

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté des Sciences de la Terre

Département de Géologie

## Mémoire de Magistère

Option

*Ingénierie des Ressources en Eau*

**Estimation des crues de référence pour les Plans de Prévention du Risque Inondation. Cas du bassin versant du Saf Saf, NE algérien.**

Soutenu par :

**Amel MAOU**

Devant le jury composé de :

Président : Dr. El Fadel DERRADJI  
Encadreur: Dr. Laroussi BELOULOU  
Examineurs : Dr. Keblouti NAFAA  
Dr. Salah CHAAB

Prof. Université Badji Mokhtar-Annaba  
M.C. Université Badji Mokhtar-Annaba  
MC. Université Badji Mokhtar-Annaba  
MC. Université Badji Mokhtar-Annaba

**Année 2011**

## ملخص

تشكل الفيضانات المرتبطة بالأحوال الجوية في حوض وادي الصفصاف الخطر الطبيعي الأكثر خشية من طرف السكان القاطنين على ضفافه. هذه الأخيرة أضحت أكثر فأكثر غير قابلة للتحمل على الصعيدين البشري و المادي. على مدى السنين أنجزت السلطات العمومية بعض مشاريع التهيئة ذات الطابع الهيكلي من أجل حماية الأشخاص والممتلكات في البلديات الأكثر حساسية. غير أن الخسائر المسجلة نتيجة الأمطار الغزيرة لشهري نوفمبر 2004 و فيفري 2011 أظهرت محدودية التقنيات القائمة و بالتالي ضرورة إعادة النظر في فعاليتها.

إن دراسة الاحتمالات و الترددات وتحليل الروابط بين الأمطار و التدفقات القصوى المسجلة على مستوى محطة الخماخم ، من جهة ، و تحليل معطيات الفيضانات التاريخية ، من جهة أخرى ، أدوا إلى تطوير بعض النماذج التجريبية لاستقراء نتائج تقييم التدفقات التي على أساسها تقام المشاريع التهيئية (الفيضانات العشرية، الخمسينية و المئوية) للأحواض الخالية من كل أجهزة قياس التدفق و كذلك التعريف بالفيضانات المرجعية من أجل إقامة مخططات الوقاية من خطر الفيضان (PPRI) للبلديات الأكثر تعرضا لهذه الظاهرة على مستوى المنطقة التي أجريت فيها الدراسة.

يمكن للنتائج المحصلة عليها تغذية نموذج هيدروليكي للجريان على السطح مما يسمح لنا ، بعد مسح طبوغرافي لبقايا الفيضانات ، بمعرفة مدى عرض و عمق المساحة المغطاة بالمياه ، توزيع التدفق و سرعة الجريان. جميع هذه المعطيات ضرورية لتخطيط مناطق الخطر كما هو معرف في مخططات الوقاية من خطر الفيضان. هذه الوثائق كفيلا بالتجاوب مع ضروريات الحماية و الوقاية و كذلك الحفاظ على الممتلكات في مسطحات الفيضانات في إطار التنمية المستدامة.

**كلمات البحث:** حوض الصفصاف ، خطر الفيضانات ، تحليل التردد ، الارتباط ، الفيضانات المرجعية ، PPRI.

## Abstract

In the Saf Saf wadi basin, heavy rain related floods are the natural hazard that is mostly feared by riparians. These floods are becoming a burden in terms of both human and material damages. Over the years, governments have made some structural adjustments to protect civilians and goods in the most vulnerable municipalities. Nevertheless, the damage caused by November 2004 and February 2011 heavy rainfalls showed the reduced effects of such techniques and, therefore, the necessity to review the effectiveness and appropriateness of these measures.

The frequency study, the correlation analysis by least squares method of extreme rainfall and runoff data recorded at the Khemakhem and the treatment of major historical floods have helped develop some empirical models to extrapolate, to lacking hydrometric equipment watersheds, the results of design flood discharge calculation (10 year, 50 year and 100 year floods) and to define reference floods that are required to prepare flood risk prevention plans (PPRI) for the most vulnerable communes in the studied area

These results can supply an open flow hydraulic model to provide, for any profile, the width of the flooded zone, the height of submergence, the discharges and velocities of flow. Such data are required for flood hazard mapping as defined in PPRI's. These documents of public interest meet, at a time, the requirements of protection, prevention and preservation of properties in floodplains within the context of sustainable development.

**Key words:** Saf Saf basin, flood risk, frequency analysis, correlation, reference flood, PPRI.

## Résumé

Dans le bassin de l'oued Saf Saf, les inondations, liées aux intempéries, constituent le risque naturel le plus redouté par les riverains. Ces inondations deviennent de plus en plus insupportables tant sur le plan humain que matériel. Au fil des années, les pouvoirs publics ont réalisé quelques aménagements à caractère structurel pour la protection des enjeux dans les communes les plus vulnérables. Néanmoins, les dommages occasionnés par les intempéries de Novembre 2004 et Février 2011 ont fait apparaître les effets réduits des techniques mises en œuvre et ont, par conséquent, remis en question l'efficacité et le bien-fondé de ces mesures.

L'étude fréquentielle, l'analyse de corrélation par la méthode des moindres carrés des pluies et des débits extrêmes enregistrés à la station de Khémakhem et le traitement des grandes crues historiques ont permis de développer quelques modèles empiriques pour extrapoler, aux bassins dépourvus de tout équipement hydrométrique, les résultants du calcul des crues de projet (crues décennale, cinquantennale et centennale) et de définir les crues de référence pour l'élaboration des plans de prévention du risque inondation (PPRI) pour les communes les plus vulnérables dans la zone d'étude.

Ces résultats peuvent alimenter un modèle hydraulique des écoulements à ciel ouvert permettant de fournir, pour tout profil, la largeur de la zone submergée, les cotes de submersion, la répartition des débits et des vitesses d'écoulement; informations requises pour la cartographie du risque inondation telle que définie dans les PPRI. Ces documents, constituant une servitude d'utilité publique, permettent de répondre, à la fois, à l'exigence de protection et de prévention et à la préservation des enjeux dans les plaines d'inondation dans le cadre du développement durable.

**Mots clés:** bassin du Saf Saf, risque d'inondation, analyse fréquentielle, corrélation, crue de référence, PPRI.

## **Remerciements**

*A la fin de ce travail, je ne manque d'adresser mes sincères remerciements à mon Dieu, le grand créateur, qui m'a a guidé dans mes pas pour arriver à ce niveau.*

*La réalisation de ce travail n'aurait pu être menée à terme sans le support continu de mon encadreur Dr. Laroussi Beloulou. Je désire lui adresser un remerciement tout particulier pour ses précieux commentaires et ses conseils pertinents qui m'ont grandement aidés tout au long des différentes étapes menant à l'élaboration de ce mémoire.*

*Nombreuses sont les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce travail que je dois, avec plaisir, remercier vivement.*

*Je voudrais également remercier les membres de jury, pour avoir bien voulu lire, commenter et débattre mon travail.*

*Je tiens aussi à remercier MM. Djafar ALLEM, Saadane Djorfi et Salah CHAAB de m'avoir toujours encouragé.*

*Je ne peux jamais oublier de remercier mes amis avec lesquels j'ai partagé des merveilleux moments durant le cycle de formation, notamment: Nadjette, Mériem, Naziha, Wahiba, Abd Ellatif, Samir....*

*Je remercie également tous les étudiants de la Post Graduation 'Ingénierie des Ressources en Eau'.*

*Je voudrais également remercier mes enseignants au département de Géologie de l'Université de Annaba.*

*Je remercie toute personne, qui de près ou de loin a généreusement contribué à l'élaboration de ce modeste travail.*

## DÉDICACES

A

- *mon mari Farid et mon futur bébé,*

- *mon père,*

- *mes frères et mes sœurs,*

- *ma belle famille,*

- *tous les gens que j'aime et qui m'aiment,*

*je dédie ce travail.*

## TABLE DES MATIERES

	<b>Page</b>
LISTE DES FIGURES .....	IV
LISTE DES TABLEAUX .....	VI
LISTE DES PHOTOGRAPHIES .....	IX
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : CONTEXTE GEOGRAPHIQUE, HYDROCLIMATOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE.....	7
1. Situation géographique de la zone d'étude.....	7
2. Caractéristiques hydroclimatologiques.....	8
2.1. Pluviométrie.....	8
2.1.1. Variabilité des précipitations.....	8
2.1.2. Fréquence des pluies dans le bassin du Saf-Saf.....	14
2.2. Température.....	17
2.3. Evapotranspiration et bilan.....	18
2.3.1. Calcul de l'évapotranspiration.....	18
2.3.2. Estimation du ruissellement.....	20
2.3.3. L'infiltration et le stockage dans les dépressions.....	21
2.4. Autre facteurs climatiques.....	22
3. Géomorphologie et hydrographie.....	24
3.1. Sous bassin de l'oued Saf-Saf amont.....	33
3.2. Sous-Bassin de l'oued Nessa.....	35

