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	LnQ	Temps (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	LnQ	Temps (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	LnQ
0	7,07	1,9558	30	78,5	4,3630	63	21,75	3,0796	119	11,83	2,470
1	9,96	2,2985	31	72,08	4,2777	65	20,75	3,0325	121	11,66	2,456
2	11,66	2,4561	32	68,4	4,2253	30	78,5	2,9957	123	11,66	2,456
3	13,8	2,6246	33	65,18	4,1771	69	19	2,9444	125	10,3	2,332
3,92	16,2	2,7850	34	63,8	4,1557	71	18,75	2,9311			
5	16,4	2,7972	35	63,34	4,1485	73	18,25	2,9041			
6	20	2,9957	36	61,96	4,1264	75	17,6	2,8678			
7	24,8	3,2108	37	61,04	4,1115	77	17,2	2,8449			
8	35,3	3,5638	38	58,74	4,0731	79	16,6	2,8094			
9	51,38	3,9392	39	56,9	4,0412	81	16,2	2,7850			
10	84	4,4308	40	51,84	3,9481	83	15,6	2,7472			
11	134,4	4,9008	41	43	3,7612	85	15,2	2,7212			
12	220,3	5,3949	42	39,5	3,6763	87	14,8	2,6946			
13	311,2	5,7404	43	40,2	3,6938	89	14,4	2,6672			
14	343,55	5,8393	44	38,8	3,6584	91	14,2	2,6532			
15	424,3	6,0504	45	37,75	3,6309	93	14	2,6390			
16	390,1	5,9664	46	37,05	3,6122	95	14	2,6390			
17	331,6	5,8039	47	35,65	3,5737	97	13,8	2,6246			
20	301	5,7071	48	34,6	3,5438	99	13,6	2,6100			
21	309,5	5,7349	49	33,2	3,5025	101	13,2	2,5802			
22	297,6	5,6957	50	32,85	3,4919	103	13	2,5649			
23	270,4	5,5999	51	31,1	3,4372	105	12,8	2,5494			
24	231,1	5,4428	52	30,75	3,4258	107	12,6	2,5336			
25	184,5	5,2176	53	29,7	3,3911	109	12,6	2,5336			
26	146,24	4,9852	55	27,8	3,3250	111	12,4	2,5176			
27	116,56	4,7584	57	26	3,2580	113	12,2	2,5014			
28	99,16	4,5967	59	24,5	3,1986	115	12	2,4849			
29	87	4,4659	61	23	3,1354	117	12	2,4849			

Tableau (III.4) : Hydrogramme sélectionné du 20 février 1991 observé à la station de Lakhdaria

Temps à partir de zero	Temps (heures)	Débits en m3/s)
0	6	20
1	7	24,8
2	8	35,3
3	9	51,38
4	10	84
5	11	134,4
6	12	220,3
7	13	311,2
8	14	343,55
9	15	424,3
10	16	390,1
11	17	331,6
14	20	301
15	21	309,5
16	22	297,6
17	23	270,4
18	24	231,1
19	25	184,5
20	26	146,24
21	27	116,56
22	28	99,16
23	29	87
24	30	78,5
25	31	72,08
26	32	68,4
27	33	65,18
28	34	63,8
29	35	63,34
30	36	61,96
31	37	61,04
32	38	58,74
33	39	56,9
34	40	51,84
35	41	43
36	42	39,5

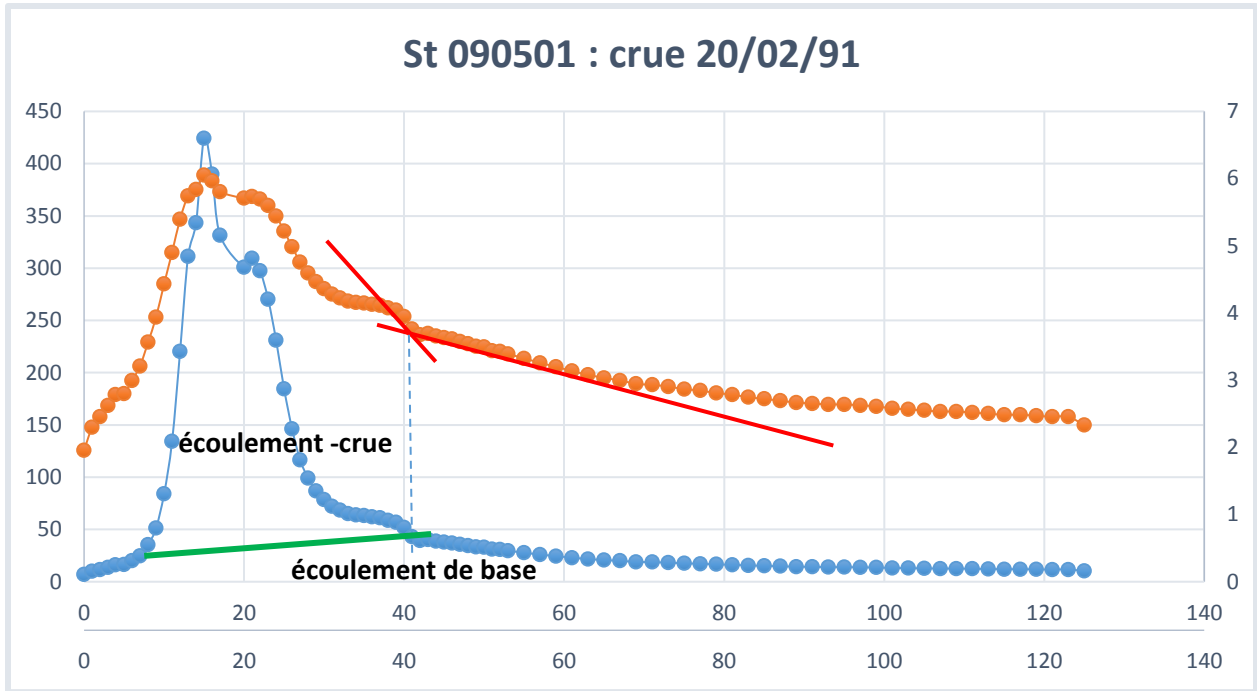


Figure (III.2) : Identification de la date de fin de ruissellement par la méthode graphique

On gardera pour la suite du travail uniquement l'hydrogramme crue, sans écoulement de base.

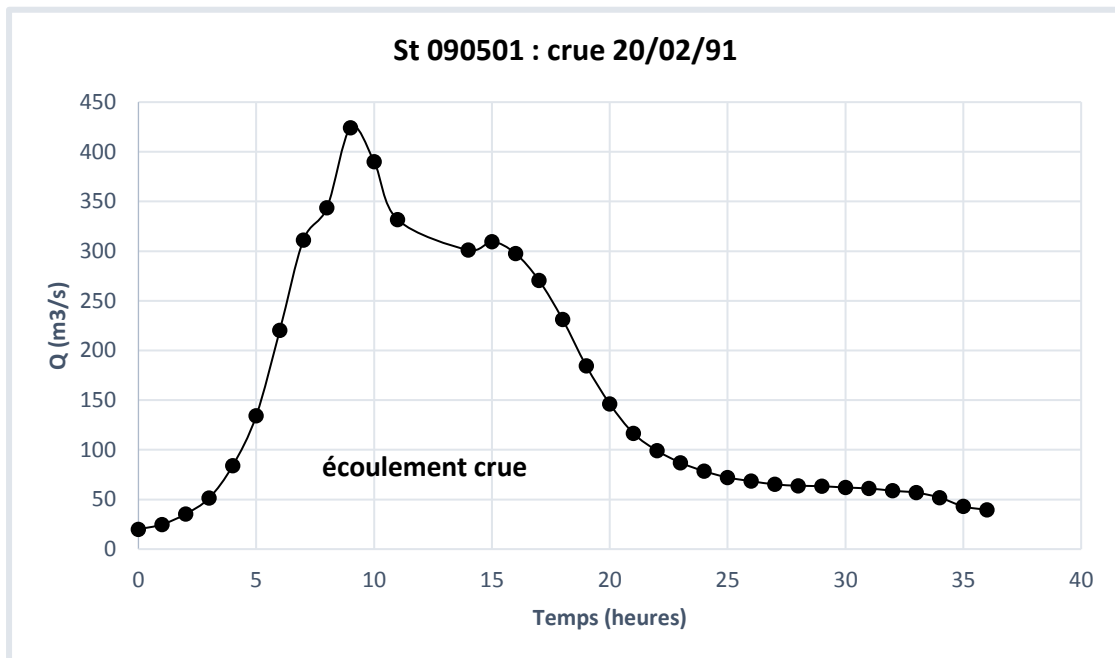
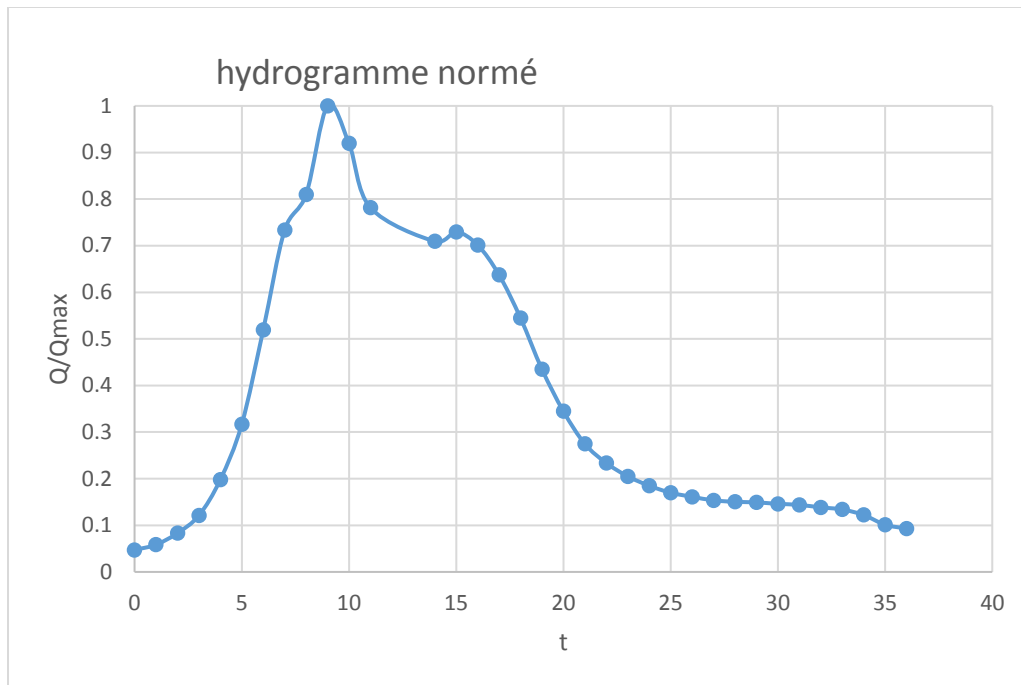


Figure (III.3) : Hydrogramme de crue  $Q = f(t)$

**3<sup>ème</sup> étape :** Détermination de l'hydrogramme normé en divisant toutes les valeurs de débit  $Q_i$  sur le débit max de la crue ( $Q_{max} = 424.3 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Le tableau (III.5) montre le calcul de l'hydrogramme normé et la figure (III.4) illustre l'hydrogramme obtenu.

**Tableau (III.5): détermination de l'hydrogramme normé**

	Temps (heures)	Débits en ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q/Q_{max}$
-9	0	20	0,04713646
-8	1	24,8	0,05844921
-7	2	35,3	0,08319585
-6	3	51,38	0,12109357
-5	4	84	0,19797313
-4	5	134,4	0,31675701
-3	6	220,3	0,51920811
-2	7	311,2	0,73344332
-1	8	343,55	0,80968654
<b>0</b>	<b>9</b>	<b>424,3</b>	<b>1</b>
1	10	390,1	0,91939665
2	11	331,6	0,78152251
3	14	301	0,70940372
4	15	309,5	0,72943672
5	16	297,6	0,70139053
6	17	270,4	0,63728494
7	18	231,1	0,5446618
8	19	184,5	0,43483384
9	20	146,24	0,3446618
10	21	116,56	0,27471129
11	22	99,16	0,23370257
12	23	87	0,2050436
13	24	78,5	0,18501061
14	25	72,08	0,1698798
15	26	68,4	0,16120669
16	27	65,18	0,15361772
17	28	63,8	0,15036531
18	29	63,34	0,14928117
19	30	61,96	0,14602875
20	31	61,04	0,14386048
21	32	58,74	0,13843978
22	33	56,9	0,13410323
23	34	51,84	0,1221777
24	35	43	0,10134339
25	36	39,5	0,09309451



**Figure (III.4) : Hydrogramme normé de la crue du 20 février 1991 observée à la station de Lakhdaria**

### III.3 Dépouillement des données hydrogrammes de crues :

Pour le cas du bassin d'Isser, pour chaque sous bassin versant (05 bassins), nous avons collecté plusieurs hydrogrammes des débits (en période de crue) les plus élevés. Pour le cas des pays tempérés, aride et semi-aride, les pluies sont généralement de type orageux, par conséquent elles génèrent des hydrogrammes uniformes sur les bassins versants. Nous présentons dans les tableaux (III.6), (III.7), (III.8), (III.9) et (III.10) quelques hydrogrammes bruts observées au niveau des stations Pont de la traïlle (90408), Lakhdaria ((090501), Dechmia (090309). Beni Slimane (090305) et Mézahim (090101), respectivement.

Tableau (III.6) : Hydrogrammes de crues observés à la station Pont de la traillé (90408)

Date de la crue	Montée					Max	Décrue												
	5	4	3	2	1		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
31/03/1971					3,48	<b>35,9</b>	28,9	9,3	6,47	5,57	4,44	3,86							
101/10/70			0	0,6	1,26	<b>18,9</b>	1,89	1,89	1,7	0,92	0,79	0,6	0,6						
14/01/1971		1,62	4,62	5,51	10,31	<b>13,2</b>	9,3	9,51	7,16	6,84	4,24	3,35							
12/07/1971			0,1	0,16	2,02	<b>14,7</b>	2,01	1,06	0,83	0,62	0,57	0,51	0,51	0,46	0,46				
27/11/1971				0,46	2,83	<b>369,6</b>	98,08	16,36	8,92	25,78	9	6,1	7,6	5,3	3,82				
28/03/1972			7,66	8,12	8,12	<b>33,09</b>	19,8	16,2	13,9	11,7	12,8								
29/04/1972			7,2	12,41	20,84	<b>135</b>	27,24	22,58	22,6	21,12	21,12	24,8	38,1	8,38	8,38	6,5	5,14	5,14	
24/09/1972				2,09	17,72	<b>44,66</b>	13,32	11,94	8,49	1,22	1,67	1,06	0,8	0,9	0,9				
31/01/1973		3,56	2,73	39,55	82,72	<b>203,6</b>	122	62,62	38,7	20,93	7,79	4,9							
22/04/1973				14,3	18,24	<b>109</b>	84,99	75,5	40,4	30,6	25,07	21,9	21,9	18,2	18,2	16,4	15,8	14	
23/12/1973				0,56	20,35	<b>66,28</b>	5,54	3,02	2,64	2	2	1,72	1,58	1,58					
21/02/1974				14,78	30,43	<b>125,4</b>	101	34,23	28	15,5	13,6	12,2	10,6	9,4	9	8,16	7,6	6,82	
27/03/1974			3,5	9,95	214,4	<b>635,9</b>	357	116,1	61,3	37,9	57,95	41,2	32,5	25,7	22,6	20,2	18,2	16,7	15
28/12/1973			1,3	2,34	2,32	<b>29,3</b>	5,04	3,9	2,8	2,44	2,2	2,2	2,2						
27/04/1974			9,2	12,4	12,4	<b>33,81</b>	14,26	10,4	9,2	8,4	8,08	7,44	9,12	4,72	4,72	4,24			
23/10/1974					<b>0,9</b>	<b>35,62</b>	<b>33,77</b>	<b>4,18</b>	<b>2,8</b>	<b>2,5</b>	<b>2,2</b>	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>	<b>1,9</b>					
14/02/1975				1,68	14,2	<b>90,08</b>	63,57	20,53	9,24	8,12	6,52	5,08	4,6	3,76	3,34	2,92	2,5		
18/03/1975		1,1	3,21	10,89	37,89	<b>86,07</b>	50,65	35,25	22,4	16,92	14,04	13,3	12	12	12	10,4	8,68	6,04	6
03/11/1975					0,3	<b>44,6</b>	3,8	2,36	2,12	1,88	1,64	1,4	1,05	0,7					
20/12/1975			1,58	2,53	5,12	<b>27,09</b>	6,79	6,05	7,85	7,06	5,06	4,84	4,4	3,96	2,6				
18/12/1979				0,15	0,31	<b>174,6</b>	13,88	3,48	2,14	1,96	1,6	1,6							
04/03/1980				4,02	9,56	<b>123,9</b>	29,67	15,88	13,4	11,2	11,2								
16/04/1980				6,5	8,82	<b>16,58</b>	9,79	7,91	6,5	6,5	6,16								
28/04/1980				4,8	16,81	<b>63,62</b>	35,96	10,59	7	8,84	7	7	6,55	6,1					
15/12/1980	0,61	1,03	20,29	70,19	35,42	<b>116,3</b>	19,11	10,02	7,25	5,8	5,34	4,88	5,5						
17/04/1982					2,87	<b>15,21</b>	10,5	4,65	3,55	3	2,73	3,83	2,73	2,45					
22/12/1982		5,95	10,22	19,92	20,29	<b>67,83</b>	45,75	21,38	14,2	11,44	11,44	7,3	6,81	6,31	6,31	6,31	5,82		
28/10/1982				0,26	9,94	<b>32,52</b>	6,23	3,27	2,18	2,18	3,51	2,18	2,18	2,18	1,97	1,97			
08/03/1984	2,34	2,96	6,92	7,99	10,75	<b>16,45</b>	11,44	7,99	7,3	6,81	6,31	5,32	5,32	5,32					
<b>Médian</b>	1,475	2,29	4,06	5,51	10,31	<b>44,7</b>	19,11	10,02	7,3	6,84	6,16	4,86	4,96	4,72	4,72	6,5	7,6	6,82	10

Tableau (III.7) : Hydrogrammes de crues observés à la station de Lakhdaria (090501)