## TABLE DES MATIERES (SUITE)

	<b>Page</b>
3.3. Sous-Bassin de l'oued Ghbel (Oued Ammeur).....	35
3.4. Sous-Bassin de l'oued Hadarat.....	35
3.5. Sous-Bassin de l'oued Zéramna.....	35
4. Couvert végétal.....	36
4.1. Surfaces bien protégées en permanence.....	37
4.2. Surfaces incomplètement protégées.....	37
4.3. Surfaces mal protégées ou nues.....	38
5. Propriétés physiques des sols.....	38
6. Conclusion.....	43
CHAPITRE II : ETUDE DES ECOULEMENTS DE L'OUED SAF-SAF A KHEMAKHEM .....	44
1. Régime d'écoulement.....	44
1.1. Débits caractéristiques.....	44
1.2. Variabilité mensuelle et annuelle des débits.....	46
1.2.1. Variabilité mensuelle des débits.....	46
1.2.2. Variabilité interannuelle du débit.....	48
2. Analyse des crues.....	49
2.1. Caractéristiques des hydrogrammes de crue.....	50
2.2. Relation "Averse - Crue".....	52
2.3. Apports de l'oued en crue - Etablissement des courbes "Débit-Durée-Fréquence".....	54

## TABLE DES MATIERES (SUITE)

	<b>Page</b>
CHAPITRE III : ANALYSE FREQUENTIELLE DES CRUES EXTREMES DE L'OUED SAF-SAF A KHEMAKHEM.....	58
1. Introduction.....	58
2. Traitement des données collectées ( $Q_{max}$ et $Q_{jmax}$ ).....	60
2.1. Fiabilité des données et caractéristiques de la distribution des fréquences.....	60
2.2. Analyse statistique descriptive.....	62
a. Evaluation des crues rares dans le bassin du Saf Saf à Khémakhem.....	63
b. Tests d'adéquations des ajustements.....	65
2.3. Choix du modèle probabiliste pour l'estimation des événements rares.....	65
2.3.1. Données synthétiques, intervalles de confiance et incertitudes.....	70
3. Essai de corrélations.....	73
4. Crues de référence pour l'élaboration des PPRI dans le bassin du Saf Saf.....	78
CONCLUSIONS GENERALES-RECOMMANDATIONS.....	88
LISTE DES REFERENCES.....	91
ANNEXES.....	95

## LISTE DES FIGURES

	<b>Page</b>
Fig. 1. Carte de Situation Géographique du Bassin Versant de l'Oued Saf-Saf.....	7
Fig. 2. Variation du coefficient annuel de la pluie dans le bassin du Saf-Saf.....	10
Fig. 3. Variabilité des pluies annuelles dans le bassin du Saf-Saf.....	10
Fig. 4. Variations mensuelles des pluies dans le bassin.....	11
Fig. 5. Répartition saisonnière des pluies dans le bassin.....	12
Fig. 6. Carte Lithologique du Bassin Versant de l'oued Saf-Saf.....	25
Fig. 7. Carte des pentes du bassin versant de l'oued Saf-Saf.....	26
Fig. 8. Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Saf-Saf.....	34
Fig. 9. Variations journalières des débits de l'oued Saf-Saf.....	45
Fig. 10. Courbes des débits classés de l'oued Saf-Saf.....	45
Fig. 11. Coefficient mensuel de débit de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	47
Fig. 12. Variabilité mensuelle des débits de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	47
Fig. 13. Variabilité interannuelle de débit de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	48
Fig. 14. Décomposition de la crue du 10/03/1993 par la méthode des rapports.....	50
Fig. 15. Evolution du volume en fonction de la durée de la crue de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	52
Fig. 16. Relation "averse-crue" de l'épisode pluvieux du 08/01/1988.....	53
Fig. 17. Fréquence des apports en eau de l'oued Saf-Saf à Khemakhem.....	55
Fig. 18. Courbes QDF de l'oued Saf-Saf à Khemakhem (hautes eaux).....	56

## LISTE DES FIGURES (SUITE)

	<b>Page</b>
Fig. 19. Principales étapes de l'analyse fréquentielle des débits maxima de l'oued Saf Saf à Khémakhem.....	59
Fig. 20. Boîtes à moustaches et diagrammes Tiges-Feuilles des débits maxima de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	61
Fig. 21. Histogrammes des fréquences des débits maxima de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	62
Fig. 22. Graphiques de symétrie des débits maxima de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	63
Fig. 23. Tests graphiques de l'ajustement des débits maxima journaliers à une GEV.....	66
Fig. 24. Tests graphiques de l'ajustement des débits maxima absolus à une GEV.....	67
Fig. 25. Intervalles de confiance des débits maxima journaliers probables de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	71
Fig. 26. Intervalles de confiance des débits maxima absolus probables de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	72
Fig. 27. Représentation graphique des débits maxima absolus en fonction des débits maxima journaliers.....	74
Fig. 28. Représentation graphique des débits en fonction de la période de retour.....	74
Fig. 29. Représentation graphique des pluies journalières maximales probables en fonction de la période de retour.....	75
Fig. 30. Relation entre les débits maxima de même fréquence.....	76
Fig. 31. Représentation graphique des débits spécifiques maxima probables en fonction de la période de retour.....	76
Fig. 32. Représentation graphique des débits spécifiques maxima et des pluies journalières maximales probables.....	77
Fig. 33. Hétérogramme et hydrogramme de la crue du 28/12/1984 au 01/01/1985.....	85
Fig. 34. Carte de repérage des exutoires de référence.....	87

## LISTE DES TABLEAUX

	<b>Page</b>
Tableau 1. Identification des postes pluviométriques (BCEOM-BG-SOGREAH, 2005).....	8
Tableau 2. Variabilité spatiale et temporelle des pluies dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf.....	9
Tableau 3. Nombre moyen de jours de pluie dans le bassin du Saf-Saf.....	12
Tableau 4. Pluies annuelles : Caractéristiques numériques de la distribution des fréquences.....	14
Tableau 5. Résultats des tests d'adéquation des ajustements.....	15
Tableau 6. Fréquence des pluies annuelles dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf (Loi de Gauss).....	15
Tableau 7. Fréquence des pluies annuelles dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf (Loi de Galton).....	16
Tableau 8. Fréquence des pluies annuelles dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf.....	16
Tableau 9. Pluies journalières maximales à Zardézas : Caractéristiques numériques de la distribution des fréquences.....	17
Tableau 10. Fréquence des pluies journalières maximales à Zardézas (bassin versant de l'oued Saf-Saf).....	17
Tableau 11. Variations des températures moyennes mensuelles et annuelles.....	18
Tableau 12. Bilans de Thornthwaite dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf (Réserve facilement utilisable: 120 mm).....	19
Tableau 13. Résultat du calcul du ruissellement.....	21
Tableau 14. Calcul de l'infiltration et du stockage dans les dépressions dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf (Année moyenne: 1970/1971-2008/2009).....	22
Tableau 15. Variations mensuelles des paramètres météorologiques dans le bassin du Saf-Saf.....	23
Tableau 16. Indices morphométriques du bassin du Saf-Saf (Abdelli et al., 1991).....	34

## LISTE DES TABLEAUX (SUITE)

	<b>Page</b>
Tableau 17. Classification texturale des sols dans le bassin de l'oued Saf-Saf (Mehalli et al., 1991).....	39
Tableau 18. Ajustement de la capacité d'infiltration dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf à un modèle de Kostiakov.....	41
Tableau 19. Ajustement de la capacité d'infiltration dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf à un modèle de Horton.....	42
Tableau 20. Détermination du groupe de sol à partir de la capacité d'infiltration minimale ( $f_{\min}$ ).....	42
Tableau 21. Débits caractéristiques de l'oued Saf-Saf à Khémakhem période (1973/74-2001/02).....	46
Tableau 22. Variabilité mensuelle et annuelle des débits de l'oued Saf-Saf.....	46
Tableau 23. Relation ' <i>lame d'eau écoulée-précipitation</i> ' à la station des Zardézas.....	49
Tableau 24. Caractéristiques des crues de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	51
Tableau 25. Caractéristiques des événements " <i>pluie-débit</i> " de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	54
Tableau 26. Résultats des tests non paramétriques (séries étudiées).....	61
Tableau 27. Statistiques des crues maximales (valeurs observées en $m^3/s$ ).....	62
Tableau 28. Paramètres des lois de distributions des probabilités utilisées.....	64
Tableau 29. Résultats de l'analyse fréquentielle des débits maxima journaliers de l'oued Saf-Saf à Khémakhem ( $m^3/s$ ).....	64
Tableau 30. Résultats de l'analyse fréquentielle des débits maxima absolus de l'oued Saf-Saf à Khémakhem ( $m^3/s$ ).....	65
Tableau 31. Résultats des tests d'hypothèse de l'ajustement des débits maxima journaliers de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	68
Tableau 32. Résultats des tests d'hypothèse de l'ajustement des débits maxima absolus de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	68
Tableau 33. Résultats des tests de l'ajustement des débits maxima journaliers de l'oued Saf-Saf à Khémakhem par la méthode de dénombrement.....	69

## LISTE DES TABLEAUX (SUITE)

	<b>Page</b>
Tableau 34. Résultats des tests de l'ajustement des débits maxima absolus de l'oued Saf-Saf à Khémakhem par la méthode de dénombrement.....	69
Tableau 35. Débits maxima probables de l'oued Saf-Saf à Khémakhem (m <sup>3</sup> /s).....	69
Tableau 36. Limites de confiance des débits maxima journaliers probables de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	70
Tableau 37. Limites de confiance des débits maxima absolus probables de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	71
Tableau 38. Erreurs relatives sur les débits maxima journaliers probables de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	72
Tableau 39. Erreurs relatives sur les débits maxima absolus probables de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	73
Tableau 40. Résultats de l'analyse corrélatrice des données observées de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	75
Tableau 41. Relations entre débits maxima probables et période de récurrence dans le bassin de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	77
Tableau 42. Relations entre débits maxima probables-pluies journalières maximales-période de récurrence dans le bassin de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	78
Tableau 43. Débits estimés des Crues exceptionnelles de l'oued Saf-Saf et ses principaux affluents (Modèle de Francou-Rodier).....	80
Tableau 44. Crue centennale estimée de l'oued Saf-Saf et ses principaux affluents.....	80
Tableau 45. Crue cinquantiennale estimée de l'oued Saf-Saf et ses principaux affluents.....	81
Tableau 46. Crue décennale estimée de l'oued Saf-Saf et ses principaux affluents.....	82
Tableau 47. Indices pluviométriques de la crue de Décembre 1984 (mm) (Relevés aux pluviomètres).....	83
Tableau 48. Hyètoigrammes afférents à une durée de 6 heures à la station des Zardézas (Episodes pluvieux du 28/12/1984 au 01/01/1985 : mm).....	84
Tableau 49. Intensités maximales des averses à la station des Zardézas (mm/h).....	84
Tableau 50. Caractéristiques de l'événement 'Averse-Crue' du 28/12/1984 au 01/01/1985.....	86
Tableau 51. Bassin versant du Saf-Saf : Crues de références adoptées.....	86

## LISTE DES PHOTOGRAPHIES

	<b>Page</b>
Photo 1. Skikda-Les allées : Inondations du 28 Décembre 1984.....	13
Photo 2. Ramdane Djamel - CEM Echiheb : Inondations du 28 décembre 1984.....	13
Photo 3. Dépression de Salah Bouchaour.....	27
Photo 4. Dépression de Ramdane Djamel.....	27
Photo 5. Ramdane Djamel- Inondation du 3 et 4 février 2011 (Débordement de l'oued Saf Saf ) .....	28
Photo 6. Ramdane Djamel- Inondation du 3 et 4 février 2011 (Débordement des oueds Zerga).....	28
Photo 7. Partie amont du bassin de l'oued Ghebel (région de Sidi Mezghich - Medjez Edchich).....	29
Photo 8. Partie centrale et aval du bassin de l'oued Ammeur (région de Medjez Edchich).....	30
Photo 9. Bassin versant de l'oued Hadarat (Dj. R'Dir).....	30
Photo 10. Limite Sud du bassin des oueds Nessa et Saf-Saf ( Kef Toumiettes).....	31
Photo 11. Limite Ouest du bassin de l'oued Zéramna (Dj. Medjajda).....	31
Photo 12. Bassin versant de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.....	32
Photo 13. Oued Saf-Saf à l'embouchure (Ouest du complexe pétrochimique de Skikda).....	33
Photo 14. Bassin versant de l'oued Charchar à Bouchetata.....	36
Photo 15. Forêt du flanc Est de Dj. Staiha.....	37
Photo 16. Bassin de l'oued Saf-Saf à l'amont de Khémakhem (Mai 2006).....	38

## **INTRODUCTION**

L'inondation est définie comme étant une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Au sens large, les inondations comprennent les débordements d'un cours d'eau, les remontées de nappes, les ruissellements résultant de fortes pluies d'orages, les inondations par rupture d'ouvrages de protection (brèches dans les digues), les inondations estuariennes résultant de la conjonction de fortes marées, de situations dépressionnaires et de la crue des cours d'eau.

La crue est une augmentation de la quantité d'eau (le débit) qui s'écoule dans le cours d'eau ; on appelle inondation le débordement du lit mineur qui en résulte. La crue est un risque prévisible. Son importance dépend de trois paramètres: la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la durée. Elle dépend donc des précipitations (extension géographique, intensité, durée et fréquence), de l'état du bassin versant (relief, hygrosco pie, occupation), des caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur, pente, ...). Ces caractéristiques naturelles peuvent être aggravées par les activités humaines. Ce phénomène est prévisible dans son intensité, mais il est difficile de connaître le moment où il surviendra. On appelle 'période de retour' l'inverse de la probabilité d'occurrence du phénomène. A titre d'exemple, la crue centennale est la crue qui a 1 % de chance de survenir chaque année.

Les inondations constituent un risque majeur aux conséquences humaines et matérielles extrêmement préjudiciables. Etant les plus fréquentes, elles sont au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde. Elles représentent 34 % des catastrophes enregistrées à l'échelle mondiale entre 1990 et 2007 (em-dat, 2007). Le recensement mondial effectué par le *Dartmouth Flood Observatory* entre Janvier 1985 et Mai 2011 fait état d'une moyenne annuelle de 25 570 morts, 24 272 554 déplacés et plus de 32 milliards de dollars américains de dommages (Brakenridge, 2011).

Selon le Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2002), une augmentation de la fréquence des inondations dans les décennies à venir est prévue. Cet accroissement paraît être lié, d'une part, au développement anarchique de l'urbanisme en zone inondable dans les grands pays émergents d'Asie et certains pays en voie de développement et au réchauffement de la planète, d'autre part.

La protection des implantations humaines contre les inondations, fondée sur des aménagements techniques, reste incontournable aujourd'hui comme demain, même si son effet se limite à un périmètre local et même si elle peut aggraver la situation de crue plus en aval. On peut classer dans cette catégorie d'aménagement, toutes les techniques de génie civil, plus traditionnelles, qui modifient les conditions d'écoulement des crues et leurs caractéristiques (durée, pointe et volume). Il s'agit en particulier de la construction de murs de soutènement ou de levées, de lacs artificiels et de barrages de retenue qui permettent de régulariser et d'écrêter les crues, de l'élargissement ou du redressement du chenal d'écoulement, de l'affectation de terres peu utilisées au stockage temporaire des eaux, etc. Ces mesures n'obéissent d'ailleurs pas toujours à une vision environnementale (Scarwell et Laganier, 2004) et n'offrent cependant aux surfaces urbanisées qu'une protection apparente (Kumar et al., 2001).

Récemment, la politique en matière de protection contre les crues dévastatrices a pris une nouvelle tendance. La synthèse des différentes études relatives aux risques naturels en général (typologie et fréquence des aléas, extension géographique, gravité des dommages, moyens de prévention et de protection etc.) montre qu'il n'existe pas de sécurité absolue face à un aléa. Les inondations répétitives et plus violentes survenues au cours des deux dernières décennies ont conduit les spécialistes à réexaminer les concepts de protection contre les crues; les nouvelles orientations se rattachent beaucoup plus à la culture et à la prévention du risque dans le cadre d'un développement durable où il est pris en compte, dans l'utilisation de l'espace, les dangers et la réduction des dommages engendrés par ces événements climatiques extrêmes. Cela n'est envisageable que si les cours d'eau disposent de suffisamment d'espace pour assurer leurs multiples fonctions. Dans ce contexte, les spécialistes ont développé le concept de protection durable contre les crues, selon lequel on ne cherche plus à dompter la nature à l'aide d'ouvrages de protection mais à lui laisser de l'espace en créant notamment des zones inondables.

Cette nouvelle vision du risque se concrétise de plus en plus dans les pays développés par l'élaboration de Plans de Prévention du Risque Inondation (PPRI). Elle est à son début, sinon absente, dans les pays sous développés et certains pays en voie de développement dont l'Algérie. Ces derniers ont tendance à oublier ou ne pas véhiculer la mémoire des catastrophes et continuent à développer des pratiques les exposant aux aléas dangereux. Dans le bassin du Saf Saf, par exemple, l'aménagement des cours des oueds Zeramna à Skikda et Zerga à

Ramdane Djamel a fait augmenter la pression foncière sur ces zones réputées inondables. Les constructions ont peu à peu investi les lits majeurs des cours d'eau et les versants par endroits instables et à chaque nouvelle crue importante on recense de nouvelles zones à risque.

Dans cette nouvelle conception, l'aménagement du territoire joue un rôle important (Laperche, 2009). La devise n'est pas de lutter à tout prix contre les crues, mais plutôt d'apprendre à vivre avec elles. C'est seulement lorsque les mesures d'aménagement du territoire s'avèrent insuffisantes qu'il faut envisager des mesures d'aménagement hydraulique. Le plan de prévention des risques naturels (PPRN) permet d'avertir du danger et de prendre des mesures immédiates pour éviter les catastrophes. Le plan de prévention du risque inondation (PPRI) est un moyen efficace pour enrayer l'augmentation des dommages dus aux inondations et faire prendre conscience du risque aux riverains.

D'une manière générale, le Plan de Prévention du Risque Inondation ne peut être dissocié du Plan de Prévention des Risques Naturels. En Algérie, le cadre légal existe et ce type de plan est encore à l'état embryonnaire. Le plan général de prévention des inondations (PGPI) est régi par les articles 24 et 25 de la loi n° 04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable (Journal Officiel de la RADP du 29-12-2004).

L'élaboration d'un PPRI nécessite donc des études complexes et pluridisciplinaires où l'analyse fréquentielle des débits extrêmes et l'occupation des sols jouent un rôle central. Ces études doivent s'appuyer sur des données fiables et représentatives pour aboutir à une carte de zonage, résultat du croisement des cartes des aléas et des enjeux, accompagnée d'un règlement qui précise les conditions d'urbanisation et d'aménagement de chaque zone. Après approbation par les instances compétentes, ce document, constituant une servitude d'utilité publique, est annexé au plan directeur de l'aménagement et de l'urbanisme (PDAU).