Oued Isser ( station 09-05-01) S = 3615																						
HYDROGRAMMES REELS m3/s																						
Date	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
13 au 19 déc 88					9,83	<b>304</b>	153	26,8	13,4	10,2	8,83											
19 déc au 4 janv 89				8,83	12,8	<b>57,3</b>	44,8	16,7	11,2	9,74	8,56	8	7,17	6,78	6,13	5,72	5,44	5,16	4,88	4,6		
5 au 20 mars 88					1,39	<b>60,1</b>	31,2	19,8	11,8	8,38	5,24	3,92	3,46	3,06	3,06	2,52	2,2	2,1	1,79	1,41		
10 au 24 oct 87					0,69	<b>31,2</b>	12,2	3,09	1,41	1,08	0,741	0,545	0,398	0,236	0,14	0,14	0,126	0,126	0,112			
13 au 26 nov 87				1,93	2,19	<b>32,3</b>	18,9	4,41	2,09	1,31	1,08	1,01	0,862	0,862	0,79	0,741	0,741					
20 au 27 fév 91					8,5	<b>205</b>	51	19,9	14,3	12	11	11,6										
9 au 23 déc 90			0,33	0,51	3,94	<b>78,5</b>	16	9,12	6,46	3,31	1,9	1,3	1,06	0,9	0,81	0,762	0,762					
23 déc au 12 janv 91					0,76	<b>44</b>	22,3	7,6	8,76	8,36	4,47	2,98	2,5	2,02	1,9	1,54	1,54	1,54	1,42	1,42	1,3	
12 au 30 janv 91				0,98	16,5	<b>57,9</b>	15	7,73	4,98	4,02	3,58	3,46	3,1	2,98	2,74	2,74	2,62	4,03	3,33	2,82	2,74	2,64
29 mars au 15 avr 91				5,94	6,72	<b>41,5</b>	24,6	13,3	10,7	10,2	11,3	12	10,1	8,02	6,9	6,26	5,94	5,62	5,62	5,46	4,98	
8 au 12 mars 84				4,42	8,75	<b>41,1</b>	15,3	9,84	7,92													
15 au 27 juillet 90				0	1,45	<b>190</b>	11,2	3,66	2,02	0,98	0,67	0,436	0,244	0,16	0,12	0,103						
30 avr au 10 mai 90			0,22	7,17	17,8	<b>55,8</b>	34,1	28,9	15,5	14,4	5,94	3,22	2,5									
9 au 16 oct 84				1,9	8,17	<b>126</b>	37,2	11,1	6,39	3,37	2,7											
27 déc au 5 janv 85				3,87	35,6	<b>118</b>	108	84,5	56,4	29,2	25,3	21,9	17,8									
4 au 11 fév 87				20,3	85,6	<b>249</b>	67,5	39,9	32,2	28,1	25,3											
11 au 18 fév 87				25,3	40,4	<b>229</b>	83,3	55	40,7	36,4	30,4											
9 au 14 déc 86				1,18	34,6	<b>192</b>	30,6	8,46	4,3													
16 au 30 janv 87				9,43	46,6	<b>62,8</b>	35,1	24,4	19,8	18,3	16,8	14,6	13,3	10,8	10,2	10,2	10	9,63				
23 oct au 5 nov 86			0,49	1,61	1,8	<b>52,7</b>	6,19	2,71	2,16	2,3	2,16	2,16	1,82	1,71	0,4	0,4						
23 janv au 11 fév 92			0,37	2,34	54,7	<b>373</b>	122	50,3	22,4	12,3	10,3	7,58	6,26	5,46	4,66	4,18	3,7	3,58	3,34	3,34	2,98	2,86
5 au 26 avr 92	3,7	4,32	5,94	39	214	<b>327</b>	123	37,3	24,4	18,7	15,1	13,6	18,7	15,1	12,1	10,6	9,45	8,6	7,75	7,58	7,41	6,58
4 au 15 oct 91					0,01	<b>42,7</b>	22,3	3,4	1,46	0,61	0,368	0,3	0,188	0,122	0,06	0,035						
2 au 20 mai 92			4,98	6,29	65,7	<b>112</b>	29,3	16,2	20,1	14,3	11,5	10,5	8,94	8,09	7,58	6,9	6,42	5,78	5,62	5,14	4,98	
<b>Médian</b>	3,7	4,32	2,05	7,83	28,3	<b>128,454</b>	46,42	21	14,2	11,3	9,238	6,617	5,788	4,42	3,84	3,523	4,078	4,617	3,762	3,971	4,07	4,03

Tableau (III.8) : Hydrogrammes de crues observés à la station Déchmia (090309)

Station DECHMIYA 09-03-09																
HYDROGRAMMES REELS																
m3/s																
Date	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
29/02/74					0,24	23,76	<b>53,89</b>	34,64	5,04	2,5	2,79	2,15	1,68	1,36	1,14	0,96
21/02/1974					0,37	0,52	<b>6,57</b>	4,48	1,65	1,14	1,68	1,42	0,93	0,79	0,86	0,79
21/03/1975		0,21	0,34	0,35	0,49	6,88	<b>8,26</b>	5,13	1,74	1,73						
10/03/1976					0,22	0,48	<b>7,45</b>	0,98	0,7	0,79	0,79	0,48				
05/12/1976						0,09	<b>6,87</b>	0,14	0,06	0,05	0,03					
05/04/1978				0,2	0,38	1,74	<b>6,42</b>	0,85	0,61	0,614	0,34	0,31				
02/03/1979					2,92	3,42	<b>10,36</b>	6,51	3,59	2,92	2,69	1,94	1,09	0,78	0,64	
18/12/1979						0,02	<b>23,1</b>	9,1	0,01	0,01	0,01					
04/03/1980					0,1	3,16	<b>13,59</b>	1,09	0,64	0,53	0,53	0,53				
11/02/1981					0,15	0,3	<b>9,04</b>	6,63	1,16	0,94	0,94	2,03	2,93	0,94	0,76	
25/02/1982					0,63	3,05	<b>9,54</b>	2,76	1,38	0,94	0,94	0,94	0,94			
26/01/1982				0,92	2,21	2,84	<b>9,1</b>	1,34	1,65	1,75	1,42	1,44				
24/12/1982					0,19	0,49	<b>10,59</b>	2,58	0,62	0,45	0,38	0,38	0,15	0,15		
08/03/1985						0,96	<b>5</b>	1,53	0,69	0,69	0,51	0,47	0,47	0,42	0,42	
<b>Médian</b>	0,21	0,34	0,35	0,37	1,35	9,07	<b>2,67</b>	0,93	0,865	0,79	0,94	0,94	0,79	0,76	0,875	0,79

Tableau (III.9) : Hydrogrammes de crues observés à la station de Beni Slimane (090305)

Date de la crue	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
28/03/1974				0,4	9,23	35,58	<b>40,6</b>	12,94	7,47	5,32	6,39	4,74	3,87	3,29	2,42		
14/02/1975				0,08	0,14	3,01	<b>6,41</b>	1,61	0,7	0,51	0,42	0,37	0,33	0,33	0,33		
01/11/1975				0,02	0,03	0,06	<b>8,26</b>	0,34	0,08	0,06	0,12	0,08	0,06	0,06			
27/05/1977						0,14	<b>6,64</b>	0,36	0,07	0,03							
15/05/1978						0,2	<b>8,22</b>	1,56	0,76	0,7	0,56	0,56	0,56				
09/04/1979						0,42	<b>6,89</b>	2,12	0,95	0,71	0,71	0,79					
18/12/1979						0	<b>37,39</b>	14,64	0,31	0,43	0,25	0,14	0,12	0,12	0,1		
10/02/1980						0,26	<b>11,58</b>	5,52	3,18	4,06	3,99						
04/03/1980					0,63	1,3	<b>19,39</b>	3,1	2,02	1,55	1,43	1,31	2,02	1,43			
28/04/1980					0,45	3,51	<b>8,27</b>	2,47	1,31	0,95	0,95	0,87	0,87	0,87			
21/08/1981					0	0,07	<b>7,34</b>	0,006	0,01	0,01	0						
05/03/1986						0,16	<b>44,43</b>	22,98	8,05	7,35	5,25	4,23	3,21	2,7	2,6		
15/10/1986						0,004	<b>5,74</b>	0,43	0,77	0,04	0,03	0,02	0,02				
25/12/1986					0,3	1,84	<b>6</b>	3,6	2,05	1,58	1,37	1,32	1,17	1,17	1,32	1,17	
30/01/1987						1,17	<b>6,75</b>	4,5	2,6	2,13	1,92						
04/02/1987					1,92	4,2	<b>10,31</b>	3,72	2,43	2,16	2,16	2,16					
13/12/1988						0,002	<b>8,5</b>	0,29	0,006	0,004	0,0032	0,0024					
04/06/1990						0	<b>8,938</b>	0,428	0,003	0,003	0,0025	0,001	0				
07/04/1992				0,37	1,884	7,037	<b>21,34</b>	3,986	2,762	2,238	2,026	1,834	1,662	1,58			
23/01/1992				0,09	0,3386	1,95	<b>17,29</b>	2,305	2,227	0,855	0,631	0,491	0,449	0,45	0,41	0,37	
02/05/1992					0,743	1,456	<b>9,362</b>	3,734	1,576	1,354	1,286	1,218	1,15	1,09	1,09	1,03	0,97
31/11/1992				0,26	0,449	0,575	<b>8,652</b>	3,497	0,743	0,687	0,687	0,687					
22/12/1993						0	<b>5,34</b>	0,02	0,012	0							
19/01/1994						0	<b>5,89</b>	0,618	0,293	0,221	0,221	0,185	0,185				
11/03/1995						1,09	<b>11,37</b>	9,84	3,99	2,76	2,45	3,48	2,03	1,92	1,75	1,66	1,49
15/01/1995				2,59	3,24	5,55	<b>6,66</b>	5,68	3,07	2,76	2,61	2,24	2,24	2,03	1,93	1,83	1,66
15/09/1994						0,6	<b>9,23</b>	0,15	0,01	0,01							
15/06/1996						0,63	<b>9,37</b>	1,22	0,86	0,74	0,69	0,63	0,63				
13/07/1996						0,49	<b>8,32</b>	3,57	0,58	0,37	0,37	0,37	0,19	0,19			
<b>Médian</b>	0,26	0,45	0,575	8,5	2,47	0,86	<b>0,71</b>	0,7	0,687	0,63	1,13	1,32	1,17	1,49	0,26	0,45	0,575

Tableau( III.10) : Hydrogrammes de crues observés à la station de Mezahim (090101)

Date	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
22/09/1973		0,09	0,09	12,2	<b>13,5</b>	0,78	0,43	0,3	0,27	0,24	0,17	0,14				
28/03/1974		0,2	8,39	30,3	<b>37</b>	15,7	7,6	11,5	8,28	4,42	2,97	2,13	1,95	1,95		
28/04/1974			0,84	2,58	<b>9,84</b>	2,02	1,38	1,22	1,06	1,06	0,98					
17/09/1974	0,3	0,26	0,85	11,6	<b>20,7</b>	5,18	0,54	0,29	0,29	0,29	0,16					
18/03/1975	0,38	4,32	6,36	5,06	<b>7,91</b>	4	1,48	0,86	0,68	0,6	0,51	0,42				
25/05/1976		0,12	0,16	0,52	<b>14,5</b>	13,4	1,11	0,62	0,49	0,42	0,36	0,33	0,36	0,33	0,26	0,3
04/02/1976			1,26	6,25	<b>13,7</b>	10,4	8,07	2,58	12	3,21	2,58	2,25	1,78			
05/09/1976			0,3	8,61	<b>13,1</b>	0,96	0,39	0,39	0,39							
16/09/1979	0,05	0,06	0,05	45,9	<b>84,2</b>	0,88	0,7	0,67	0,26	0,19	0,14	0,14	0,12	0,12		
21/08/1981			0,02	0,06	<b>17,6</b>	0,63	0,24	0,24	0,21	0,21	0,21					
19/12/1981		0,17	0,21	0,21	<b>22,4</b>	17	1,23	0,7	0,44	0,29	0,29	0,29				
14/11/1982			0,32	0,63	<b>14,7</b>	2,3	1,7	0,52	0,32	0,25	0,21	0,21				
04/03/1986			0,03	0,25	<b>30,8</b>	14	3,94	5,66	3,54	3,11	3,11					
13/12/1988				0,44	<b>11,9</b>	3,55	1,06	0,76	0,44	0,39	0,33					
14/08/1990			0,02	1,12	<b>48,3</b>	20,4	1,41	0,93	0,76	0,76	0,59					
24/01/1992	0,02	1,12	0,12	2,45	<b>49,1</b>	5,84	4,47	3,31	2,85	2,72						
22/12/1992		0,03	0,11	5,18	<b>13,3</b>	0,54	0,09	0,08	0,05							
21/09/1992				0	<b>25,9</b>	7,65	7,65	0,46	0,25	0,19						
17/01/1994		0,04	0,05	0,05	<b>14</b>	<b>1,62</b>	0,13	0,09	0,08	0,06	0,04					
<b>Médian</b>	0,19	0,17	0,19	2,52	<b>16,1</b>	4,59	1,31	0,69	0,44	0,41	0,345	0,33	1,053	0,565	0,26	0,3

### III.4 Établissement des hydrogrammes unitaires :

Il est évident que la superposition des hydrogrammes unitaires réduits d'un bassin versant, obtenus ainsi pour toutes les crues jugées unitaires fournit, par considération des ordonnées médianes ou moyennes, des hydrogrammes types (figures III.5 à III.9. en noire) qui peuvent être considérés comme des caractéristiques hydrauliques de ce bassin au niveau des cinq stations de mesure Lakhdaria ((090501), Pont de la traile (90408), Dechmia (090309). Beni Slimane (090305) et Mézahim (090101).

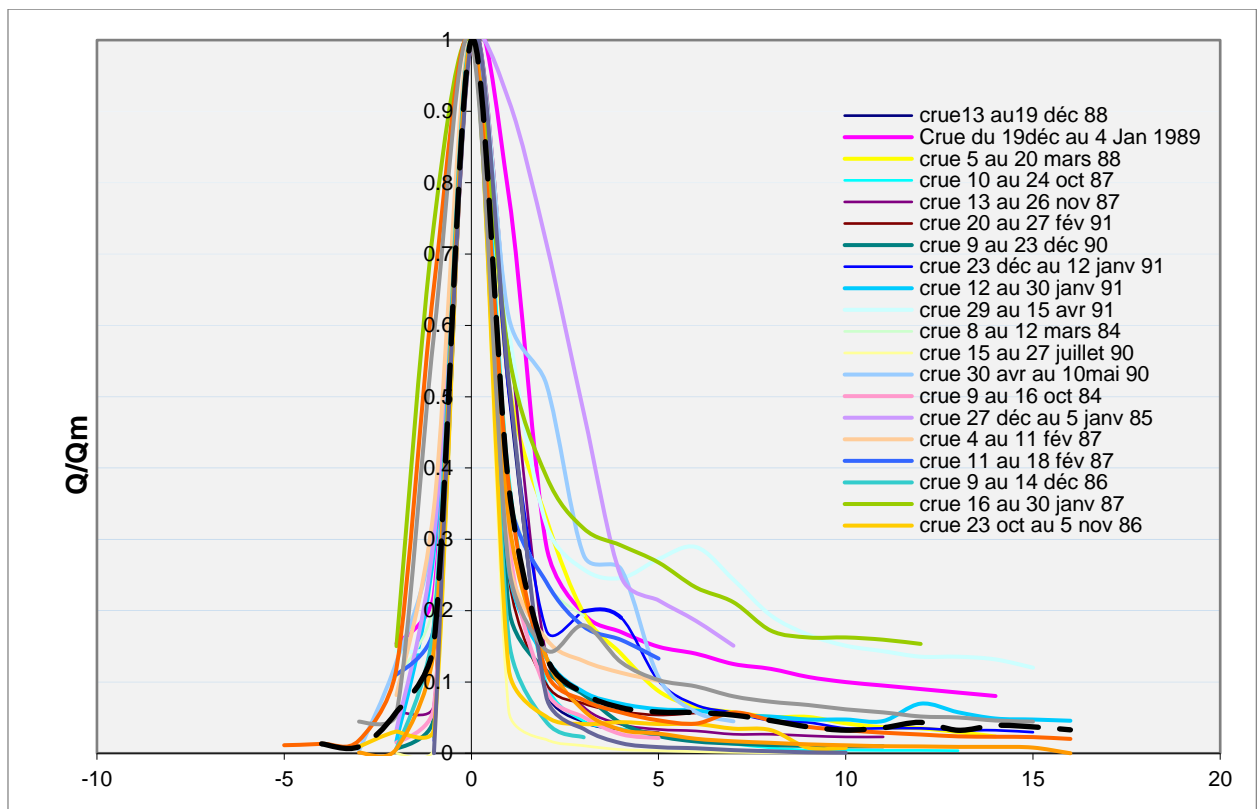


Figure (III.5) : Hydrogramme unitaire réduits de la station de Lakhdaria (090501)

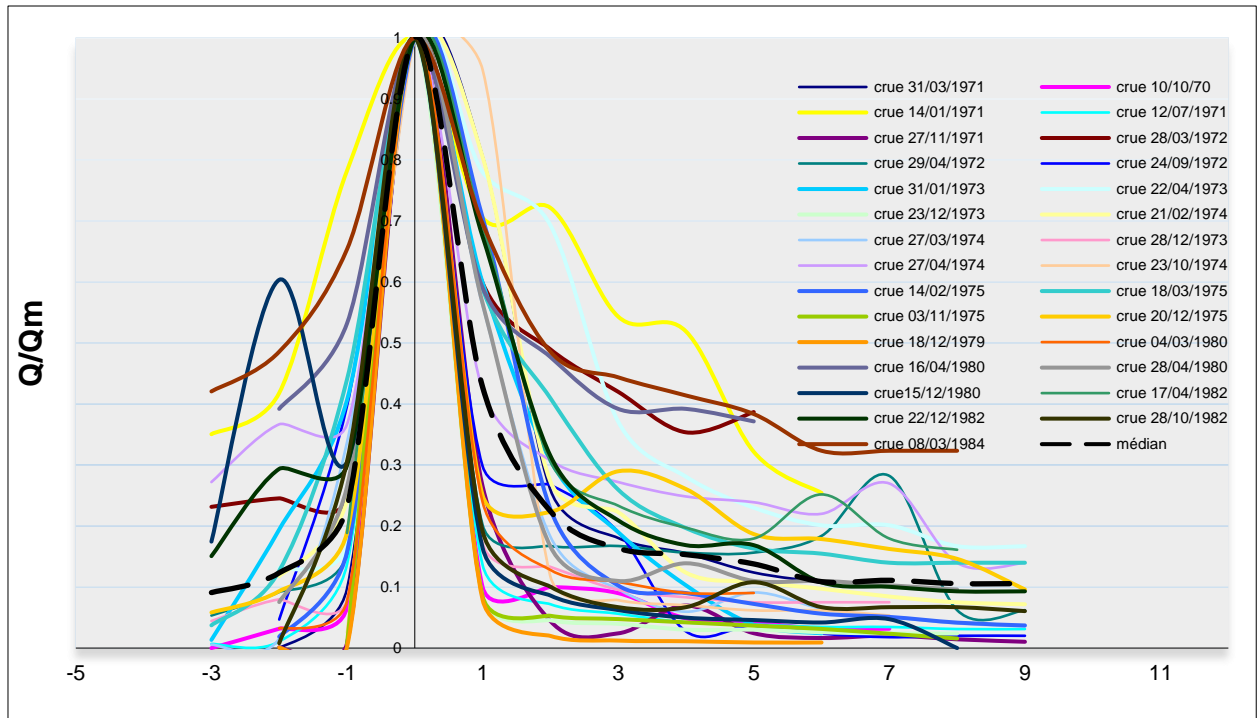


Figure (III.6) : Hydrogramme unitaire réduits de la station pont de la traile ( 090408)

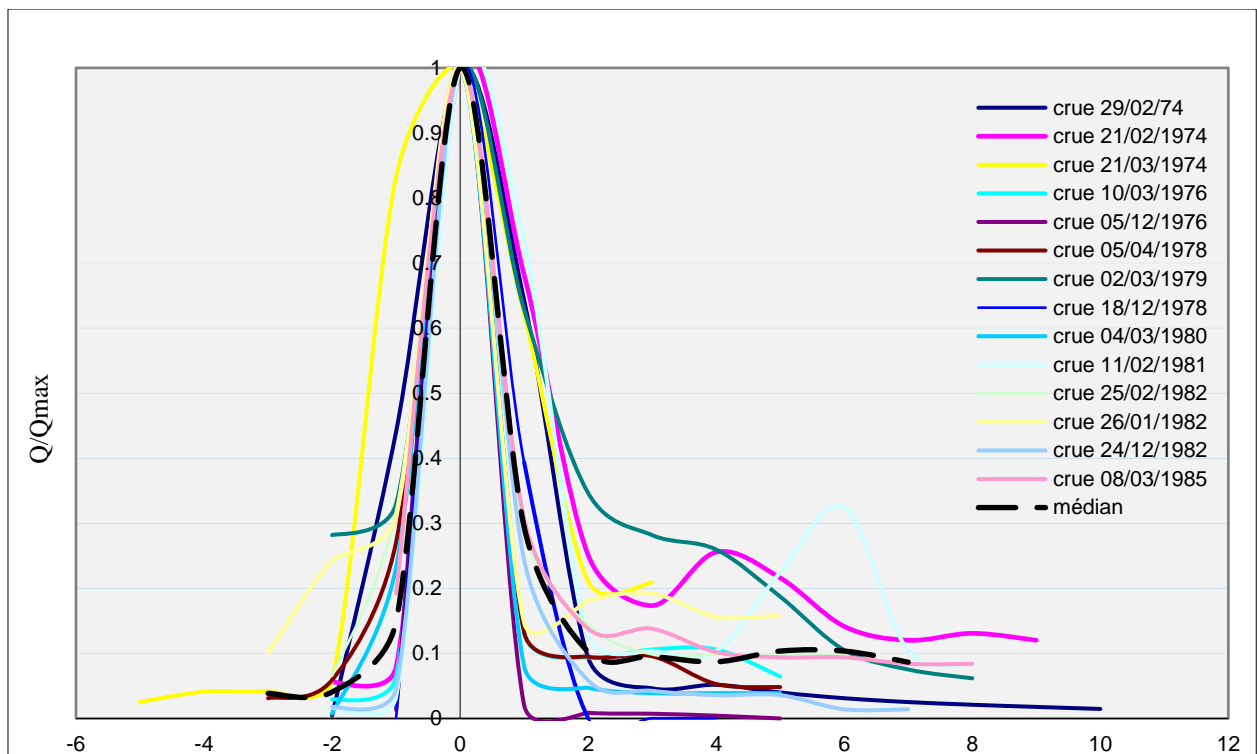


Figure (III.7) : Hydrogramme unitaire réduits de la station de Dechmia (090309)

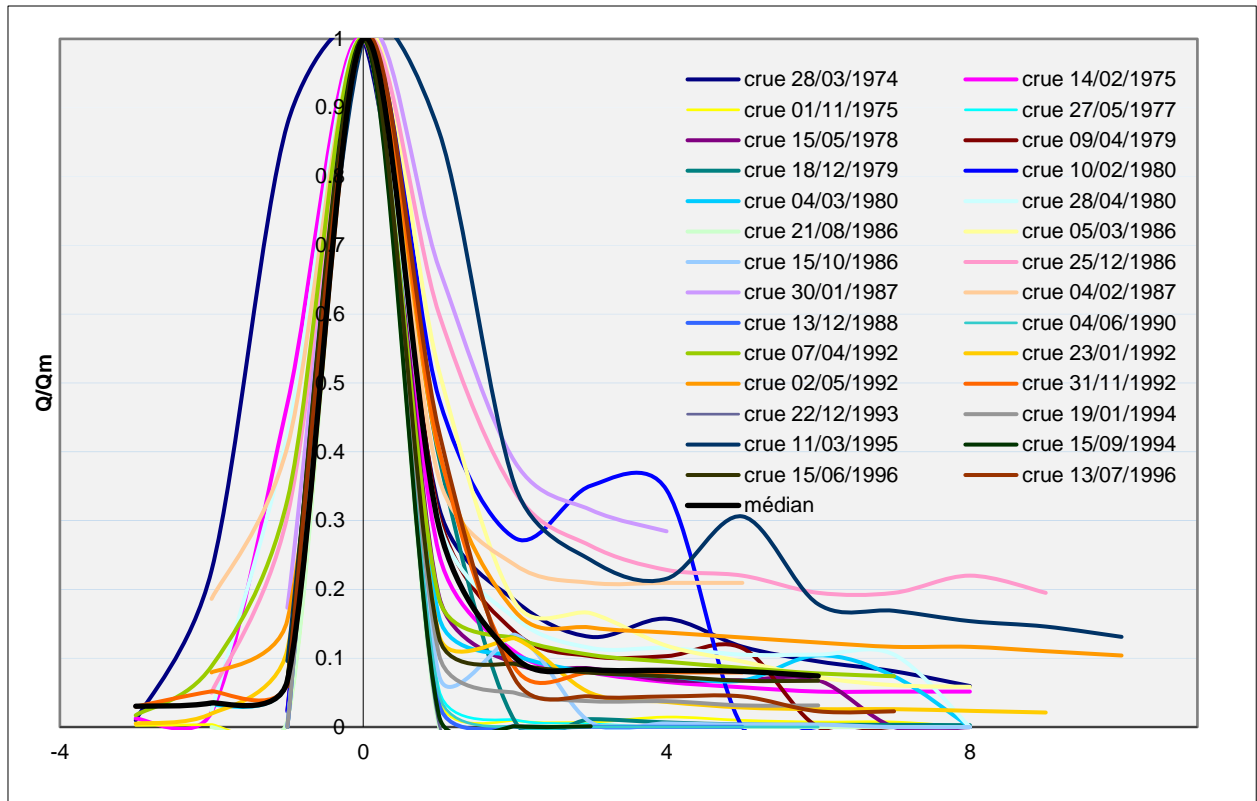


Figure (III.8) : Hydrogramme unitaire réduits de la station de Beni Slimane ( 090305)

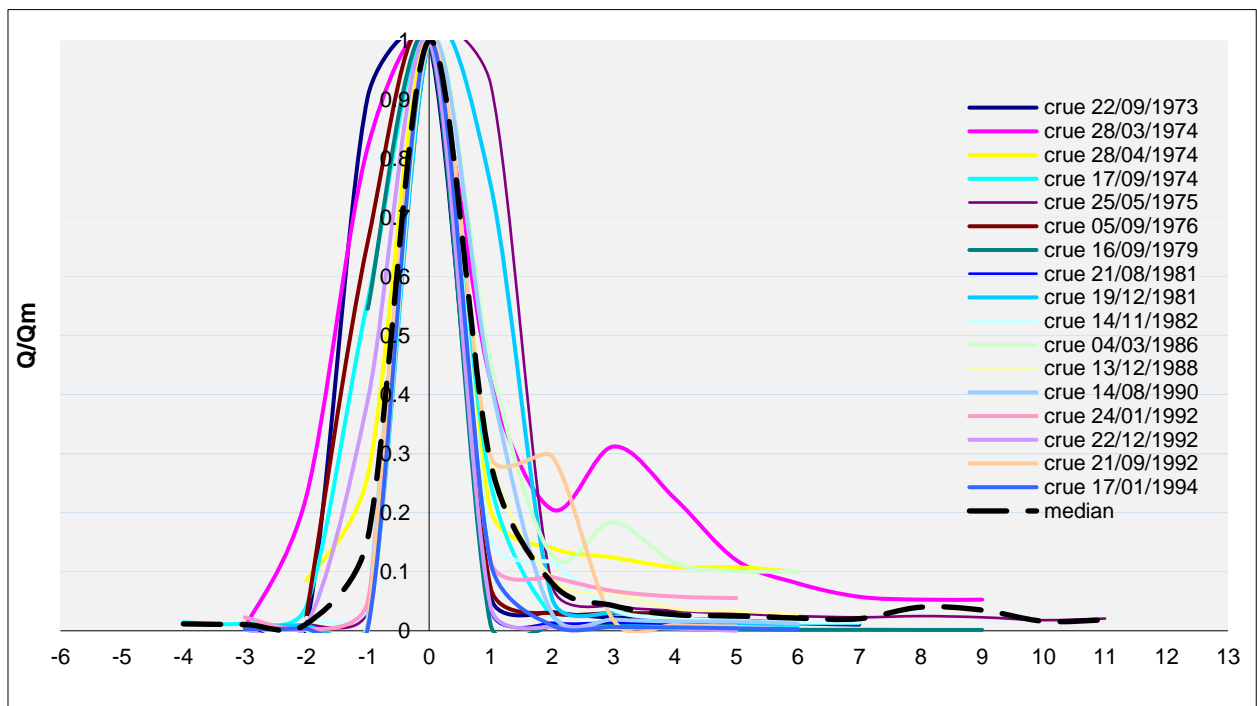


Figure (III.9) : Hydrogramme unitaire réduits de la station de Mezahim ( 090101)

Il faut souligner que théoriquement, les diagrammes de distribution de tous les hydrogrammes devraient être identiques ; en réalité ils diffèrent toujours quelque peu, surtout

au début et à la fin du diagramme. Prenant comme base les crues unitaires sélectionnées, on a calculé un hydrogramme type pour chaque bassin versant sur la base des médianes des hydrogrammes adimensionnels normés. La figure (III.10, a, b, c et d) montre les hydrogrammes adimensionnels normés des cinq stations de mesure Lakhdaria (090501), Pont de la traillé (90408), Dechmia (090309). Beni Slimane (090305) et Mézahim (090101).

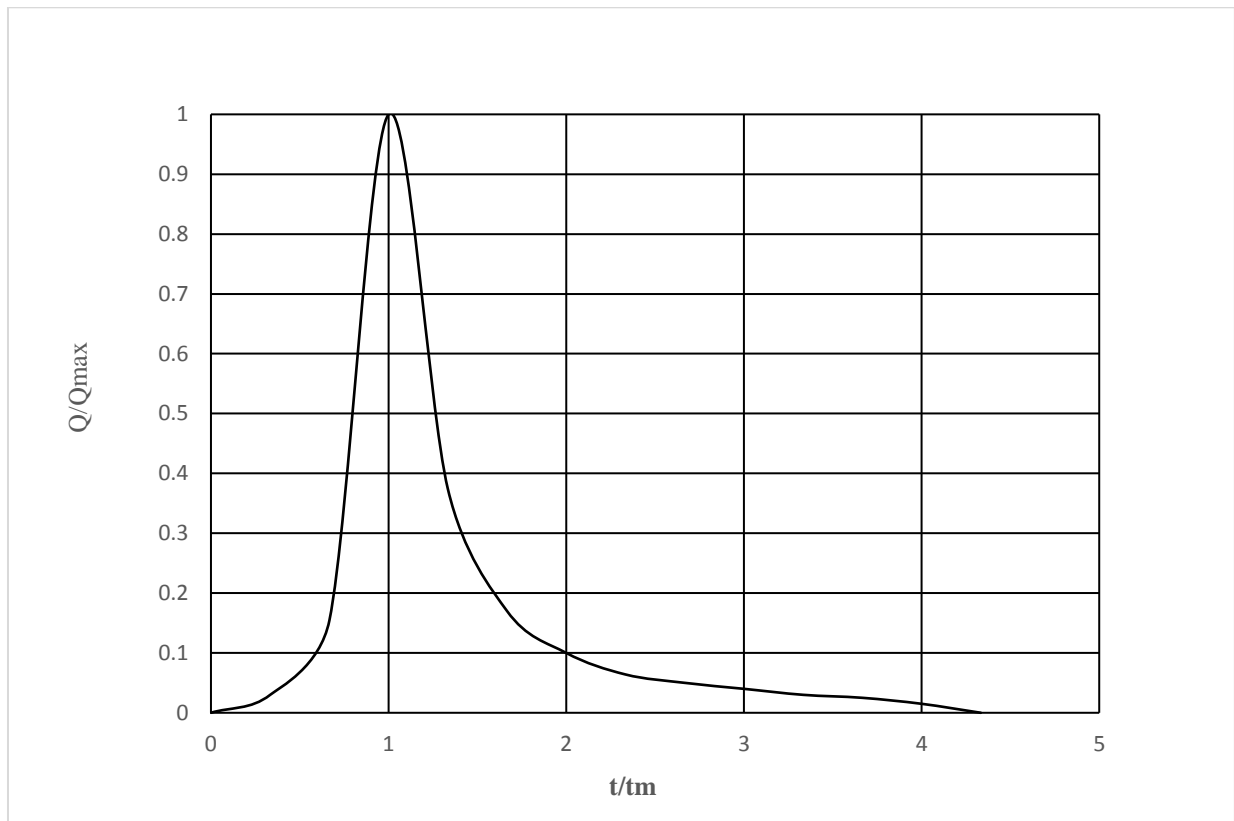


Figure (III.10, a) : Hydrogramme de crue adimensionnel normé de la station de Lakhdaria (090501)

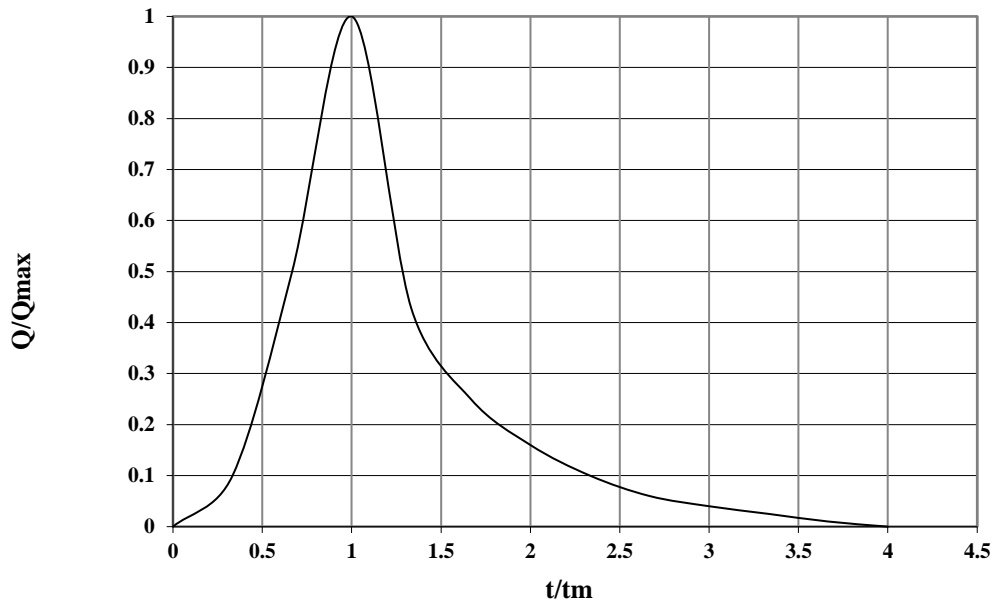


Figure (III.10, b) : Hydrogramme de crue adimensionnel normé de la station pond de la traille (090408)

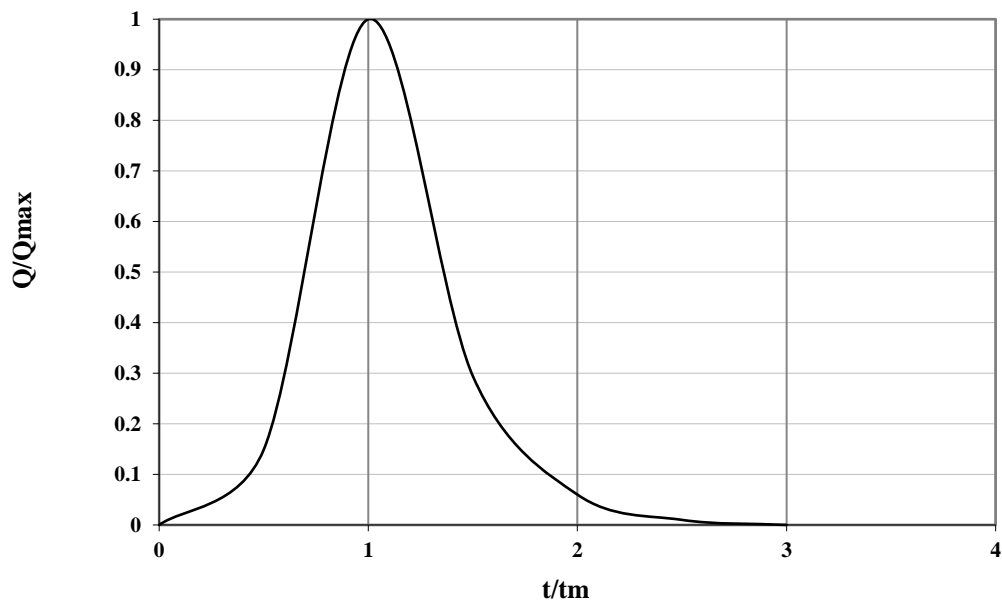


Figure (III.10, c) : Hydrogramme de crue adimensionnel normé de la station pond de Dechmia (090309)