La lutte contre les inondations doit donc retenir toute l'attention des politiques en général et des aménageurs et des spécialistes de l'assainissement en particulier. Elle doit s'intégrer en effet dans une politique d'aménagement global des bassins versants, sans se limiter à faire transiter de l'amont vers l'aval des débits et volumes de crues correspondant à une période de retour fixée.

A l'étranger, et aux USA en particulier, les dégâts colossaux qui ont affecté le Midwest au mois de Juillet 1993 (12 à 15 milliards de dollars de dommage) ont conduit le FEMA<sup>1</sup> à orienter la politique fédérale de prévention vers une politique d'acquisition et de déplacement des structures endommagées plutôt que de s'engager vers une entreprise de protection. L'utilité de privilégier les mesures non structurelles par rapport aux mesures structurelles est ainsi débattue.

La présente étude s'applique aux bassins versants de l'oued Saf Saf et ses principaux affluents. Elle a pour but d'améliorer les connaissances sur les phénomènes d'inondations dans la ville de Skikda et au niveau des différentes agglomérations situées le long de l'oued Saf Saf et ses principaux affluents, notamment les agglomérations de Salah Bouchaour, de Ramdane Djamel, Hammadi Krouma, la partie Sud et Sud Ouest de la ville de Skikda et la zone industrielle à l'Est. Ces agglomérations aux enjeux très importants s'exposent fréquemment au risque inondation et constituent des agglomérations vulnérables en raison de leurs populations importantes et leurs positions géographiques: situées dans des dépressions qui sont en réalité des champs d'expansion des crues des différents oueds. En effet, le Conseil National Economique et Social (CNES, 2003) reporte plus de 4000 constructions en zones inondables dans la wilaya de Skikda.

Depuis les inondations exceptionnelles et dévastatrices de 1984<sup>2</sup>, les pouvoirs publics de la wilaya de Skikda ont managé certains efforts pour remédier à ce problème résultant d'un aléa naturel difficilement contrôlable et qui constitue une menace permanente pour les agglomérations construites dans les zones d'épanchement des crues des différents oueds. Au cours des trois dernières décennies, ces zones ont été urbanisées à outrance suite à une poussée démographique considérable. Certaines agglomérations se sont dangereusement développées sur des terrains sujets à des débordements d'oueds et de leurs affluents les rendant très vulnérables aux fréquentes inondations.

---

<sup>1</sup> Federal Emergency Management Agency

<sup>2</sup> - Inondations du 28-30/12/1984 à Skikda : 11 décès, infrastructures de base fortement endommagées, édifices effondrés, immersion de 400 hectares, dégâts évalués alors à 50 millions de DA.

- Inondations 30/01-4/02/1984 à Skikda: 174 maisons démolies, 500 familles sinistrées, terrains agricoles fortement endommagés,

Malgré toutes les études entreprises et les ouvrages réalisés au titre des différents programmes par les pouvoirs publics dans la wilaya de Skikda, les dommages occasionnés par les intempéries de Novembre 2004<sup>3</sup> et de Février 2011<sup>4</sup> ont fait apparaître les effets réduits des techniques structurelles mises en œuvre et ont, par conséquent, remis en question l'efficacité et le bien-fondé de ces mesures. Il devient donc impératif de penser à une stratégie durable axée sur la prévision et qui permet de répondre, à la fois, à l'exigence de protection et de prévention et à la préservation des enjeux dans la plaine d'inondation.

L'objectif essentiel de ce travail est avant tout d'améliorer les connaissances sur les causes des inondations dans le bassin du Saf Saf, d'une part, et d'autre part, présenter une estimation des crues de références pour l'élaboration des plans de prévention et de gestion du risque inondation dans le cadre d'un développement durable. Les résultats peuvent être utilisés par les aménageurs et les bureaux d'études spécialisés qui accompagnent les différents projets d'aménagement dans les communes situées dans l'emprise du Saf Saf et ses affluents.

Ce mémoire, structuré en trois chapitres, présente la démarche utilisée, les étapes et les résultats de ce travail. Le premier chapitre intitulé "**CONTEXTE GEOGRAPHIQUE, HYDROCLIMATOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE**" de la région d'étude, décrit d'une manière plus ou moins détaillée les cadres géographique, géomorphologique et hydroclimatologique de la région. Cette partie, beaucoup plus bibliographique, donne une vision globale de la zone d'étude et permet de dégager les grands traits caractérisant le système hydrographique étudié et mener à bien les parties qui suivent.

En accord avec les objectifs de ce mémoire, le deuxième chapitre cherche à identifier de façon beaucoup plus approfondie les "**CARACTERISTIQUES DES ECOULERMENTS DE L'OUED SAF-SAF A KHEMAKHEM**" à partir des données hydrométriques enregistrées à la station de Khémakhem (caractéristiques des hydrogrammes de crue). Il s'agit également de faire ressortir les paramètres les plus significatifs dans la description des crues et d'établir la relation 'Averse-Crue'. Une attention particulière est donnée à la fréquences des apports en eau pendant la période des hautes eaux.

---

<sup>3</sup> - Inondation du 17-11-2004 : 174 maisons démolies, 500 familles sinistrées à Skikda, terrains agricoles fortement endommagés.

<sup>4</sup> - Inondation du 2 et 3/11/2011 : 3 morts et 7 blessés , plus de 250 et 174 familles sinistrées à Skikda et à Hammadi Krouma, respectivement, routes nationales et chemins de wilaya fermés à la circulation pour cause de débordement des oueds, plan ORSEC déclenché.

Le troisième chapitre est réservé à l' "**ANALYSE FREQUENTIELLE DES CRUES EXTREMES**". Cette partie, la plus importante vis-à-vis des objectifs de l'étude, est donnée une attention particulière. Face à l'insuffisance flagrante d'instruments de mesure des débits aux exutoires des principaux cours d'eau de la zone d'étude, il est question de développer et de rassembler les outils de calcul automatique qui permettent de traiter et d'interpréter les données hydrométriques et pluviométriques enregistrées à l'amont du bassin de l'oued Saf Saf dans la région des Zardézas afin d'élaborer et de valider de façon satisfaisante des modèles empiriques pour la prédétermination des crues de moyenne et de faible fréquences qui seront extrapolées à l'ensemble du bassin de l'oued Saf Saf. Les débits de crue ainsi déterminés servent à orienter les études hydrotechniques. La confrontation des résultats de l'analyse fréquentielle des débits annuels extrêmes aux crues historiques, enregistrées dans le bassin étudié, permet de définir les crues de référence pour l'élaboration de plans de prévention du risque inondation dans la vallée de l'oued Saf Saf.

Enfin, la "**CONCLUSION GENERALE**" synthétise les résultats de cette étude et suggère quelques perspectives de recherche complémentaire dans l'objectif d'affiner de mieux en mieux ces connaissances et de poursuivre la réflexion sur l'élaboration d'un plan de PPRI pour les agglomérations situées dans les dépressions de l'oued Saf Saf et ses principaux affluents dans le contexte global du développement durable.

## CHAPITRE I

### CONTEXTE GEOGRAPHIQUE, HYDROCLIMATOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE

#### 1. Situation géographique de la zone d'étude

Le bassin versant de l'oued Saf-Saf est situé au Nord-Est de l'Algérie entre les latitudes 36°-37° Nord et les longitudes 6°30'-7° Est. Faisant partie des bassins côtiers constantinois, il s'étend sur une superficie d'environ 1158 km<sup>2</sup>. Il est limité au Nord par la mer méditerranéenne, au Sud par le côl d'El-Khantour et Djebel Bou-Abed, à l'Est par le côl de Bissy et enfin par le côl de Staiha à l'Ouest (Fig. 1). Sur le plan administratif, le bassin du Saf-Saf s'inscrit complètement dans la Willaya de Skikda.

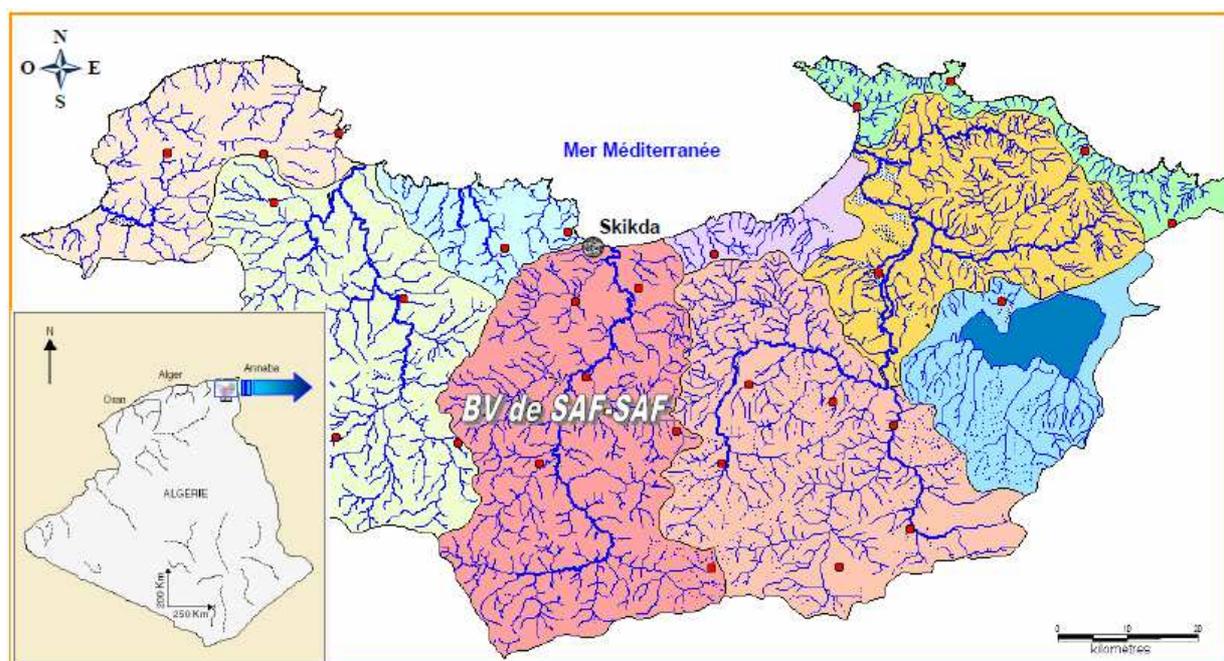


Fig. 1. Carte de Situation Géographique du Bassin Versant de l'Oued Saf-Saf (source : Sakaa, 2008)

## 2. Caractéristiques hydroclimatologiques

Faisant partie de l'extrême Nord-Est de l'Algérie, le bassin versant de l'oued Saf-Saf jouit d'un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes : la saison humide, relativement fraîche et la saison sèche, plus chaude. Les contrastes géomorphologiques font que les facteurs hydroclimatologiques se répartissent de façon plus ou moins irrégulière dans le temps et dans l'espace.

### 2.1. Pluviométrie

Le bassin versant du Saf-Saf, superficie de l'ordre de 1158 km<sup>2</sup>, est équipé de plusieurs postes pluviométriques. Néanmoins, quatre stations, ordonnées de l'aval vers l'amont, sont seulement retenues pour des raisons de fiabilité et de représentativité spatiale des observations (Tableau 1).

**Tableau 1. Identification des postes pluviométriques (BCEOM-BG-SOGREAH, 2005)**

Poste pluviométrique	Code	X (km)	Y (km)	Z (m)	Période d'observations
<b>Skikda Port</b>	03.08.01	874,500	406,400	5	1970-2009
<b>Ramdane Djamel</b>	03.09.09	874,950	389,850	45	1970-2009
<b>El Harrouch</b>	03.09.06	869,700	379,700	137	1970-2009
<b>Zardézas</b>	03.09.03	875,290	374,590	189	1970-2008

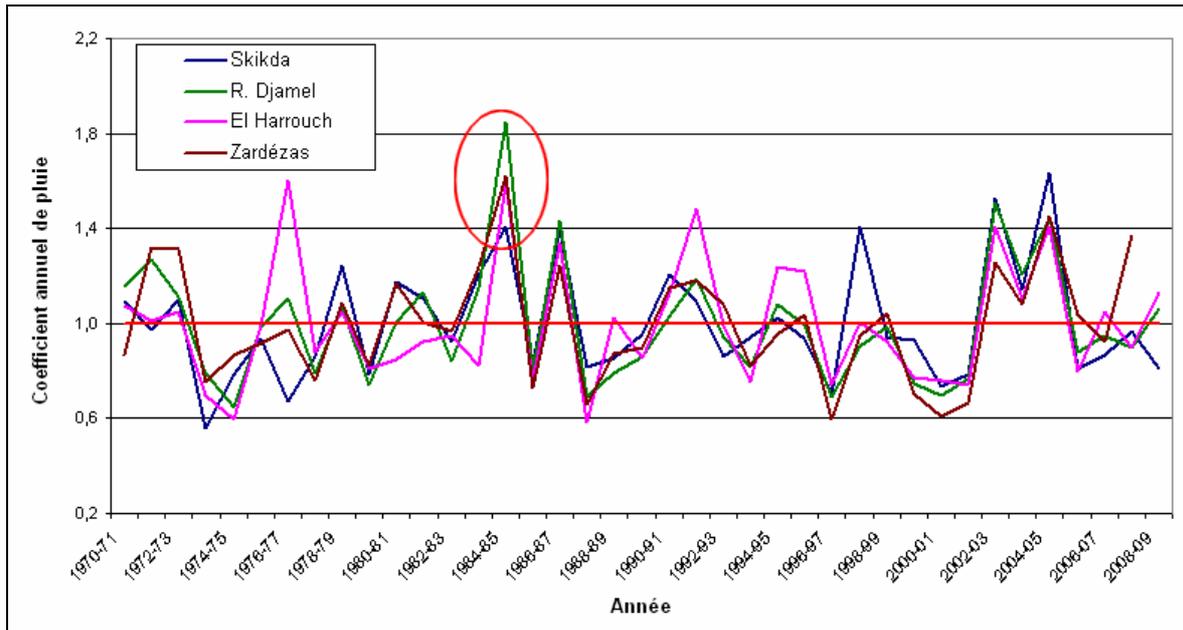
#### 2.1.1. Variabilité des précipitations

Dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf, la pluviométrie moyenne annuelle (séries actualisées de 30 à 31 années d'observations (annexes 1 à 4), est plus ou moins uniformément distribuée sur l'ensemble du bassin (tableau 2). Les normales, variables d'une année, d'un mois et d'un jour à l'autre s'échelonnent entre 577 et 734 mm/an (Skikda : 734,6 mm, Ramdane Djamel : 576,8 mm, El Harrouch : 574,4 mm et Zardézas : 641,5 mm).

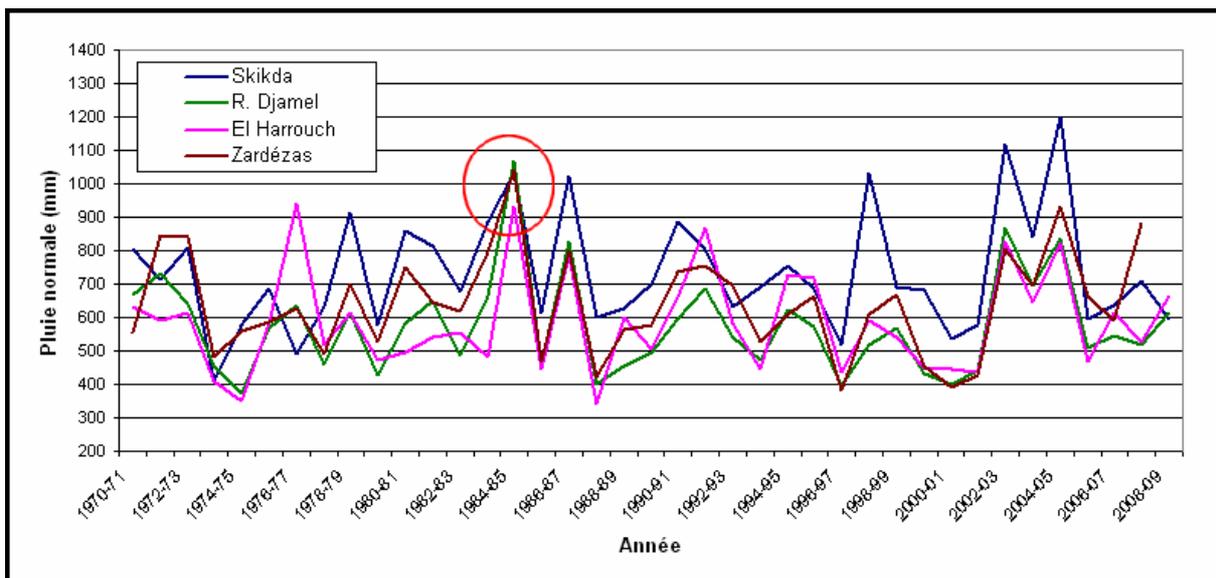
**Tableau 2. Variabilité spatiale et temporelle des pluies dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	Total
<b>Skikda (série : 1970-1971/2008-2009)</b>													
<b>m</b>	37,9	69,4	97,9	130,3	107,8	93,4	74,3	61,0	35,5	14,4	2,6	10,1	<b>734,6</b>
<b>max</b>	114,0	190,0	284,0	343,0	276,0	246,0	174,6	211,0	129,2	87,0	22,1	64,0	<b>1198,3</b>
<b>min</b>	0,0	2,0	5,7	22,0	19,9	1,0	0,0	9,2	2,0	0,0	0,0	0,0	<b>411,3</b>
<b>CV(%)</b>	64	70	69	62	55	57	59	72	85	113	177	143	<b>24</b>
<b>Ramdane Djamel (série : 1970-1971/2008-2009)</b>													
<b>m</b>	29,9	58,3	69,2	98,6	87,9	67,8	60,6	51,5	32,1	11,9	3,7	5,3	<b>576,8</b>
<b>max</b>	79	204	233,9	427,8	227,8	190,6	137,9	160,7	92,7	39	40,2	26,7	<b>1067,2</b>
<b>min</b>	0	1,5	5,0	9,9	8,8	1,6	8,2	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>372,8</b>
<b>CV(%)</b>	71	77	75	78	64	60	56	67	73	90	198	132	<b>26</b>
<b>El Harrouch (série : 1970-1971/2008-2009)</b>													
<b>m</b>	34,9	48,6	68,0	97,8	83,1	67,2	64,8	51,3	35,3	11,8	3,3	8,3	<b>574,4</b>
<b>max</b>	98,2	158,9	219,2	379,6	254,2	227,0	182,8	155,0	100,7	38,4	33,7	92,0	<b>941,5</b>
<b>min</b>	0,0	0,0	0,0	7,2	0,8	1,1	14,2	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>343,1</b>
<b>CV(%)</b>	73	75	78	78	71	64	68	67	78	103	207	195	<b>26</b>
<b>Zardézas (série : 1970-1971/2007-2008)</b>													
<b>m</b>	33,3	53,1	75,3	109,5	94,8	78,8	71,0	60,5	39,2	14,1	4,5	7,4	<b>641,5</b>
<b>max</b>	124,6	161,4	249,7	452,5	250,5	271,7	159	174,3	110,2	47,3	32,6	31,4	<b>1039,4</b>
<b>min</b>	0,2	1,5	1,6	7,8	14,4	0,3	8,7	12,8	2,4	0	0	0	<b>382,2</b>
<b>CV(%)</b>	81	76	79	83	60	68	56	62	69	94	162	106	<b>24</b>