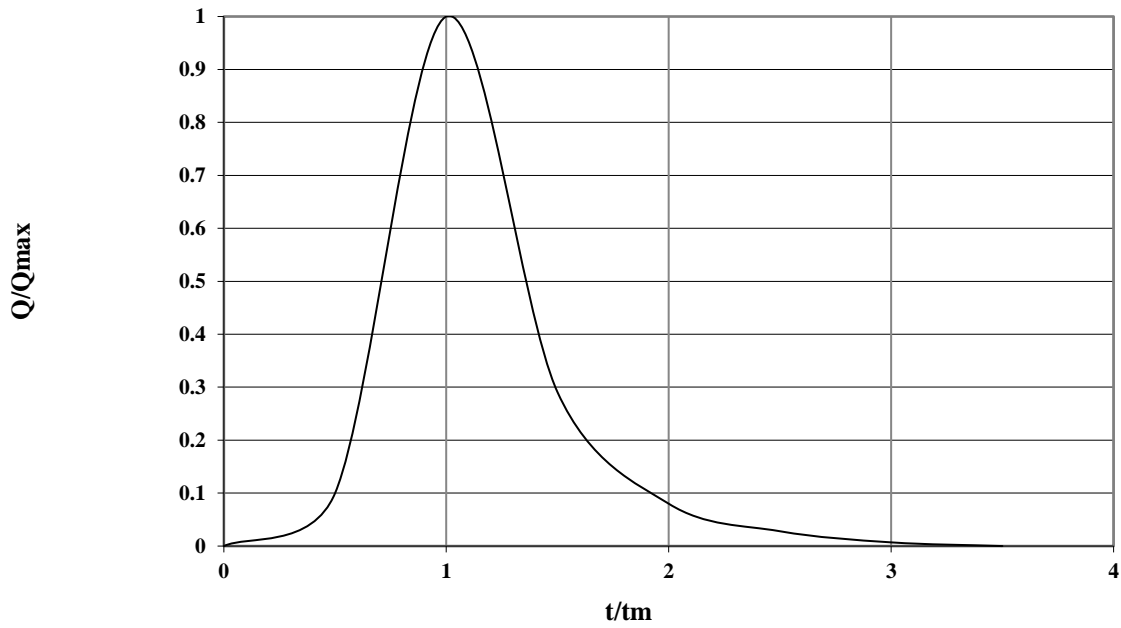


Figure (III.10, d) : Hydrogramme de crue adimensionnel normé de la station de Beni Slimane (090305)

**Hydrogramme unitaire de la station 09-01-01**

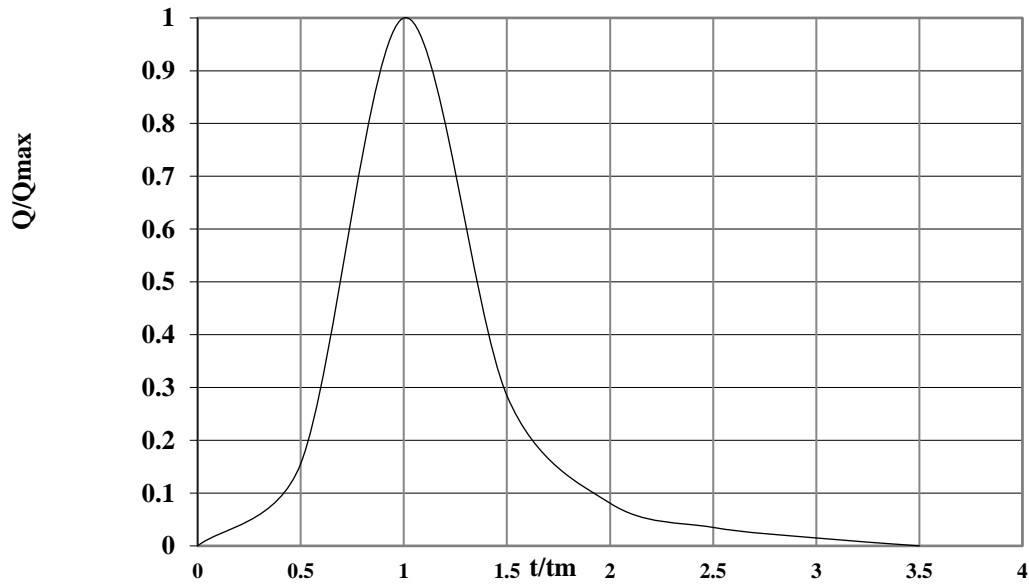


Figure (III.10, e) : Hydrogramme de crue adimensionnel normé de la station de Mezahim (090101)

Les cinq hydrogrammes unitaires médians sélectionnés, permettent de déterminer un diagramme de distribution (hydrogramme type), caractéristiques des sous bassins versants du cours d'eau d'Isser. Un tel hydrogramme-type peut être appliqué au même bassin pour fournir un hydrogramme de crue rare. La tâche se complique lorsqu'on veut dériver un hydrogramme pour un bassin dépourvu de données pluviométriques et débitométriques.

L'une des hypothèses de base de la théorie de l'HU est que pour un bassin versant donné l'hydrogramme de ruissellement résultant reflète l'ensemble des caractéristiques physiques du bassin versant. Il est donc possible de dériver un hydrogramme unitaire pour un bassin non jaugé sur la base des expressions empiriques ou pseudo empiriques qui relient les caractéristiques physiques pertinentes aux aspects géométriques de l'hydrogramme unitaire

### III.5 Elaboration d'un modèle d'hydrogramme de crue

L'analyse de l'hydrogramme type établi pour chaque cours d'eau montre que la partie de montée de la courbe est serrée à gauche, celle de la partie descendante et étalée vers la droite (figure III.2 à 9). La forme analytique ou le modèle adopté pour ces hydrogrammes types est celle de la fonction de densité de la loi log-normale (loi Galton) (Boutoutaou et Zeggane, 2014).

La densité de la loi Galton est présentée sous la forme suivante :

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{pour } x \leq 0 \\ \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x}{\sigma}\right)^2\right] & \text{pour } x > 0 \end{cases} \quad \text{(III.1)}$$

Après quelques modifications, l'hydrogramme type proposé pour les cours d'eau du bassin d'Isser est le suivant (Boutoutaou et Zeggane, 2014):

$$Q(t) = \begin{cases} 0 & \text{pour } t = 0 \\ Q_p \left(\frac{t}{t_p}\right)^{-0.1} \text{Exp}\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln\left(\frac{t}{t_p}\right)}{k}\right)^2\right] & \text{pour } t > 0 \end{cases} \quad \text{(III.2)}$$

Les paramètres définissant l'hydrogramme synthétique type Galton sont donc le débit maximal instantané ou débit de pointe  $Q_p$ , le temps de montée  $t_p$  et le paramètre de forme  $k$  qui conditionne l'allure de la courbe de décrue de l'hydrogramme. L'exposant (0,1) est un coefficient d'ajustement, obtenu sur la base du calage des hydrogrammes de crues calculés et mesurés.

### III.5.1 Quelque hydrogramme de crue mesuré et calculé des stations hydrométrique

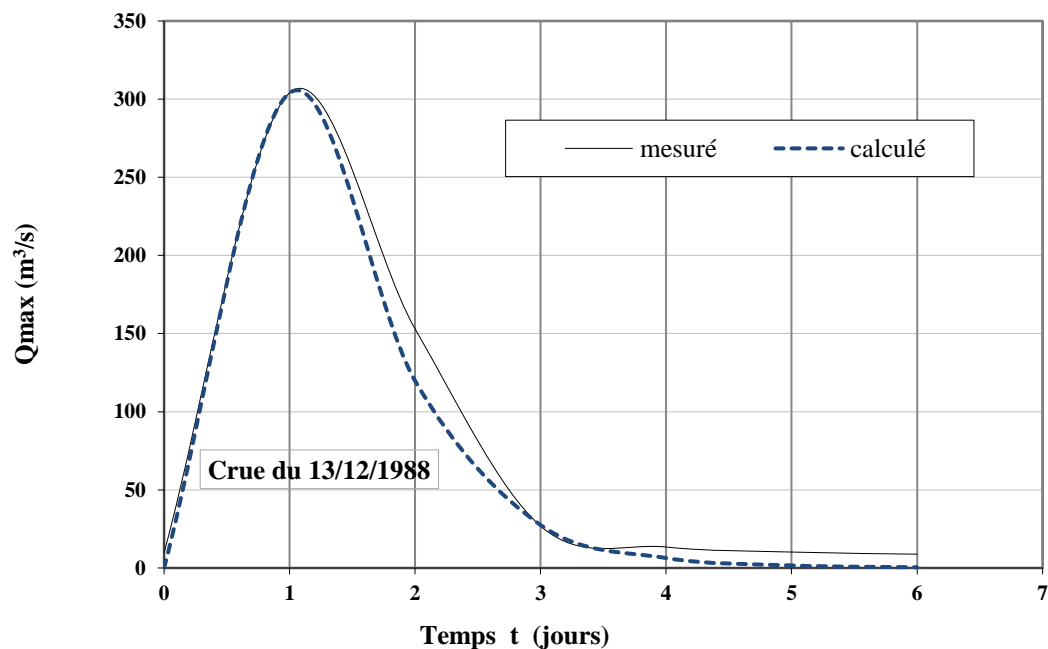


Figure (III.11, a) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Lakhdaria (090501), crue du 13 décembre 1988

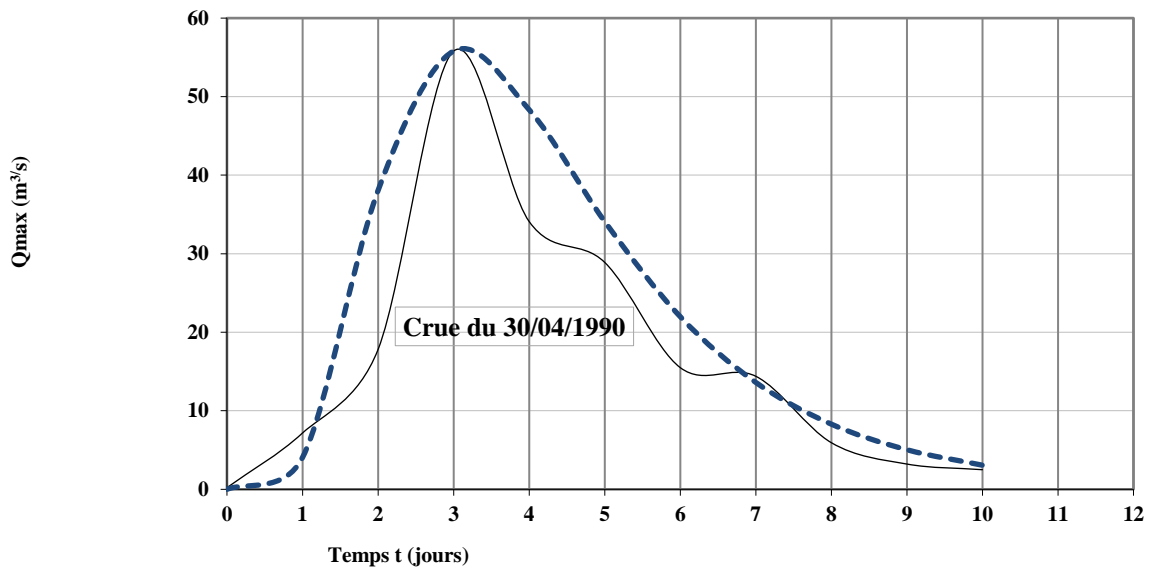


Figure (III.11, b) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Lakhdaria (090501), crue du 30 avril 1990

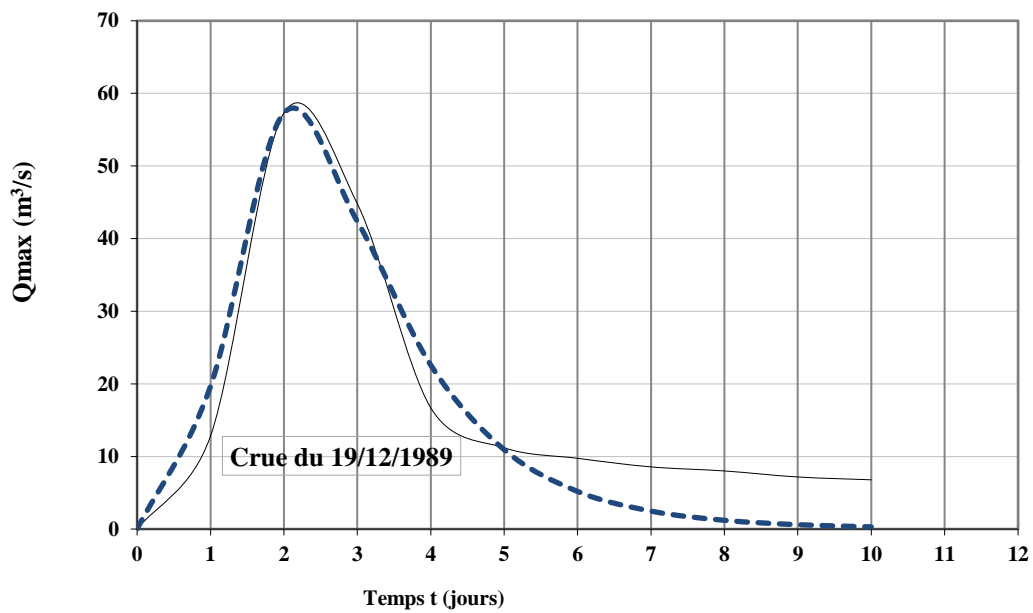


Figure (III.11, c) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Lakhdaria (090501), crue du 19 décembre 1989

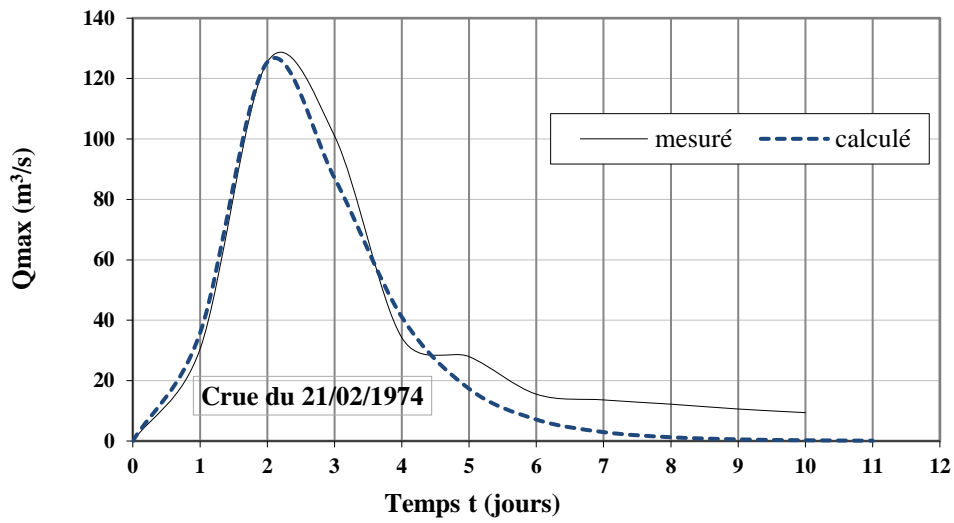


Figure (III.12, a) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de la traïlle (090408), crue du 21 février 1974

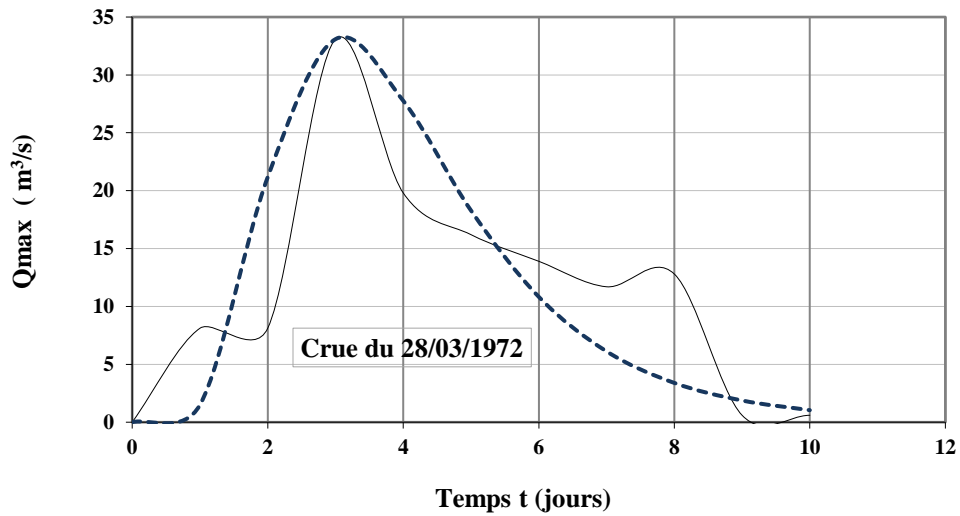


Figure (III.12, b) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de la traïlle (090408), crue du 28 mars 1972

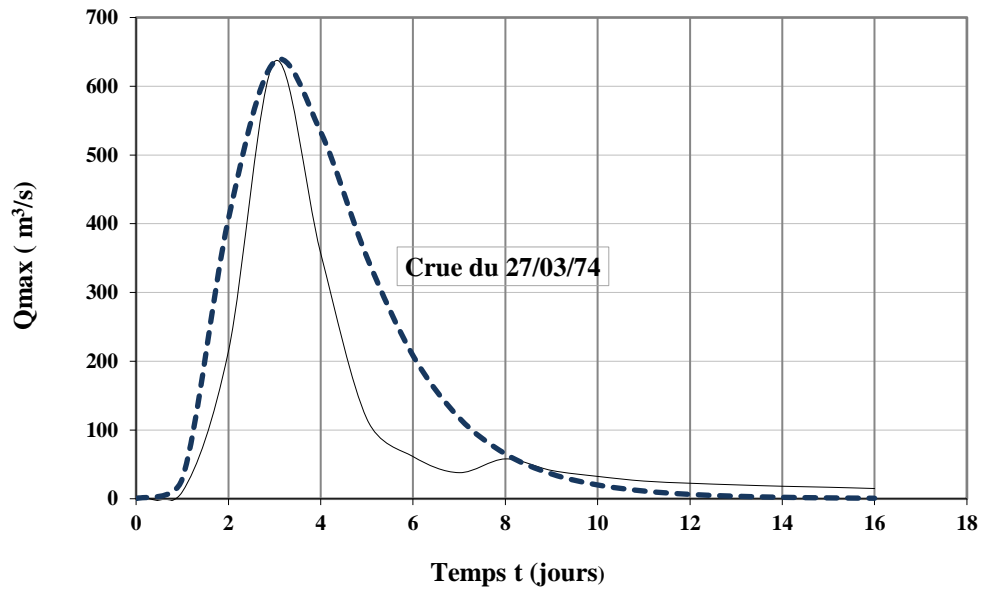


Figure (III.12, c) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de la traïlle (090408), crue du 27 mars 1974

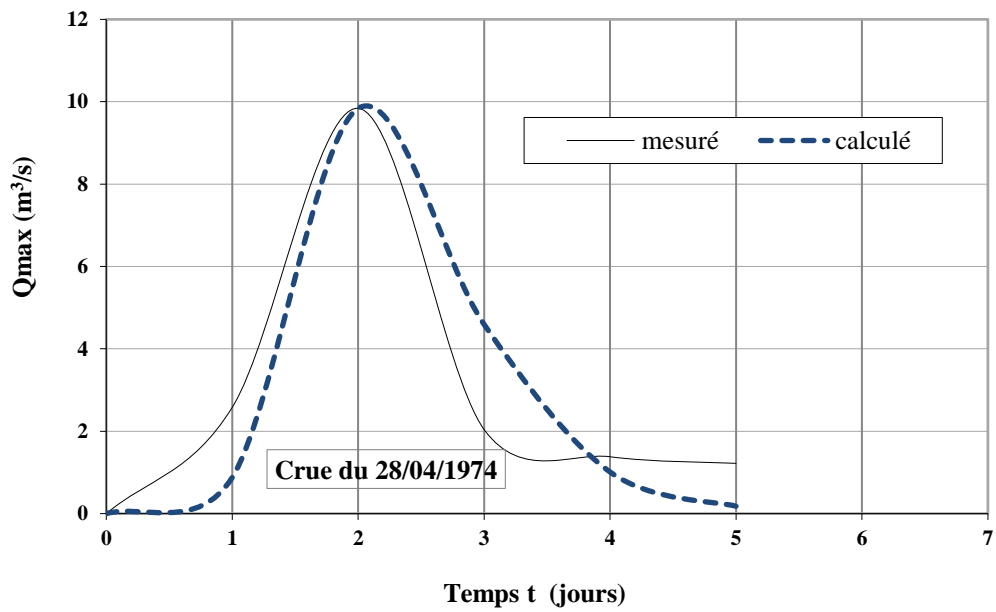


Figure (III.13, a) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Mezahim (090101), crue du 28 mars 1974