Pendant les années excédentaires (année hydrologique 1984-1985 par exemple, caractérisée par un coefficient pluviométrique de l'ordre de 1.4 à 1.9 (figures 2 et 3), la pluviométrie dépasse les 900 mm/an à El Harrouch et les 1000 mm/an à Skikda, Ramdane Djamel et Zardézas (Tableau 2).



**Fig. 2. Variation du coefficient annuel de la pluie dans le bassin du Saf-Saf**



**Fig. 3. Variabilité des pluies annuelles dans le bassin du Saf-Saf**

La variabilité temporelle, traduite par le coefficient de variation (CV), est très nette à l'échelle mensuelle ( $CV > 50\%$ ) ; elle est beaucoup plus accentuée pendant la saison estivale ( $CV > 90\%$ ). A la base annuelle, la variabilité est relativement beaucoup plus faible ; le CV varie entre 24 et 26 % (tableau 2).

Dans le bassin de l'oued Saf-Saf, plus de 80 % des pluies tombent pendant la période la plus pluvieuse (Novembre – Avril) dont près de 44 % pendant la saison hivernale (Décembre – Février). Le mois Décembre est le plus arrosé (130.3 mm à Skikda, 109.5 mm à Zardézas, 98.6 mm à Ramdane Djamel et 97.8 mm à El Harrouch). Les figures 4 et 5 traduisent respectivement les variations mensuelles et saisonnières des pluies dans le bassin.

Durant la période pluvieuse, les précipitations tombent le plus souvent sous forme d'averses d'intensités et d'extension géographiques variables. Le nombre moyen de jours de pluie varie entre 84 à Ramdane Djamel et 103 à Skikda avec une moyenne de 95 jours/an (tableau 3).

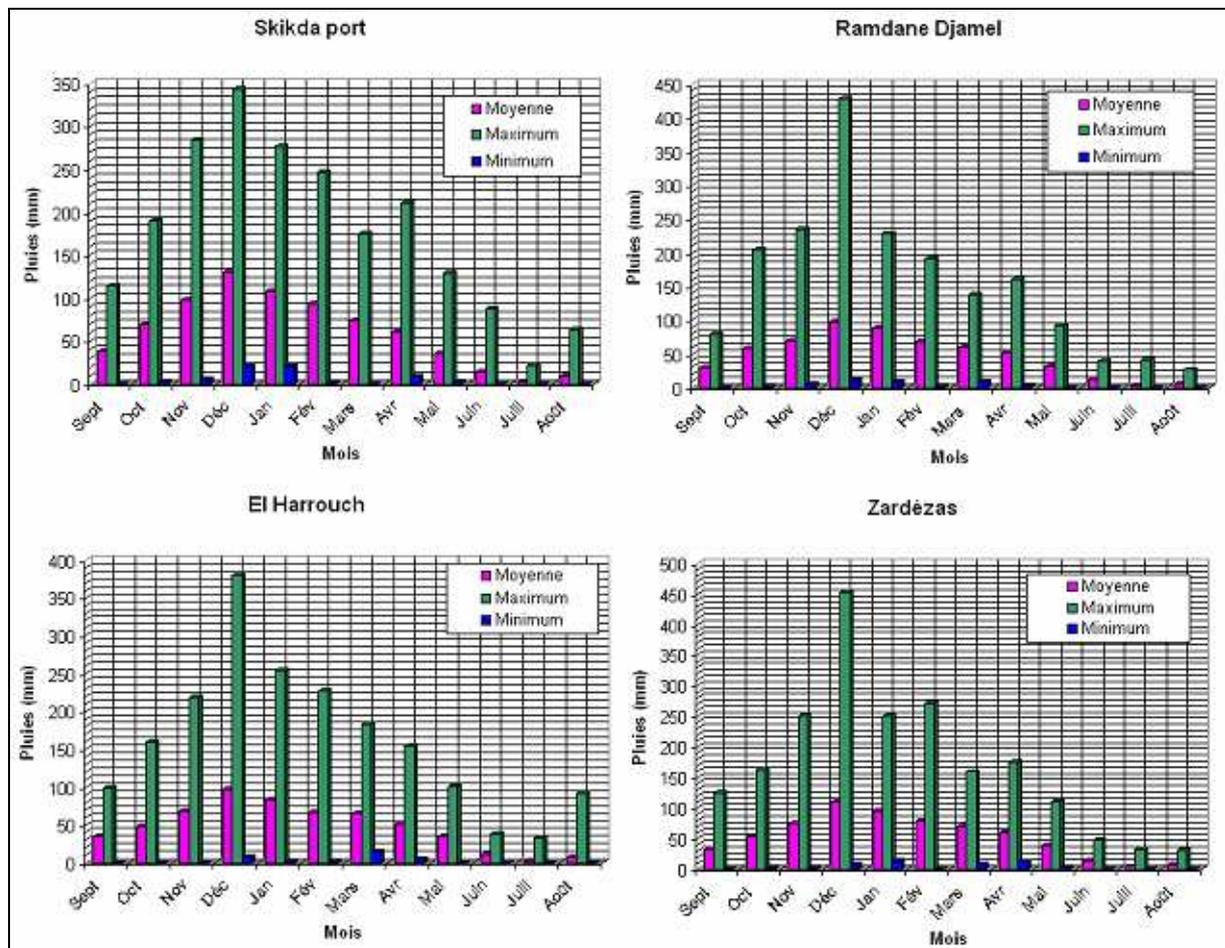


Fig. 4. Variations mensuelles des pluies dans le bassin

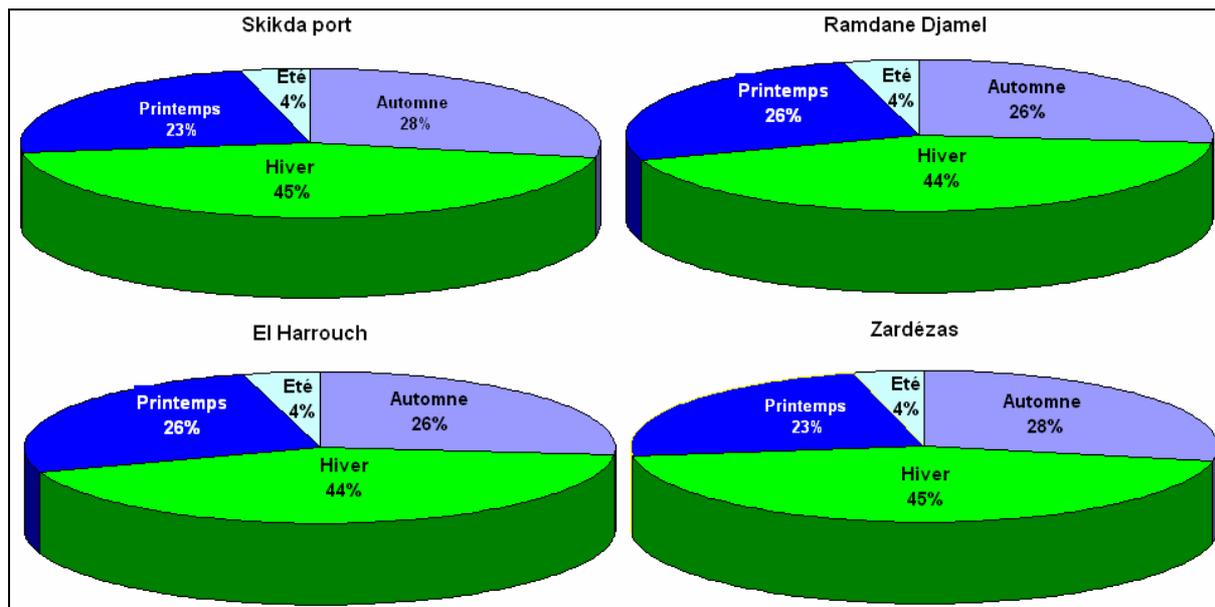


Fig. 5. Répartition saisonnière des pluies dans le bassin

Tableau 3. Nombre moyen de jours de pluie dans le bassin du Saf-Saf

Station	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	Année
Skikda	13	12	11	10	6	4	1	3	7	9	13	14	103
R.Djamel	6	8	10	11	11	10	10	9	5	3	1	2	84
Zardézas	6	9	11	12	12	11	11	11	7	3	2	4	99
<b>Moyenne</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>95</b>

Les pluies torrentielles (pluie journalière supérieure ou égale à 30 mm) s'observent généralement durant la période pluvieuse (Novembre – Décembre) et exceptionnellement pendant la période sèche. Ces pluies, qui dépassent par fois les 100 mm/j sont à l'origine d'un certain nombre de débordements d'oueds dans le bassin (cas des inondations dévastatrices du 28-12-1984 au 03-01-1985: 137 mm à Zardézas et 111.2 mm à Ramdane Djamel enregistrées le 29/12/1984 (photos 1 et 2).