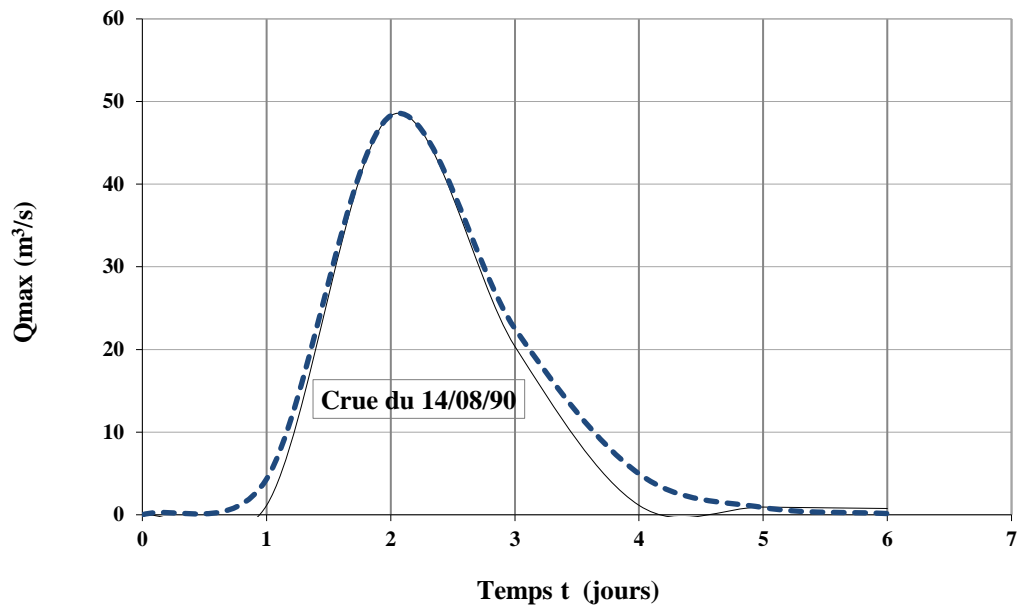


Figure (III.13, b) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Mezahim (090101), crue du 14 août 1990

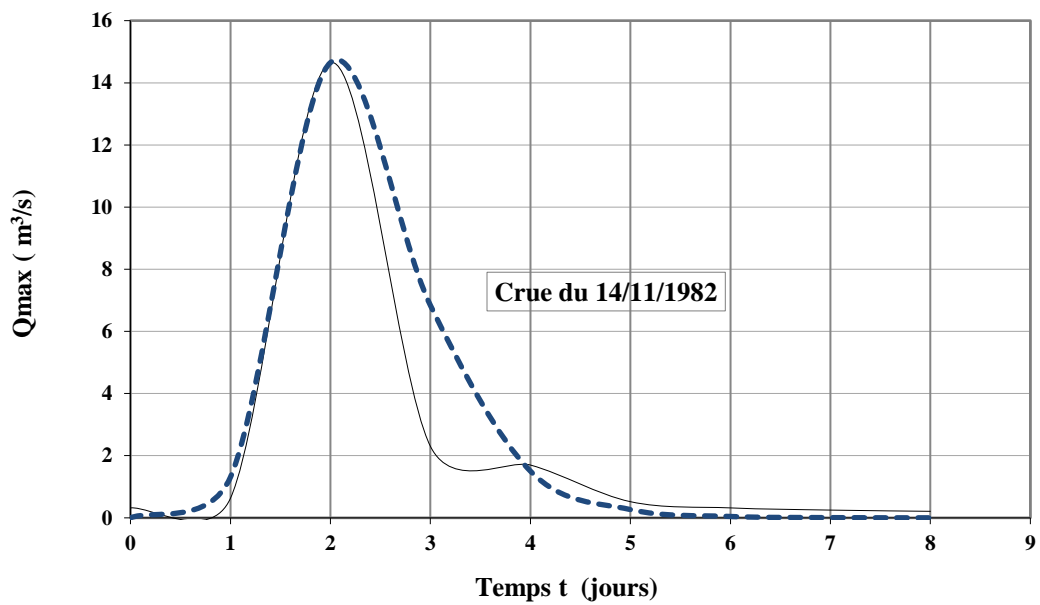


Figure (III.13, c) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Mezahim (090101), crue du 14 novembre 1982

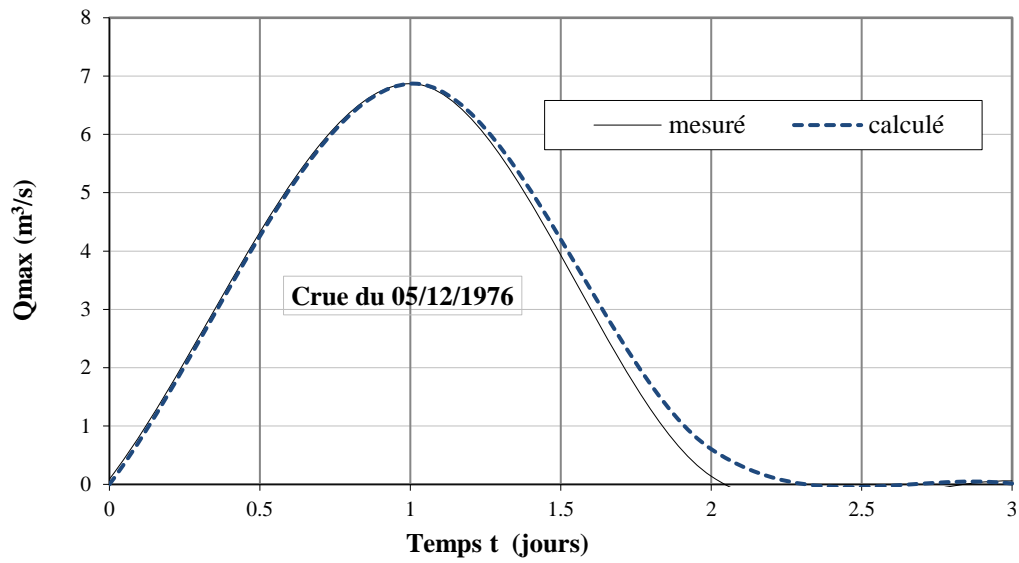


Figure (III.14, a) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Dechmia (090309), crue du 05 décembre 1976

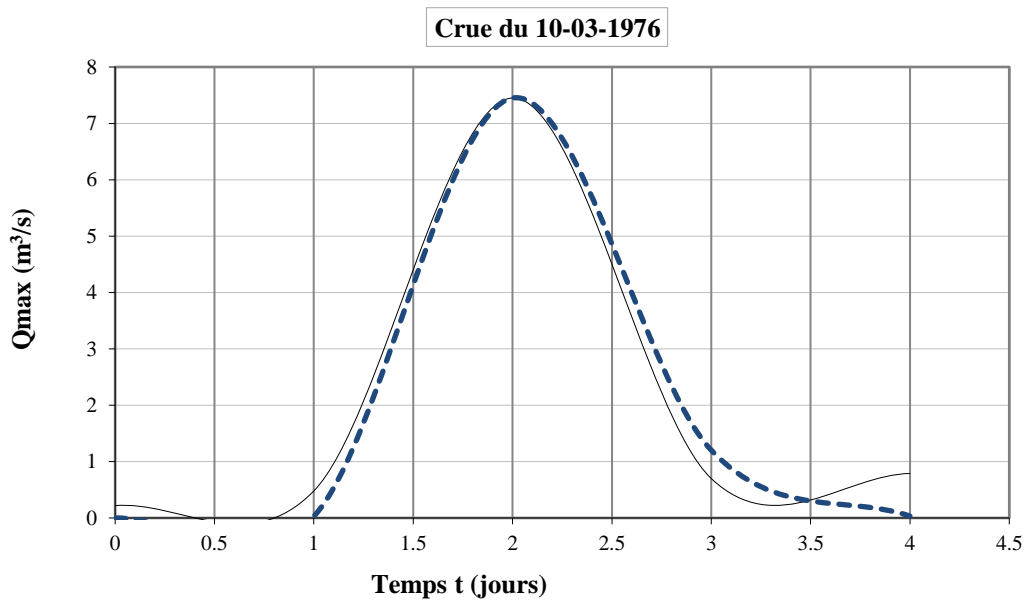


Figure (III.14, b) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Dechmia (090309), crue du 10 mars 1976

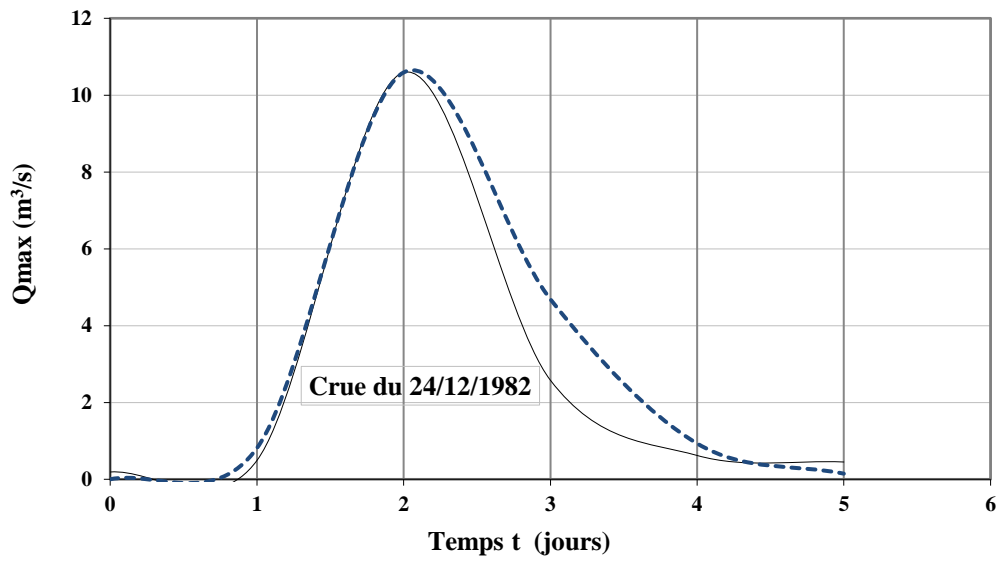


Figure (III.14, c) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Dechmia (090309), crue du 24 décembre 1982

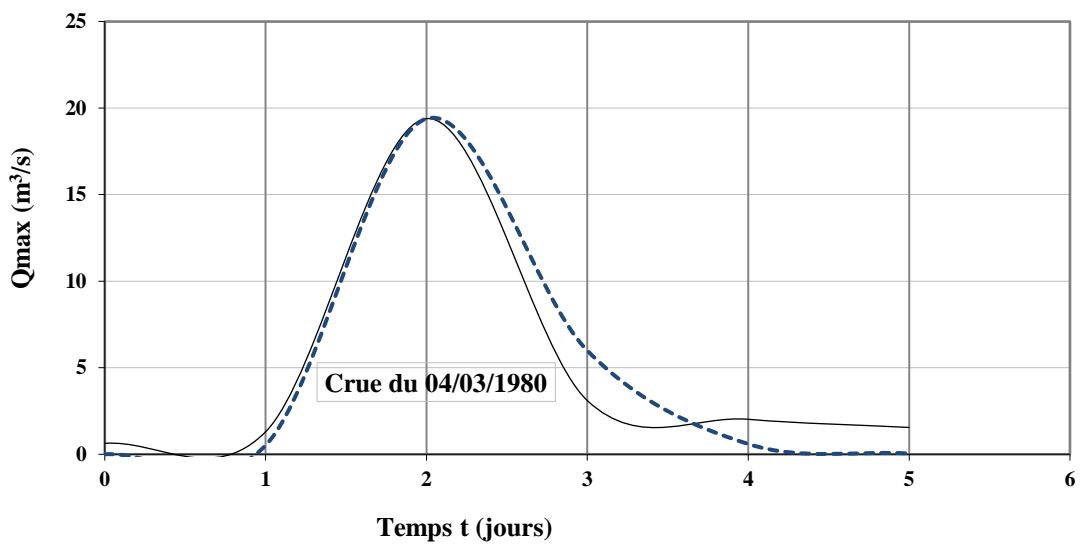


Figure (III.14, c) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Dechmia (090309), crue du 04 mars 1980

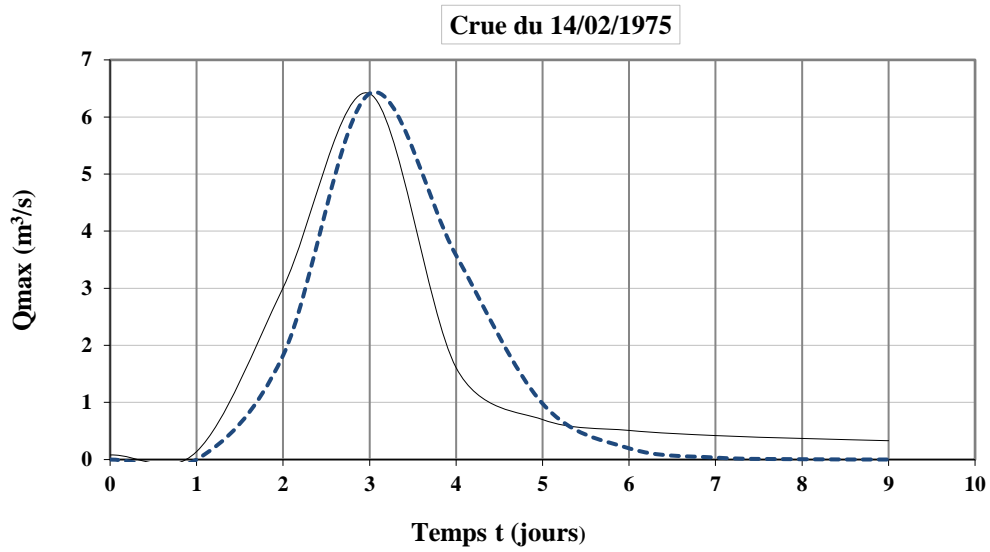


Figure (III.14, d) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Dechmia (090309), crue du 14 février 1975

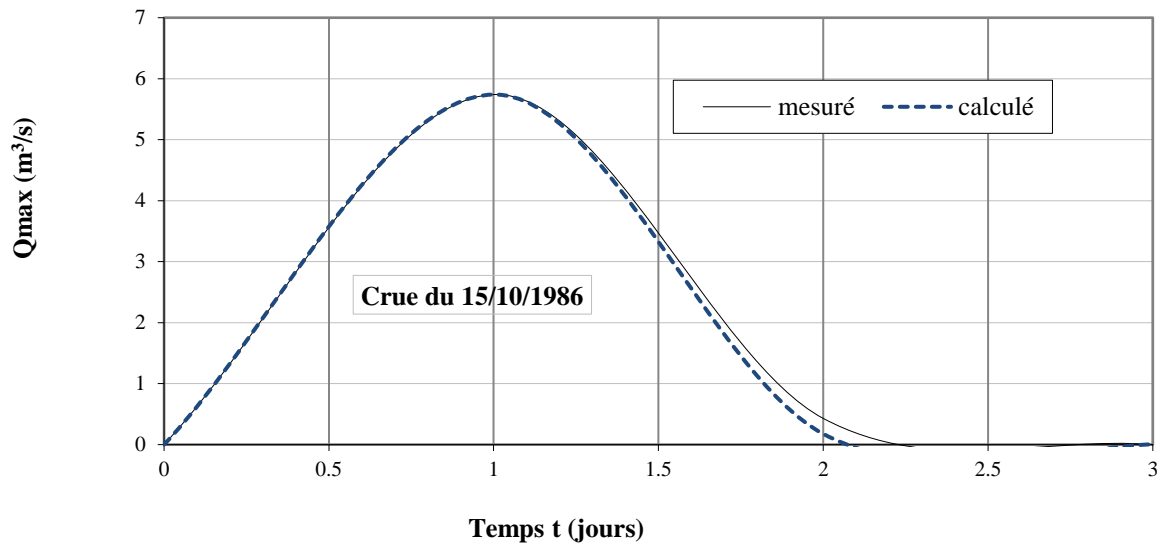


Figure (III.15, a) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Beni Slimane (090305), crue du 15 octobre 1986

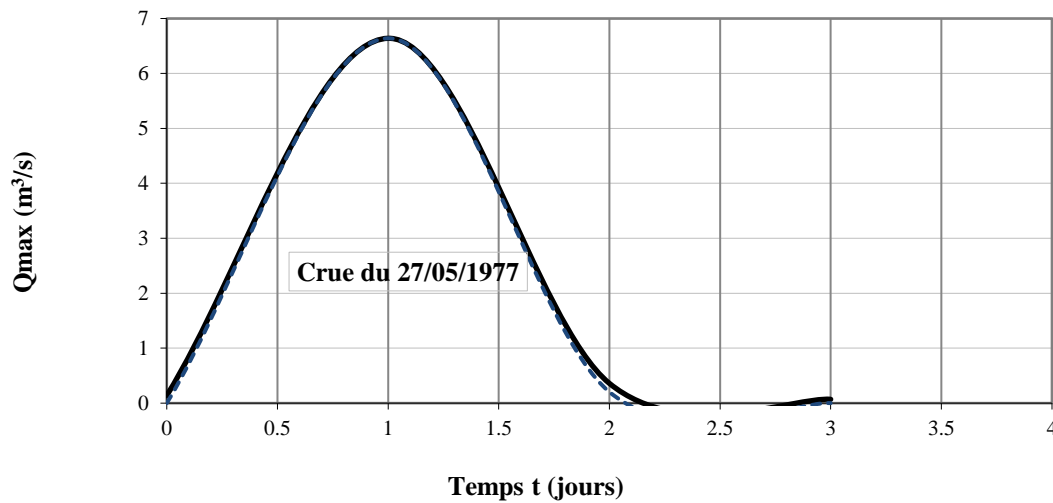


Figure (III.15, b) : Hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Beni Slimane (090305), crue du 27 mai 1977

### III.6 Détermination des paramètres de l'hydrogramme de crue

#### III.6.1 Temps de montée de l'hydrogramme de crue

Le temps de montée des crues des cours d'eau et des oueds de l'Algérie varie de 4 – 8 heures jusqu'à 24 heures pour les bassins versants inférieurs à 600 km<sup>2</sup>, de 12 – 24 heures à 5 jours – pour les bassins versants allant jusqu'à 3000 - 6000 km<sup>2</sup> et de 2 – 4 jours à 10 jours – pour les grands bassins versants (supérieur à 6000 km<sup>2</sup>). Le temps de montée de la crue  $t_p$  est défini en fonction de la durée de pluie  $t$  et du lag time  $t_{lag}$  (délai de réponse ou délai d'activation du bassin versant). (Boutoutaou et Zeggane, 2015).

Si en se référant sur la théorie de l'hydrogramme unitaire, qui stipule que le temps de montée est constant et égal à une valeur limite inférieure ( $t_p = \lim t$ ) d'une part et que lorsque la période de récurrence de la crue augmente, le temps de réponse du bassin en crue diminue jusqu'à une valeur seuil correspondant approximativement à un temps minimum ( $t_{lag} = \lim t$ ) d'activation du bassin versant de l'autre part, il est possible de faire l'hypothèse que cette valeur limite correspond au temps de concentration du bassin et que la limite d'activation de chaque bassin est obtenue des crues de période de retour 5 – 10 ans :

$$t_p \approx t_{lag} \approx t_c \quad (III.3)$$

Le temps de concentration  $t_c$  est fonction essentiellement des caractéristiques physiographiques des bassins versants. Pour les conditions physiographiques des bassins de l'Algérie, le temps de concentration est présenté par la relation suivante (Boutoutaou et Zeggane, 2015)

$$t_c = 1.7 \left( \frac{SL}{\sqrt{I}} \right)^{0.19} \quad (\text{III.4})$$

Avec :

$t_c$  : Temps de concentration en heure ;

$S$  : Surface du bassin versant en Km<sup>2</sup> ;

$L$  : Longueur du cours d'eau en km ;

$I$  : Pente du cours d'eau en % .

La formule de calcul du temps de concentration (III.3) est valable pour les sous bassins du cours d'eau d'Isser.

### III.6.2 Coefficient de forme $k$ de l'hydrogramme de crue

Le coefficient de forme  $k$  étant égal au rapport du débit moyen ruisselé de l'hydrogramme au débit de pointe ruisselé :

$$k = \frac{Q_{\text{moy}}}{Q_p} \quad (\text{III.5})$$

Le paramètre de forme  $k$  conditionne l'allure de la courbe de décrue de l'hydrogramme. Pour les cours d'eau du bassin d'Isser, ce coefficient varie essentiellement entre 0,2 et 0,5.

Nous recommandons de calculer la valeur de  $k$  par la formule proposée dans les travaux de (Boutoutaou et Zeggane, 2015) qui est la suivante :

$$k = 0.0102(S + 1)^{0.4} + 0.20 \quad (\text{III.6})$$

La qualité de simulation par le modèle proposé a été basée sur la comparaison des hydrogrammes mesurés à ceux calculés par l'hydrogramme synthétique type Galton. Les valeurs calculés et mesurés de quelques hydrogrammes de crues des sous bassins d'Isser sont présentées dans les figures (III.11) à (III.15).

### III.7 Validation du modèle proposé

La fonction-critère de Nash peut être utilisée pour déterminer l'écart quadratique moyen entre une courbe de référence ( $Y_{\text{réf}}(x)$ ) et une courbe simulée ( $Y_{\text{mod}}(x)$ ) qui se veut modéliser correctement la courbe de référence. Il est défini de la façon suivante lorsque les courbes sont définies en un nombre discret de points  $n$  (Nash et al 1970) :

$$Nash[Y(x)] = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n (Y_{mod}(x_k) - Y_{réf}(x_k))^2}{\sum_{k=1}^n (Y_{réf}(x_k) - \bar{Y}_{réf})^2} \quad (III.7)$$

- Si  $Nash[Y(x)] = 1$  : estimation de  $Y_{réf}(x)$  parfaite avec  $Y_{mod}(x)$ ,
- Si  $0 < Nash[Y(x)] < 1$  : estimation de  $Y_{réf}(x)$  meilleure avec  $Y_{mod}(x)$ , qu'avec  $Y_{réf}$ ,
- $Nash[Y(x)] < 0$  : estimation moins bonne

### III.7.1 Critère de Nash pour la station Lakhadaria 090501

Dans le tableau (III.11) et la figure (III.16), on présente le critère de Nash pour la crue observée du 30/04/1990.

Tableau (III.11) : Critère de Nash pour la crue du 30-04-1990, station de Lakhadaria

Temps heure	Mesuré( Réf)	Calculé(Mod)	NASH
0,00	0,22	0,00	0.75
1,00	7,17	5,04	
2,00	17,80	41,26	
3,00	55,80	55,80	
4,00	34,10	45,63	
5,00	28,90	30,79	
6,00	15,50	19,14	
7,00	14,40	11,50	
8,00	5,94	6,82	
9,00	3,22	4,05	
10,00	2,50	2,42	

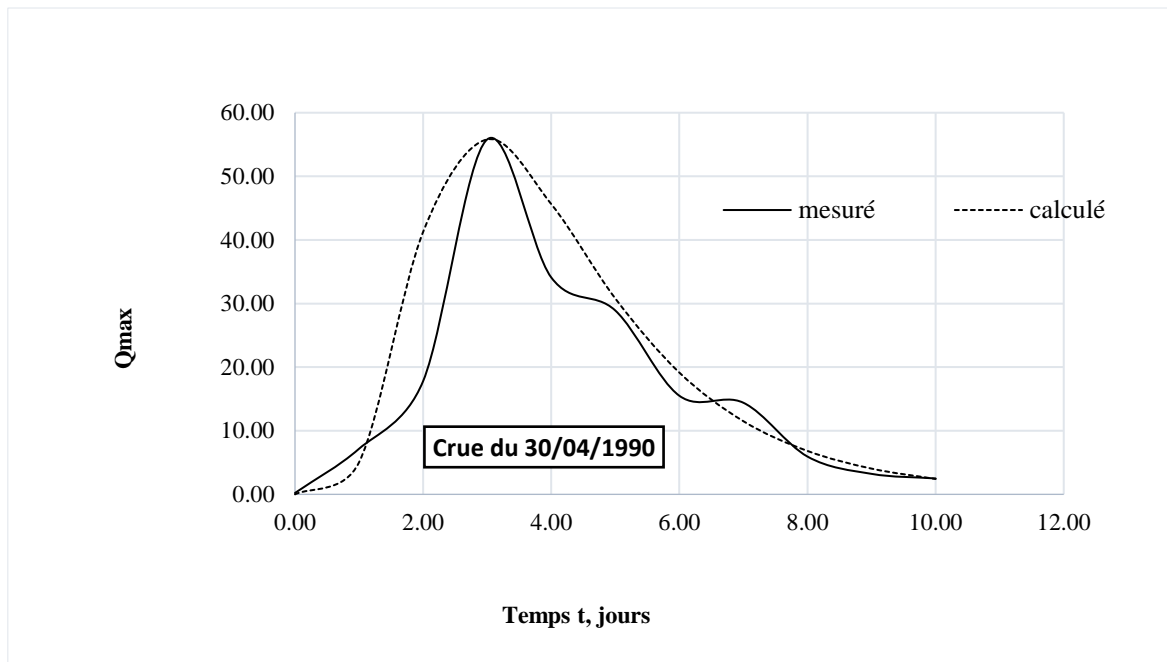


Figure (III .16): Hydrogramme de la crue du 30/04/1990

Un récapitulatif de critère de Nash pour quelques hydrogrammes observés et calculés pour la station Lakhdaria 090501 sont données dans le tableau (III.12).

Tableau (III.12) : Critère de Nash pour quelques crues de la station de Lakhdaria 090501

Crue	Critère de Nash
19 décembre 1989	0.91
13 novembre 1987	0.94
11 février 1987	0.78
13 février 1988	0.99

### III.7.2 Critère de Nash pour les hydrogrammes des autres stations hydrométriques

Nous présentons dans le tableau (III.13) ci-après le critère de Nash pour les hydrogrammes observés et calculés des autres stations.

Tableau (III.13) : Critère de Nash pour quelques crues de la station Mezahim 090101

Crue	Critère de Nash
Crue du 14/08/90	0,63
Crue du 21/09/91	0,86
Crue du 04/03/86	0,92
Crue du 14/11/82	0,84
Crue du 28/04/74	0,81
Crue du 28/03/72	0,51
Crue du 27/03/74	0,72
Crue du 18/03/1975	0,94
Crue du 12/02/1974	0,94

Tableau (III.14): Critère de Nash pour quelques crues de la station Dechmia 090309

Crues	Critère de Nash
Crue du 10/03/1976	0,94
Crue du 04/03/1980	0,90
Crue du 18-12/1979	0,85
Crue du 24/12/1982	0,99
Crue du 25-02-1982	0,79
Crue du 05/12/1976	1,00

Tableau (III.15) : Critère de Nash pour quelques crues de la station Beni Slimane 090305

Crue	Critère de Nash
Crue du 21/08/1981	0,82
Crue du 04/03/1980	0,91
Crue du 07/04/92	0,82
Crue du 14/02/1975	0,84
Crue du 15/10/1986	1,00
Crue du 27/05/1977	1,00
Crue du 04/06/1990	1,00

Tableau (III.16) : Critère de Nash pour quelques crues de la station de la Traille 09040

Crues	Critère de Nash
Crue du 28/03/72	0,51
Crue du 27/03/74	0,72
Crue du 18/03/1975	0,94
Crue du 12/02/1974	0,94

Au regard de ces résultats, le critère de Nash étant proche de 1, nous pouvons dire que le modèle type Galton log-normale peut être adopté et appliqué pour l'établissement des hydrogrammes de crues au niveau des différentes stations hydrométriques du bassin versant de l'Oued Isser.

### III.8 Analyse fréquentielle des débits maximums journaliers

L'utilisation des hydrogrammes unitaires ou le modèle type de Galton proposé dans cette étude pour le calcul des hydrogrammes de crue est conditionnée par le débit max de la crue qui est souvent inconnu surtout pour les crues de projet rares et extrêmes. L'analyse fréquentielle permet de choisir le meilleur modèle ou la meilleure loi d'ajustement afin de pouvoir calculer les débits max de projet pour différentes périodes de retour T. elle permet également de valider quelques formules empiriques utilisée pour le calcul des débits max fréquents dans le bassin versant d'Oued Isser.

Pour cela nous disposons des séries des débits max observés de cinq stations hydrométriques Lakhdaria ((090501), Pont de la traillle (90408), Dechmia (090309). Beni Slimane (090305) et Mézahim (090101).

Les modèles fréquents utilisés pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes sont la distribution statistique de Gumbel (loi double exponentielle ou loi de Gumbel), la loi de distribution Log Normal et la loi de distribution Log Pearson III. Dans ce qui suit, on ne donne, pour chaque station, que les résultats obtenus par HYFRAN en utilisant la meilleure loi d'ajustement (loi retenue).

### III.8.1 Station hydrométrique Lakhdaria 090501

L'ajustement des débits max annuels aux lois de gumbel, la loi Log Normale et la loi Log Pearson par HYFRAN nous a permis de retenir la loi Log Normal comme meilleure loi d'ajustement (Figure III.17).

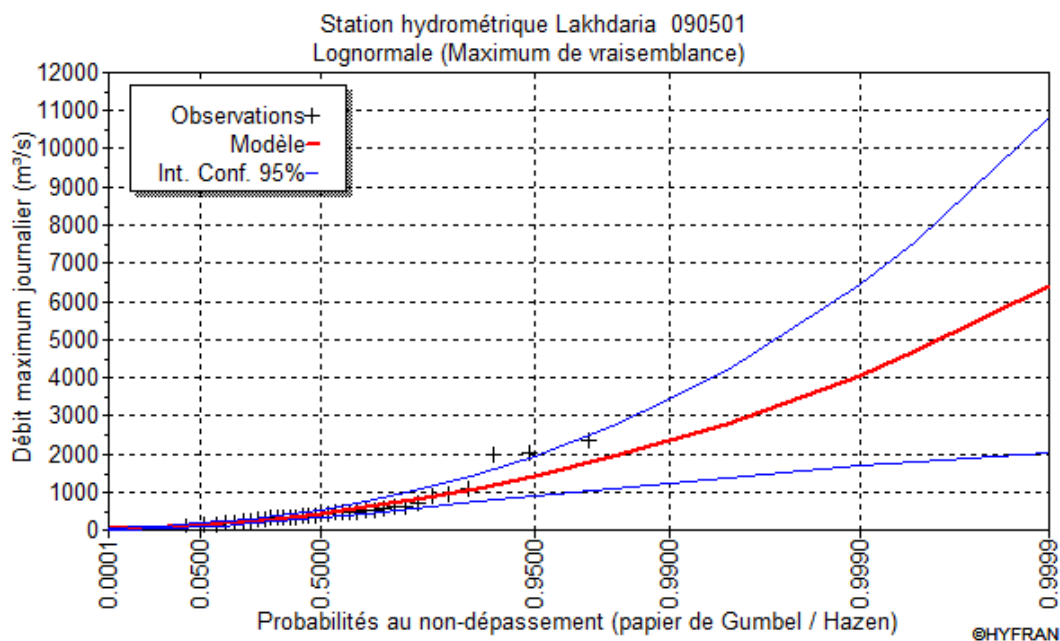


Figure (III.17) : Ajustement des débits max à la loi Log-Normale (Maximum de vraisemblance)  
Station de Lakhdaria 090501

Le calcul des quantiles nous a permis de dresser le tableau (III.17)

Tableau (III.17) : Débits max fréquentiels de la station (090501),  $m=6.07$ ,  $\sigma=0.73$

Période de retour (ans)	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques (m <sup>3</sup> /s)
200.0	0.9950	2800
100.0	0.9900	2330
50.0	0.9800	1910
20.0	0.9500	1420
10.0	0.9000	1090
5.0	0.8000	793
3.0	0.6667	589
2.0	0.5000	431

**Test d'adéquation**

Hypothèses

H0 : L'échantillon provient d'une loi Lognormale

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Lognormale

**Résultats**p-value  $p = 0.67$ 

Degrés de liberté : 2

**Conclusion**

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %

**III.8.2 Station hydrométrique La Traille 090408**

L'ajustement des débits max annuels aux lois de gumbel, la loi Log Normale et la loi Log Pearson par HYFRAN nous a permis de retenir la loi Log Normal comme meilleure loi d'ajustement (Figure III.18).

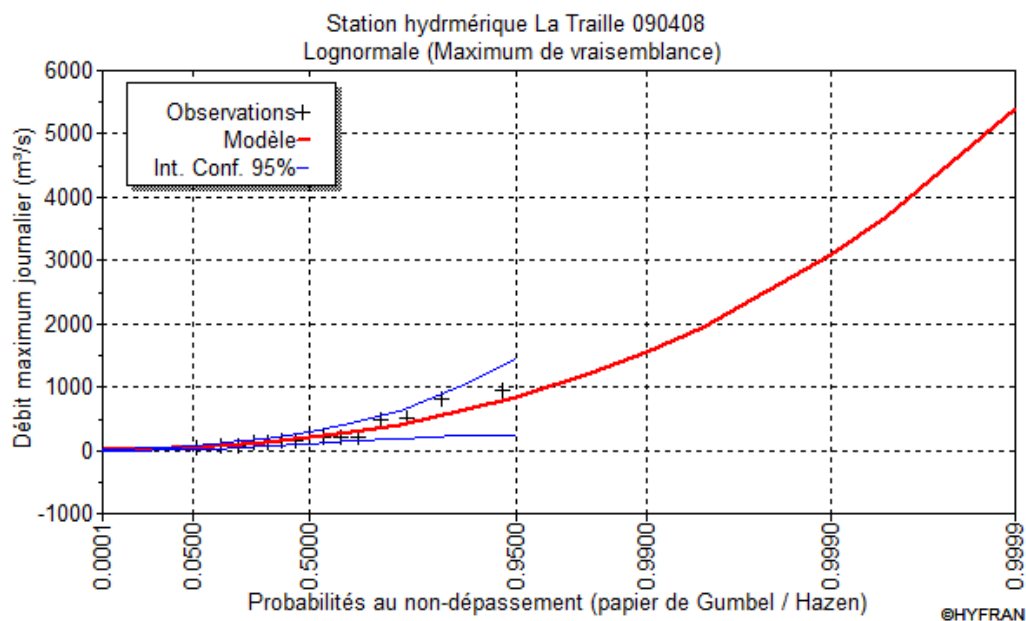


Figure (III.18) : Ajustement des débits max à loi Log –Normal (Maximum de vraisemblance) Station de la traille 090408

Le calcul des quantiles nous a permis de dresser le tableau (III.18)

Tableau (III.18) : Débits max fréquentiels de la station de la traïlle (090408),  $m=5.27$ ,  $\sigma=0.89$

Période de retour (ans)	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques (m <sup>3</sup> /s)
200.0	0.9950	1950
100.0	0.9900	1560
50.0	0.9800	1220
20.0	0.9500	847
12.0	0.9167	670
11.0	0.9091	642
10.0	0.9000	612
5.0	0.8000	413

### III.8.3 Station hydrométrique Beni Slimane 090305

L’ajustement des débits max annuels aux différentes lois suscitées par HYFRAN nous a permis de retenir la loi Log Normal comme meilleure loi d’ajustement (Figure III.19).