**Photo 1. Skikda-Les allées : Inondations du 28 Décembre 1984.**



**Photo 2. Ramdane Djamel - CEM Echiheb : Inondations du 28 décembre 1984.**

### 2.1.2. Fréquence des pluies dans le bassin du Saf-Saf

Les données pluviométriques sont souvent disponibles sous forme d'échantillons très larges qui ne sont pas convenables à une interprétation directe (relevés pluviométriques journaliers, mensuels et annuels). Il devient par conséquent nécessaire de synthétiser les caractéristiques des séries traitées par des paramètres numériques ou graphiques qui expliquent la distribution des fréquences des pluies dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf. Il s'agit en pratique de déterminer les critères de tendance centrale : la moyenne ( $\bar{x}$ ), de dispersion : l'écart type (s), les extrêmes (min et max), le coefficient de variation (CV) et de forme : le coefficient d'asymétrie ( $G_1$ ) des séries étudiées. Les résultats obtenus, présentés en partie au tableau 2, sont repris de façon plus complète dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 4. Pluies annuelles : Caractéristiques numériques de la distribution des fréquences**

Poste pluviométrique	N	min (mm)	max (mm)	$\bar{x}$ (mm)	s (mm)	CV (%)	$G_1$
<b>Skikda</b>	39	411.3	1198.3	734.6	178.1	24	0.72
<b>Zardézas</b>	38	382.2	1039.4	641.5	155.8	24	0.39
<b>Ramdane.Dj.</b>	39	372.8	1067.2	576.8	148.1	26	1.2
<b>El Harrouch</b>	39	343.1	932.2	574.4	140.6	24.5	0.7

Ces résultats constituent les données de base pour tous les calculs ultérieurs, notamment l'analyse des fréquences des pluies annuelles.

Compte tenu du caractère cumulatif des pluies, les séries pluviométriques annuelles ont été ajustées par les lois de probabilités théoriques de Gauss et de Galton dont la fiabilité de l'ajustement a été validé par les tests 'KS' de Kolmogorov-Smirnov, 'AD' d'Anderson-Darling et ' $\chi^2$ ' de Pearson au seuil de signification de 5 %. Les statistiques renvoyées par le logiciel Easyfit sont reportées au tableau 5.

**Tableau 5. Résultats des tests d'adéquation des ajustements**

Stations		Skikda		Ramdane Djamel		El Harrouch		Zardézas	
Loi de prob.		Normale	Log normale	Normale	Log normale	Normale	Log normale	Normale	Log normale
<b>KS</b>	<b>Statistique</b>	0,1585	0,1141	0,0925	0,077	0,1032	0,0671	0,0693	0,0573
	<b>Valeur critique</b>	0,2127	0,2127	0,2127	0,2127	0,2127	0,2127	0,2154	0,2154
<b>AD</b>	<b>Statistique</b>	0,8268	0,354	0,7472	0,2628	0,6463	0,2449	0,1885	0,1471
	<b>Valeur critique</b>	2,5018	2,5018	2,5018	2,5018	2,5018	2,5018	2,5018	2,5018
<b><math>\chi^2</math></b>	<b>Statistique</b>	2,5677	1,8023	1,8807	1,2033	1,1701	0,6591	0,2893	0,7977
	<b>Valeur critique</b>	9,4877	7,8147	9,4877	9,4877	7,8147	9,4877	9,4877	11,07

Les résultats obtenus pour les périodes de récurrence (T) de 2, 5, 10, 20, 25, 50 et 100 ans sont consignés aux tableaux 6 et 7.

**Tableau 6. Fréquence des pluies annuelles dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf (Loi de Gauss)**

T (années)	2	5	10	20	25	50	100
<b>Skikda</b>							
<b>Année humide</b>	734,6	884,3	962,6	1027,3	1046,2	1100,2	1148,7
<b>Année sèche</b>	734,6	584,5	506,1	441,4	422,6	368,6	320,0
<b>Ramdane Djamel</b>							
<b>Année humide</b>	576,8	701,4	766,6	820,4	836,1	881,0	921,3
<b>Année sèche</b>	576,8	452,2	387,0	333,2	317,5	272,6	232,3
<b>El Harrouch</b>							
<b>Année humide</b>	574,4	692,7	754,6	805,7	820,5	863,2	901,5
<b>Année sèche</b>	574,4	456,1	394,2	343,1	328,3	285,6	247,3
<b>Zardézas</b>							
<b>Année humide</b>	641,5	772,7	841,2	897,8	914,3	961,5	1003,9
<b>Année sèche</b>	641,5	510,5	441,9	385,4	368,9	321,7	279,2

**Tableau 7. Fréquence des pluies annuelles dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf (Loi de Galton)**

T (années)	2	5	10	20	25	50	100
<b>Skikda</b>							
<b>Année humide</b>	713,7	872,8	969,6	1057,5	1084,6	1166,1	1244,7
<b>Année sèche</b>	713,7	583,6	525,4	481,7	469,6	436,8	409,2
<b>Ramdane Djamel</b>							
<b>Année humide</b>	558,7	691,1	772,3	846,6	869,5	938,7	1005,6
<b>Année sèche</b>	558,7	451,7	404,1	368,7	359,0	332,5	310,4
<b>El Harrouch</b>							
<b>Année humide</b>	557,9	683,5	760,0	829,7	851,1	915,7	977,9
<b>Année sèche</b>	557,9	455,4	409,6	375,2	365,7	340,0	318,3
<b>Zardézas</b>							
<b>Année humide</b>	623,5	762,6	847,3	924,2	947,9	1019,3	1088,0
<b>Année sèche</b>	623,5	509,7	458,8	420,6	410,1	381,4	357,3

Bien que les tests d'adéquations aient validé les ajustements des pluies annuelles par les lois normales et log normales, la méthode de dénombrement favorise la loi de Galton dans le cas des années sèches (4 à 5 années en 39 ans). Ainsi, les résultats retenus pour le bassin du Saf-Saf sont reportés au tableau 8.

**Tableau 8. Fréquence des pluies annuelles dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf**

T (années)	2	5	10	20	25	50	100
<b>Skikda</b>							
<b>Année humide</b>	735	880	965	1040	1065	1135	1200
<b>Année sèche</b>	735	585	525	480	470	435	410
<b>Ramdane Djamel</b>							
<b>Année humide</b>	577	700	770	835	850	910	965
<b>Année sèche</b>	577	450	400	370	360	330	310
<b>El Harrouch</b>							
<b>Année humide</b>	574	690	760	820	835	890	940
<b>Année sèche</b>	574	455	410	375	365	340	320
<b>Zardézas</b>							
<b>Année humide</b>	642	770	845	910	930	990	1050
<b>Année sèche</b>	642	510	460	420	410	380	360

Pour mieux apprécier la relation entre les pluies et les débits extrêmes, les pluies journalières maximales observées à la station des Zardézas ont, de la même manière, fait l'objet d'une analyse fréquentielle dans le but d'estimer les pluies extrêmes probables. Les paramètres statistiques de la distribution empirique sont consignés au tableau ci-dessous.

**Tableau 9. Pluies journalières maximales à Zardézas :  
Caractéristiques numériques de la distribution des fréquences**

Statistique	N	min	max	$\bar{x}$	s	CV (%)	G <sub>1</sub>
Valeur	38	24	137	59,8	32,6	54	1,11

Les tests d'ajustement des données observées aux différentes lois de probabilité utilisées en hydrologie favorisent l'adoption de la loi log normale à 3 paramètres. Les pluies journalières maximales probables ainsi estimées sont reportées au tableau 10.

**Tableau 10. Fréquence des pluies journalières maximales à Zardézas (bassin versant de l'oued Saf-Saf)**

P <sup>5</sup>	0,999	0,998	0,995	0,99	0,98	0,976	0,96	0,95	0,9	0,8	0,5
T (années)	1000	500	200	100	50	38	25	20	10	5	2
P <sub>jmax</sub> (mm)	409	346	273	225	183	173	147	136	105	79	49

A titre d'exemple, la pluie journalière maximale probable espérée au moins une fois en 10 ans serait de l'ordre de 105 mm ; la pluie centennale serait de l'ordre de 225 mm. Ces résultats seront utilisés dans la prédétermination des débits maxima probables.

## 2.2. Température

Dans le bassin du Saf-Saf, la température moyenne annuelle varie entre 18 et 19 °C. Pour les deux stations de Skikda et Zardézas, le mois de Janvier est le mois le plus froid (11 à 12°C) et le mois d'Août étant le plus chaud (25°C à Skikda et 29°C à Zardézas). Le tableau 11 récapitule les variations mensuelles de la température dans le bassin de Saf-Saf.