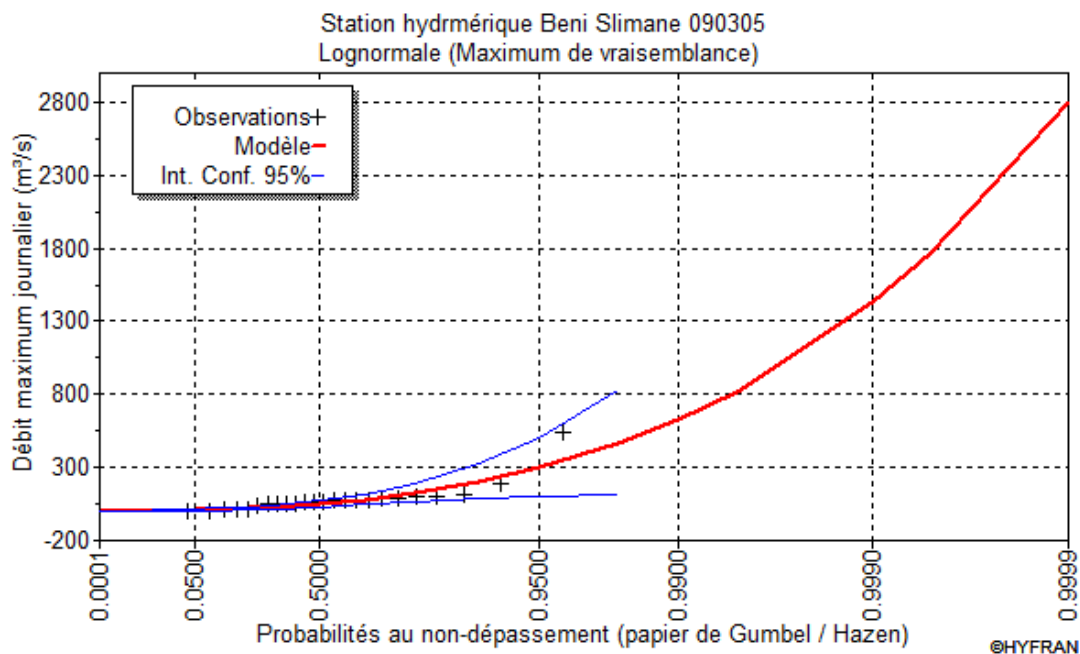


Figure (III.19) : Ajustement des débits max à loi Log - Normale ( Maximum de vraisemblance)

Station de Beni Slimane 090305

Le calcul des quantiles nous a permis de dresser le tableau (III.19)

Tableau (III.19) : Débits max fréquentiels de la station de Beni Slimane (090305),  $m=3.94$ ,  $\sigma=1.08$

Période de retour (ans)	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques (m <sup>3</sup> /s)
200.0	0.9950	820
100.0	0.9900	627
50.0	0.9800	468
20.0	0.9500	302
10.0	0.9000	204
5.0	0.8000	127
3.0	0.6667	81.7
2.0	0.5000	51.4

### III.8.4 Station hydrométrique Dechmia 090309

L'ajustement par HYFRAN des débits max annuels aux différentes lois suscitées nous a permis de retenir la loi Log Normal comme meilleure loi d'ajustement (Figure III.20).

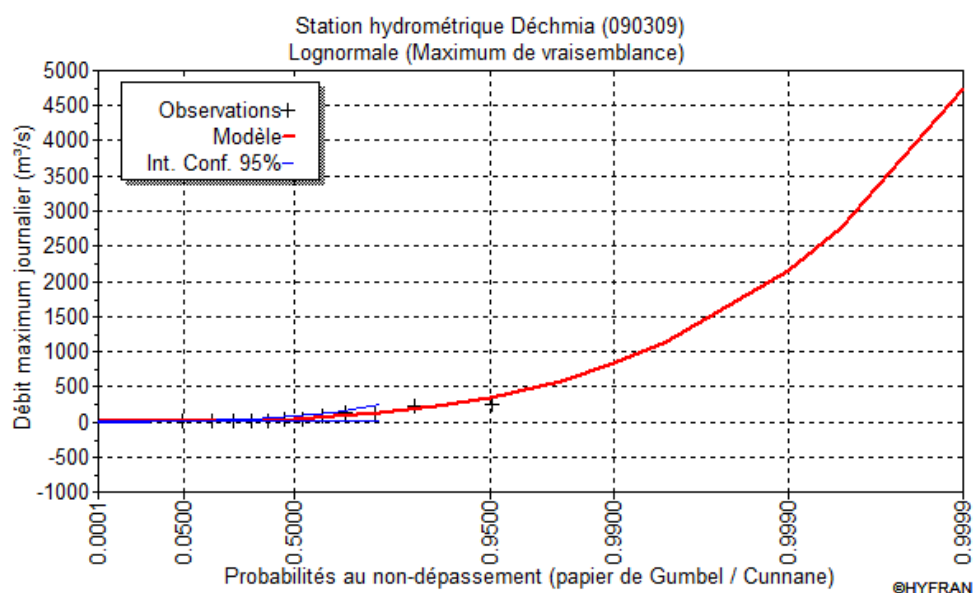


Figure (III.20) : Ajustement des débits max à loi Log - Normale ( Maximum de vraisemblance)  
Station de Dechmia 090309

Le calcul des quantiles nous a permis de dresser le tableau (III.20)

Tableau (III.20) : Débits max fréquentiels de la station de Beni Slimane (090309),  $m=3.80$ ,  $\sigma=1.25$

Période de retour (ans)	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques (m <sup>3</sup> /s)
100.0	0.9900	827
50.0	0.9800	587
20.0	0.9500	352
10.0	0.9000	223
5.0	0.8000	128
3.0	0.6667	76.6
2.0	0.5000	44.7

### III.8.5 Station hydrométrique Mezahim (090101)

L'ajustement par HYFRAN des débits max annuels aux différentes lois suscitées nous a permis de retenir la loi Log Normal comme meilleure loi d'ajustement (Figure III.21).

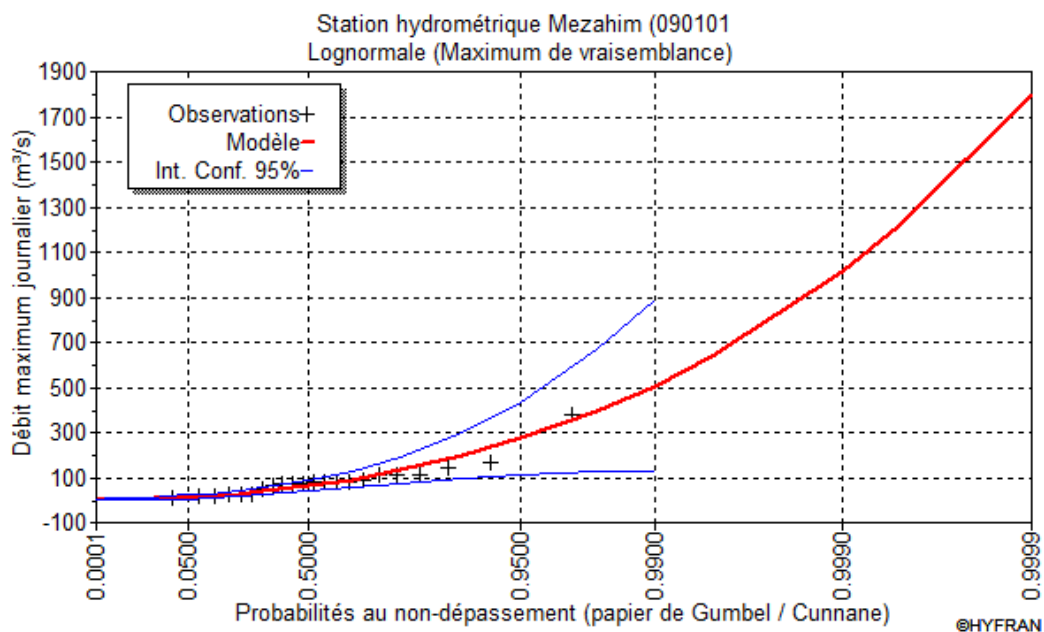


Figure (III.21) : Ajustement des débits max à loi Log - Normale ( Maximum de vraisemblance)

Station de Mezahim 090101

Le calcul des quantiles nous a permis de dresser le tableau (III.21)

Tableau (III.21) : Débits max fréquentiels de la station de Beni Slimane (090101),  $m=4.11$ ,  $\sigma=0.91$ 

Période de retour (ans)	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques (m <sup>3</sup> /s)
200.0	0.9950	636
100.0	0.9900	507
50.0	0.9800	396
20.0	0.9500	273
10.0	0.9000	196
5.0	0.8000	131
3.0	0.6667	90.4
2.0	0.5000	61.1

### III.9 Résultats du test d'adéquation pour les séries des débits max

Nous avons ajusté à des séries des débits max, des stations hydrométriques, plusieurs lois de probabilités (Gumbel, Log-Normale, Log Pearson III), puis nous avons procédé aux tests d'adéquation Khi-deux dont la procédure est détaillée dans le chapitre I. Nous présentons dans le tableau (III.22) ci-après les résultats de la loi retenue.

Tableau (III.22) : Résultats du test d'adéquation Khi-deux

Stations hydrométriques	Loi retenue	P-value	Seuil de signification	conclusion
090501	Log-normale	0.09	5%	H0 acceptée
090408	Log-normale	0.13	5%	H0 acceptée
090305	Log-normale	0.10	5%	H0 acceptée
090309	Log-normale	0.33	5%	H0 acceptée
090101	Log-normale	0.09	5%	H0 acceptée

Après des ajustements effectués aux différentes lois, nous avons constaté que les séries des débits des différentes stations s'ajustent bien avec une loi Log-Normale.

### III.10 Analyse fréquentielle des Pluies maximums journaliers

L'analyse fréquentielle des pluies max annuelles des séries observées au niveau des stations pluviométriques représentatives du bassin et des sous bassins de l'Oued Isser est parfois une étape importante dans l'étude des crues et le calcul des débits max fréquents, et par la suite pour prévoir l'hydrogramme de crue correspondant. Pour cela nous disposons des séries des pluies max observés au niveau de cinq stations pluviométriques.

Selon les travaux de (Zeggane H, 2005) la station pluviométrique représentative du bassin versant Isser est la station Djebahia (090403), concernant les sous bassins leurs stations représentatives sont les suivantes :

- Sous bassin contrôlé par la station hydrométrique de la traile (090408) : Station (09203) TablatDrs.
- Sous bassin contrôlé par la station hydrométrique Beni Slimane (090305) : Station pluviométrique Djouab (090301).
- Sous bassin contrôlé par la station hydrométrique de Dechiya (090309) : Station pluviométrique (0909314).
- Sous bassin contrôlé par la station hydrométrique (090101) par : la station pluviométrique Khemisti (090104).

Les modèles fréquents utilisés sont également la distribution statistique de Gumbel, la loi de distribution Log Normal et la loi de distribution Log Pearson III. Dans ce qui suit, on ne donne, pour chaque station pluviométrique représentative, que les résultats obtenus par HYFRAN, en utilisant la loi retenue.

#### III.10.1 Analyse fréquentielle des pluies max de la station de Djebahia 090403

L'ajustement par HYFRAN des pluies max annuelles aux différentes lois suscitées nous a permis de retenir la loi Log Normal comme meilleure loi d'ajustement (Figure III.22).

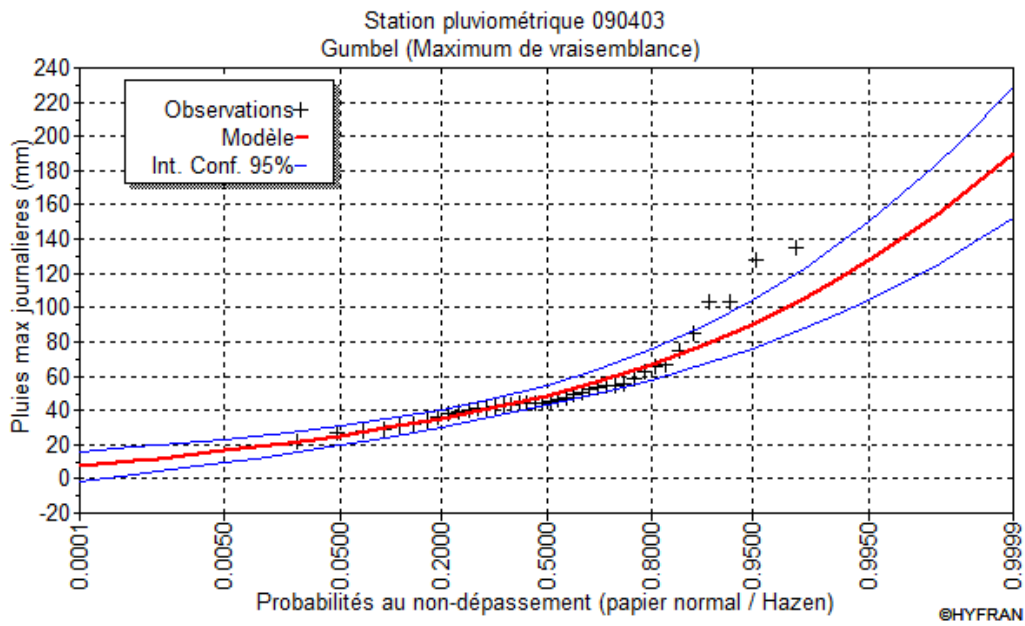


Figure (III.22) : Ajustement des pluies max à loi de Gumbel ( Maximum de vraisemblance) Station de Djebahia 090403

Le calcul des quantiles nous a permis de dresser le tableau (III.23)

Tableau (III.23) : Pluies max fréquentielles de la station de Djebahia (090403),  $m=42.91$ ,  $a=16.0$

Période de retour (ans)	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques (m <sup>3</sup> /s)
200.0	0.9950	128
100.0	0.9900	117
50.0	0.9800	105
20.0	0.9500	90.4
10.0	0.9000	78.9
5.0	0.8000	66.9
3.0	0.6667	57.4
2.0	0.5000	48.8

### III.10.2 Analyse fréquentielle des pluies max de la station de TablatDrs 090203

L'ajustement par HYFRAN des pluies max annuelles aux différentes lois suscitées nous a permis de retenir la loi Log-Normale comme meilleure loi d'ajustement (Figure III.23).

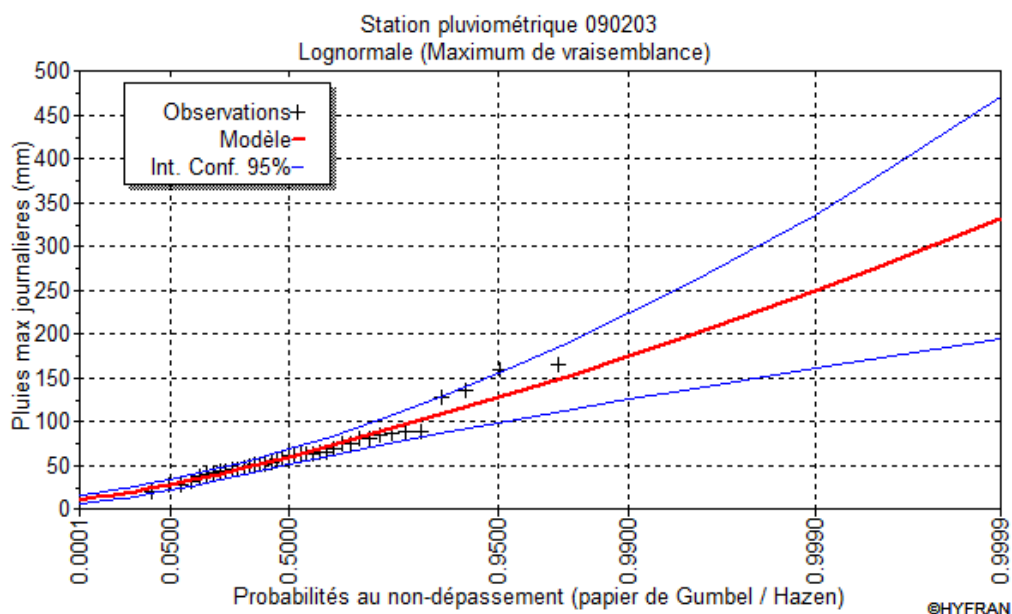


Figure (III.23) : Ajustement des pluies max à loi Log-Normale ( Maximum de vraisemblance) Station de TablatDrs 090203

Le calcul des quantiles nous a permis de dresser le tableau (III.24)

Tableau (III.24) : Pluies max fréquentielles de la station de TablatDrs (090203),  $m=4.08$ ,  $\sigma=0.46$

Période de retour (ans)	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques (mm)
200.0	0.9950	195
100.0	0.9900	174
50.0	0.9800	153
20.0	0.9500	127
10.0	0.9000	107
5.0	0.8000	87.4
3.0	0.6667	72.2
2.0	0.5000	59.2

**III.10.3 Analyse fréquentielle des pluies max de la station de Djouab 090301**

L’ajustement par HYFRAN des pluies max annuelles aux différentes lois suscitées nous a permis de retenir la loi Log-Normale comme meilleure loi d’ajustement (Figure III.24).

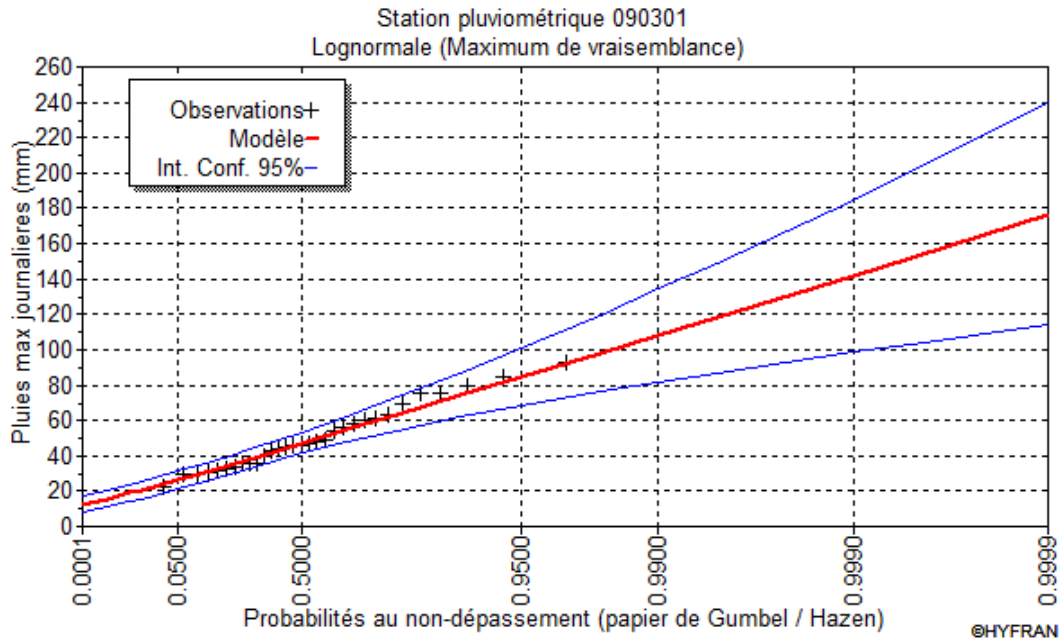


Figure (III.24) : Ajustement des pluies max à loi Log-Normale ( Maximum de vraisemblance) Station de Djouab 090301

Le calcul des quantiles nous a permis de dresser le tableau (III.25)

Tableau (III.25) : Pluies max fréquentielles de la station de Djouab (090301),  $m=3.85, \sigma=0.35$

Période de retour (ans)	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques (mm)
200.0	0.9950	118
100.0	0.9900	108
50.0	0.9800	98.0
20.0	0.9500	84.7
10.0	0.9000	74.5
5.0	0.8000	63.7
3.0	0.6667	55.1
2.0	0.5000	47.3

### III.10.4 Analyse fréquentielle des pluies max de la station de Dechiya 090314

L'ajustement par HYFRAN des pluies max annuelles aux différentes lois suscitées nous a permis de retenir la loi Log-Pearson III comme meilleure loi d'ajustement (Figure III.25).

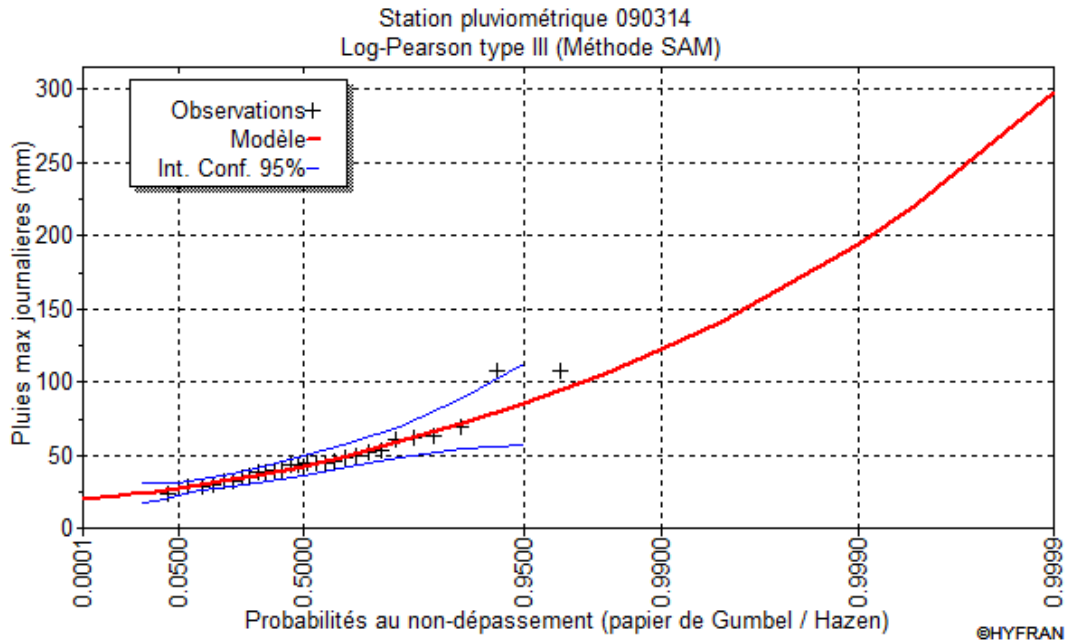


Figure (III.25) : Ajustement des pluies max à loi Log-Pearson III ( Maximum de vraisemblance)  
Station de Dechia 090314

Le calcul des quantiles nous a permis de dresser le tableau (III.26)

Tableau (III.26) : Pluies max fréquentielles de la station de Dechia (090314),  $m=1.24$ ,  $\alpha=17.47$  et  $v=7.20$

Période de retour (ans)	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques (m <sup>3</sup> /s)
200.0	0.9950	141
100.0	0.9900	122
50.0	0.9800	105
20.0	0.9500	84.9
10.0	0.9000	71.3
5.0	0.8000	58.7
3.0	0.6667	50.0
2.0	0.5000	42.6

### III.10.5 Analyse fréquentielle des pluies max de la station de Khemisti 090104

L'ajustement par HYFRAN des pluies max annuelles aux différentes lois suscitées nous a permis de retenir la loi Log-Normale comme meilleure loi d'ajustement (Figure III.26).

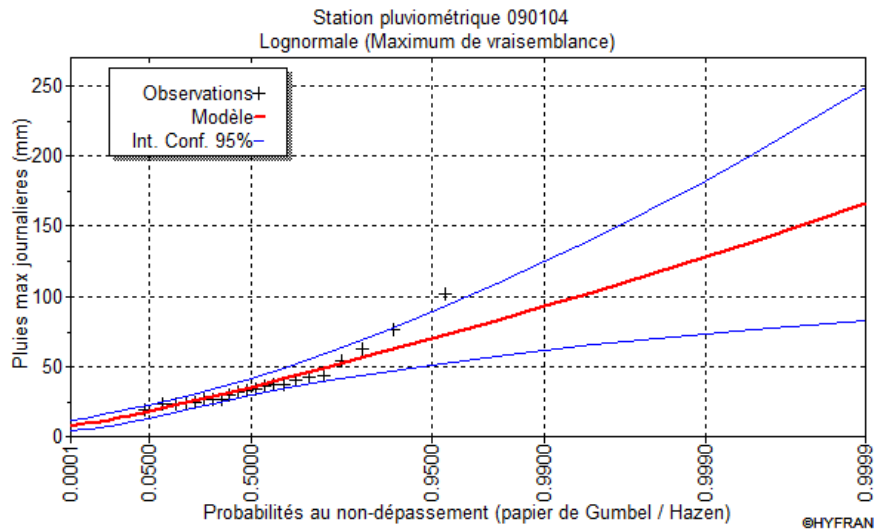


Figure (III.26) : Ajustement des pluies max à loi Log-Normale ( Maximum de vraisemblance)  
Station de Khemisti 090104

Le calcul des quantiles nous a permis de dresser le tableau (III.27)

Tableau (III.27) : Pluies max fréquentielles de la station de Khemisti (090104),  $m=3.56$ ,  
 $\sigma=0.41$

Période de retour (ans)	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques (m <sup>3</sup> /s)
200.0	0.9950	103
100.0	0.9900	92.9
50.0	0.9800	83.0
20.0	0.9500	70.0
10.0	0.9000	60.2
5.0	0.8000	50.1
3.0	0.6667	42.3
2.0	0.5000	35.3

### III.11 Résultats du test d'adéquation pour les séries des pluies max

Nous présentons dans le tableau (III.28) ci-après les résultats du test d'adéquation Khi-deux pour les lois retenue dans ce travail.

Tableau (III.28) : Résultats du test d'adéquation Khi-deux

Stations pluviométriques	Loi retenue	P-value	Seuil de signification	Conclusion
090403	Gumbel	0.34	5%	H0 acceptée
090203	Log-normale	0.20	5%	H0 acceptée
090301	Log-normale	0..61	5%	H0 acceptée
090314	Log-Pearson III	0.80	5%	H0 acceptée
090104	Log-normale	0.34	5%	H0 acceptée

### III.12 Comparaison entre les débits max fréquents par ajustement et par formules empiriques pour une période de retour T= 20 ans.

Nous présentons dans ce qui suit un récapitulatif, dans le tableau III.25, des calculs pour le calcul des débits fréquents par des formules empiriques mentionnées dans la partie bibliographique.

Tableau (III.29) : Comparaison entre valeurs fréquentielles par ajustement aux lois de probabilité et les valeurs calculées par les formules empiriques

Symbole	Unité	90101	90309	90305	90408	90501
S	km <sup>2</sup>	665	73	273	2570	3615
Hmax	m	1467	1810	1371	1810	1810
Hmin	m	595	810	600	349	90
Hmoy	m	750	940	940	843	710
Lcp	km	45	11,5	26	109	200
P annuelles	m	0,348	0,441	0,5	0,485	0,657
exposant climatique BODY		0,35	0,37	0,38	0,39	0,4
Tpériode de retour	Ans	20	20	20	20	20
K de Mallet Gauthier		2	2	2	2	2
Pmaxj, T	mm	70,00	84,90	84,70	127,00	90,40
Pente du cours d'eau principale I	%	1,94	8,70	2,97	1,34	0,86
tc (heures)	Heures	11,31	4,97	8,27	17,92	22,38
Pmaxj %, tc	m3	53,80	47,43	56,49	113,33	87,91
Gamme de Giandotti		100	100	100	100	100
Qmax, T de Mallet-Gauthier (m3/s)	(m3/s)	656,90	177,98	432,92	1694,28	1913,45
Qmax, T de Giandotti (m3/s)	(m3/s)	<b>261,01</b>	76,76	<b>270,60</b>	<b>1767,32</b>	<b>1464,05</b>
Qmax, T de Turraza (m3/s)	(m3/s)	742,90	<b>224,94</b>	505,06	3288,42	2636,21
Qmax par Ajustement	(m3/s)	<b>273</b>	<b>352</b>	<b>302</b>	<b>847</b>	<b>1420</b>

Il semble, pour les stations hydrométriques de Lakhdaria, la traïlle, Beni Slimane et Mezahim, que la formule de Giandotti donne des résultats proches à ceux calculés par les l'analyse fréquentielle (meilleures lois d'ajustements).

### III.13 Conclusion

Ce chapitre a fait l'objet de calcul des hydrogrammes de crues ainsi que l'analyse fréquentielle des données max de débit et de précipitation.

La superposition des hydrogrammes unitaires réduits obtenus à partir des hydrogrammes bruts observées au niveau des stations : Pont de la trailla (90408), Lakhdaria ((090501), Dechmia (090309), Beni Slimane (090305) et Mézahim (090101), a permis de calculer pour chaque station hydrométrique un hydrogramme type ou un hydrogramme adimensionnel normé. Un tel hydrogramme-type peut être appliqué au même bassin (et aux mêmes stations) pour fournir un hydrogramme de crue rare.

Un modèle Log-Normale type de Galton a été employé pour simuler les hydrogrammes de crues. La qualité de simulation par le modèle proposé a été basée sur la comparaison des hydrogrammes mesurés à ceux calculés par l'hydrogramme synthétique type Galton. Au regard des résultats obtenus et validés par le critère de Nash, nous pouvons dire que le modèle type Galton log-normale peut être adopté et appliqué pour l'établissement des hydrogrammes de crues pour les différentes stations hydrométriques du bassin versant d'Oued Isser.

L'analyse fréquentielle d'une série de débits maximaux et de pluies maximales permet

L'analyse fréquentielle des données max de débit et de précipitation par le logiciel HYFRAN a permis de conclure que toutes les séries du débit max s'ajustent bien à la loi Log-Normale. Les séries des précipitations max des stations de TablatDrs (090203), Djouab (090301) et Khemisti (090104) s'ajustent bien à la loi Log-Normale également, tandis-ce que les séries des pluies max des stations de Djebahia (090403) et Dechiya (090314) s'ajustent bien aux lois de Gumbel et Log Pearson respectivement. Le test Khi-deux a été employé pour la validation de l'adéquation des ces lois de probabilité.

L'analyse fréquentielle permet de choisir les meilleurs lois d'ajustement afin de pouvoir calculer les débits max de projet pour différentes périodes de retour T. elle permet également de valider quelques formules empiriques utilisée pour le calcul des débits max fréquents dans le bassin versant d'Oued Isser. La Comparaison entre les débits max fréquents obtenus par ajustement et par formules empiriques montre, pour les stations hydrométriques de Lakhdaria, la trailla, Beni Slimane et Mezahim, que la formule de Giandotti donne des résultats proches à ceux calculés par les l'analyse fréquentielle.

Arrivé au terme de ce travail, nous pensons avoir atteint les objectifs fixés au départ à savoir la mise au point d'une méthode appropriée pour l'établissement des hydrogrammes de crues et l'analyse fréquentielle des données hydro-pluviométrique dans le bassin versant d'Oued Isser (Nord Algérie).

Dans le premier chapitre, une recherche bibliographique a été réalisée afin de mieux comprendre les méthodes de calcul et de mesure des débits de crues et les méthodes de construction des hydrogrammes de projet par formulation analytique en présence et en absence de données de mesure. La recherche bibliographique a traité également l'analyse fréquentielle d'une série de débits maximaux ou de pluies maximales qu'on utilise généralement pour estimer le temps de retour d'une valeur particulière ou une valeur particulière d'un période de retour (fréquence) donné. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation décrivant le comportement statistique des valeurs extrêmes. Ces modèles décrivant la probabilité d'apparition d'un événement de crue ou de pluie sont dans la plupart des cas : la distribution statistique de Gumbel, la loi de disdistribution Log Normal et la loi de distribution Log Pearsson III.

Dans le chapitre II et après avoir présenté la région d'étude des points de vue géographie, climat, température, evapo-transpiration, gelée et vent ; nous avons examiné les différentes caractéristiques morphométriques du bassin (physiques, hydrographique, lithologique et topographique) ainsi que la situation de la ressource en eau dans ce bassin. Les principaux paramètres du milieu physique analysés ci-dessus fond du bassin une géostructure plus ou moins complexe le rendant très sensible au processus d'écoulement. Cette complexité s'explique en grande partie par la grande variété des faciès géologiques, des formes topographiques, du couvert végétal, des systèmes de pentes et des nuances climatiques. Les formations de sol imperméable (marneux), les terrains accidentés et le pourcentage élevé des sols nus dépourvus de végétation favorisent l'écoulement de surface.

Dans le chapitre III, nous avons traité le calcul des hydrogrammes de crues ainsi que l'analyse fréquentielle des données max annuels de débit et de précipitation. La superposition des hydrogrammes unitaires réduits obtenus à partir des hydrogrammes bruts observées au niveau des stations : Pont de la trailla (90408), Lakhdaria ((090501), Dechmia (090309), Beni Slimane (090305) et Mézahim (090101), a permis de calculer pour chaque station hydrométrique un hydrogramme type ou un hydrogramme adimensionnel normé. Un tel hydrogramme-type peut être appliqué au même bassin (et aux mêmes stations) pour fournir un hydrogramme de crue rare. De plus, un modèle Log-Normale type de Galton a été employé pour simuler les hydrogrammes de crues. La qualité de simulation par le modèle proposé a été basée sur la comparaison des hydrogrammes mesurés à ceux calculés. Au regard des résultats obtenus et validés par le critère de Nash, nous pouvons conclure que le modèle type Galton log-normale peut être adopté et appliqué pour l'établissement des hydrogrammes de crues pour les différentes stations hydrométriques du bassin versant d'Oued Isser.

L'analyse fréquentielle des données max du débit et de précipitation par le logiciel HYFRAN a permis de conclure que toutes les séries du débit max s'ajustent bien à la loi Log-Normale. Les séries des précipitations max des stations de TablatDrs (090203), Djouab (090301) et Khe-misti (090104) s'ajustent bien à la loi Log-Normale également, tandis-ce que les séries des pluies max des stations de Djebahia (090403) et Dechiya (090314) s'ajustent bien aux lois de Gumbel et Log Pearson respectivement. Le test Khi-deux a été employé pour la validation de l'adéquation des ces lois de probabilité. L'analyse fréquentielle permet de choisir les meilleurs lois d'ajustement afin de pouvoir calculer les débits max de projet pour différentes périodes de retour T. Elle permet également de valider quelques formules empiriques utilisée pour le calcul des débits max fréquents dans le bassin versant d'Oued Isser. La Comparaison entre les débits max fréquents obtenus par ajustement et par formules empiriques montre, pour les stations hydrométriques de Lakhdaria, la trailla, Beni Slimane et Mezahim, que la formule de Giandotti donne des résultats proches à ceux calculés par les l'analyse fréquentielle.

Enfin, les résultats obtenus dans cette étude apportent cependant des renseignements utiles pour le problème du calcul des crues qui préoccupe à juste titre les constructeurs de barrages et les hydrologues.

### Références Bibliographiques

- Amani, A et Lebel, T. (1998). Relationship between point rainfall, average sampled rainfall and ground truth at the event scale in the Sahel. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 12(2), 141-154.
- ANBT. (2014). Rapport interne de l'ANBT. Alger
- A.N.R.H. (2002). Rapport Interne de L'A.N.R.H, Alger.
- A.N.R.H. (2001). Rapport Interne de L'A.N.R.H, Alger.
- A.N.R.H. (2000). Rapport Interne de L'A.N.R.H, Alger.
- A.N.R.H. (1996). Rapport Interne de L'A.N.R.H, Alger.
- A.N.R.H. (1993). Annuaire Hydrologiques de l'Algérie. Alger
- Boutoutaou, D. et Zeggane, H. (2015). Methode De Calcul Des Crues Des Oueds De L'Algerie. *Revue LJEE*, (24 et 25). ENSH. Algérie.
- Boutoutaou, D. (2007). Les laves torrentielles et la catastrophe de Bab El Oued. *Séminaire national sur « Les catastrophes naturelles liées au climat »*, 6 et 7 novembre 2007. INFR. Oran. Algérie.
- Coyne et Bellier. (2010). *Barrage Koudiat Acerdoun*, rapport N°119, monographie, ministère des ressources en eau. ANBT. Algérie.
- Creutin, J. D. et Obled, C. (1982). Objective analyses and mapping techniques for rainfall fields: an objective comparison. *Water resources research*, 18(2), 413-431.
- Delhomme, J. P. (1978). Kriging in the hydrosociences. *Advances in water resources*, 1(5), 251-266.
- DHW (2009). Rapport interne des DHW.Bouira, Tizi ouzou, Boumerdès, Médea. Algérie
- DHW Bouira (2004). Rapport interne de la DHW Bouira.
- Eichert, B.S., Kindler, J., Schultz, G.A. et Sokolov, A. A. (1985). Méthodes de calcul pour les études hydrologiques concernant l'aménagement des eaux. Unesco 1985 .ISBN 92-3-202005-X
- Gellens, D. et Schändler, B. (1997). Comparaison des réponses du bilan hydrique de bassins situés en Belgique et en Suisse à un changement de climat. *Revue des Sciences de l'Eau* 1997 ; 3 : 395-414.
- Grabs, W., Daamen, K., Gellens, D., Kwadijk, J.C.J., Lang, H. et Middelkoop, H. (1997). Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. *International commission for the hydrology of the Rhine basin*. CHR-Report n° I-16.
- Ketrouci, K., Meddi, M. et Abdesselam, B. (2012). Étude des crues extrêmes en Algérie : cas du bassin-versant de la Tafna. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 23(4), 297-305.
- Laborde, J.P. (2003). Hydrologie de surface. Univ de Nice-Sophia Antipolis
- Lahlah, S. (2004). Les inondations en Algérie. *Actes des Journées Techniques/ Risques Naturels : Inondation, Prévision, Protection /Batna 15/16/décembre 2004*.
- Llamas, J. (1992). Hydrologie Générale application et principe. Edition Gaetanmorin. Canada.
- Nash, J. E. et Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), 282-290.
- Organisations des Nations-Unies. (1994). Conférence mondiale sur la prévention des catastrophes naturelles. Rapport de conférence mondiale sur la prévention des catastrophes naturelles. Yokohama (Japon) : DIPCN. <http://preventionweb.net/go/10996>.
- PNE. (1993). Plan national de l'eau. Algérie.
- Sokolovsky, D.L. (1949). methods of plotting of storm runoff hydrograph by precipitation data. *Proceedings of the state hydrological institute*. Issue 14 (68).

### Support informatique

**1. Logiciels**

**ArcGIS** : Cartographie, calcul hydrologique (hydrotools), réseau hydrographique et caractéristique, délimitation des bassins versants et caractéristiques morphométriques, carte des pentes, carte des altitudes.

**2. Support cartographique**

**MNA** :

<http://earthexplorer.usgs.gov/> : Digital élévation de la région d'étude, téléchargeable après inscription.

Google earth : <https://www.google.fr/earth/download/ge/agree.html>

**3. Hyfran** : ajustement et modélisation hydrologique, version démo réf: [hydro-Quebec.com](http://hydro-Quebec.com).