<sup>5</sup> P définit la probabilité d'excédence.

**Tableau 11. Variations des températures moyennes mensuelles et annuelles**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	Total
<b>Skikda (1970/2006)</b>													
<b>min</b>	21,1	17,5	12,4	10,5	9,9	9,5	10,7	11,0	15,8	19,8	22,0	22,7	<b>16,5</b>
<b>moy</b>	<b>23.4</b>	<b>20.4</b>	<b>16.2</b>	<b>13.5</b>	<b>12.3</b>	<b>12.4</b>	<b>13.7</b>	<b>15.3</b>	<b>18.4</b>	<b>21.7</b>	<b>24.5</b>	<b>25.3</b>	<b>18.1</b>
<b>max</b>	25,7	24,1	18,3	16,6	15,6	14,6	18	17,8	20,7	25,6	28,3	29,2	<b>19,6</b>
<b>Zardézas (1970/2006)</b>													
<b>min</b>	21,1	17,5	12,4	11,8	9,9	9,5	10,7	11	15,8	19,8	22	22,7	<b>15,4</b>
<b>moy</b>	<b>24.9</b>	<b>22.4</b>	<b>15.6</b>	<b>12.0</b>	<b>11.3</b>	<b>11.7</b>	<b>14.6</b>	<b>16.7</b>	<b>20.9</b>	<b>25.5</b>	<b>27.5</b>	<b>28.8</b>	<b>19.3</b>
<b>max</b>	25,7	24,1	18,3	16,6	15,6	14,6	15,6	17,8	20,7	25,6	27,3	29,2	<b>20,9</b>

### 2.3. Evapotranspiration et bilan

Les phénomènes d'évaporation interviennent dans le cycle hydrologique dès le moment où les précipitations, sous forme liquide ou solide, atteignent la surface du sol. De plus, l'humidité du sol, soit qu'elle provienne des pluies récentes infiltrées à faible profondeur, soit qu'elle remonte par capillarité de la nappe phréatique, constitue directement ou par l'intermédiaire de la couverture végétale un aliment important pour l'évaporation.

L'établissement du bilan d'eau d'une région, pour une période donnée, a pour but la connaissance de la répartition plus ou moins grossière des précipitations entre les composantes suivantes : l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration. A l'échelle mensuelle, les résultats du bilan évaporométrique permettent de définir la période excédentaire caractérisée par des sols saturés en eau, ce qui favorise le ruissellement et la genèse des inondations.

#### 2.3.1. Calcul de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est définie comme étant la somme des quantités d'eau exprimées en mm, évaporées par la surface du sol et transpirées par les plantes. Elle est estimée à partir des données des stations de Skikda, Ramdane Djamel, El Harrouch et Zardézas (séries: 1970/71-2008/09).

Le bilan d'eau a été établi par le programme "THORN" qui utilise la formule de Thornthwaite (annexes 5 à 8) en affectant une valeur de 120 mm à la réserve facilement utilisable (Abdelli et al., 1991). A travers les exemples des postes pluviométriques étudiés (tableau 12), ce bilan montre que dans la région du Saf-Saf l'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne annuelle varie grossièrement entre 880 et 970 mm. Le maximum mensuel, observé au mois de Août, s'échelonne entre 140 et 170 mm. Le minimum s'observe durant la période hivernale (Janvier- Février: 19 à 27 mm).

**Tableau 12. Bilans de Thornthwaite dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf  
(Réserve facilement utilisable: 120 mm)**

Station	Skikda	R. Djamel	El Harrouch	Zardézas
<b>Précipitations P (mm)</b>	734.6	576.8	574.4	641,5
<b>ETP (mm)</b>	878,9	878,9	967.4	967.4
<b>ETR (mm)</b>	510.1	481.2	448.0	460.0
<b>DA (mm)</b>	368.7	397.7	519.4	507.4
<b>EXC (mm)</b>	224.5	95.6	126.4	181.5
<b>ETR/P (%)</b>	69.4	83.4	78	71.7
<b>EXC/P (%)</b>	30	16.6	22	28.3
<b>Mois déficitaires</b>	Juin - Octobre	Juin - Octobre	Juin - Octobre	Juin - Octobre
<b>Mois excédentaires</b>	Décembre – Avril	Janvier - Mars	Janvier - Mars	Décembre – Avril
<b>Début de la reconstitution de la réserve (DRR)</b>	Novembre	Novembre	Novembre	Novembre
<b>Réserve pleine</b>	Décembre	Janvier	Janvier	Décembre
<b>Début d'épuisement de la réserve (DEP)</b>	Mai	Avril	Avril	Mai
<b>Réserve à sec</b>	Juin	Juin	Juin	Juin

La reconstitution de la réserve du sol (DRR) s'effectue, à partir de Novembre. Le sol atteint la saturation (réserve pleine) dès le mois de Décembre à Skikda et Zardézas et dès le mois de Janvier à Ramdane Djamel et El Harrouch. Elle commence à s'épuiser (DEP) à partir du mois de Mai à Skikda et Zardézas et à partir du mois d'Avril à Ramdane Djamel et El Harrouch. Elle se vide complètement en Juin. Pendant la période de saturation des sols (Décembre - Avril), les conditions sont favorables à la genèse des crues en cas de fortes averses.

En année moyenne, l'écoulement (infiltration et ruissellement), qui commence à apparaître en Décembre à Skikda et Zardézas et en Janvier à Ramdane Djamel et El Harrouch. Il représente sur l'ensemble du bassin 17 à 30 % des pluies totales annuelles ; la moyenne étant de 24 %. Les quantités importantes d'eau (224.5 mm en 5 mois à Skikda et 181.5 mm à Zardézas), permettent d'apprécier l'importance du volume d'eau régularisé par les bassins aux exutoires naturels des différents oueds de la région. Ce surplus d'eau (EXC) contribue à la réalimentation des nappes superficielles et les différentes dépressions, d'une part, et au ruissellement des différents cours d'eau, d'autre part.

Dans le bassin de Saf-Saf, l'évapotranspiration réelle annuelle (ETR) varie considérablement entre 69 % et 83 % des pluies annuelles tombées au cours d'une année moyenne à Skikda et Ramdane Djamel, respectivement. Elle représente près de 76 % à l'échelle du bassin.

On doit enfin noter que la région étudiée se distingue, selon l'état de la réserve facilement utilisable (RFU), par un déficit agricole variable (DA), selon l'année et le lieu, entre 369 mm et 519 mm. Grossièrement, ce déficit s'étale du mois de Juin au mois d'Octobre. Le maximum moyen est de l'ordre de 150 mm et s'étale de Juillet à Août. Au cours de cette période (période d'été), les crues et, par conséquent, les inondations sont très peu probables. Néanmoins, les sols sont à sec et le couvert végétal souffre de la sécheresse ce qui favorise le phénomène d'érosion lors des premières pluies d'automne.

### **2.3.2. Estimation du ruissellement**

Le ruissellement est l'excès de pluie qui n'arrive pas à s'infiltrer dans le sol, coule à sa surface, s'organise en filets et rejoint rapidement le cours d'eau où il peut provoquer des débits de crue élevés après des temps de réponse relativement courts. Compte tenu du manque d'équipements hydrométriques dans les parties centrales et aval du bassin versant de l'oued Saf-Saf, le ruissellement annuel a été approximé par les relations empiriques de Tixeront-Berkaloff ; à partir des résultats du calcul du bilan de Thornthwaite. Les résultats obtenus sont reportés au tableau 13.

La valeur moyenne calculée du ruissellement dans le bassin (92.6 mm) semble être en accord avec la valeur annuelle mesurée à la station de Khemakhem (94.5 mm).

**Tableau 13. Résultat du calcul du ruissellement**

<b>Station</b>	<b>P (mm)</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>R (mm)</b>
<b>Skikda</b>	734,6	878,9	132,1
<b>R. Djamel</b>	576,8	878,9	82,8
<b>El Harrouch</b>	574,4	967,4	67,5
<b>Zardézas</b>	641,5	967,4	88,0
<b>moyenne</b>	631,8	923,2	92,6

### **2.3.3. L'infiltration et le stockage dans les dépressions**

Parmi les éléments du bilan global d'un bassin versant, l'infiltration est le paramètre le plus délicat à déterminer. La connaissance de la fraction des eaux infiltrées dans le sol (I en mm) présente un intérêt capital dans l'évaluation des eaux stockées dans le sous sol.

Pour des contraintes de mesure, ce facteur ne peut être évalué avec précision. Néanmoins il peut être calculé par résolution de l'équation du bilan global qui s'écrit ; les autres éléments étant connus:

$$P = ETR + (I+S) + R$$

où R et S sont, respectivement, le ruissellement et le stockage dans les dépressions en (mm).

Si l'on considère que l'évapotranspiration réelle moyenne représente 75.2 % à l'échelle du bassin et que le ruissellement compte pour 14.7 % des pluies tombées, alors la lame retenue dans le bassin représente, par simple différence 10 % des pluies.

En définitif, les résultats retenus, mais qui restent quelque peu conservatifs, sont récapitulés au tableau ci-dessous.

**Tableau 14. Calcul de l'infiltration et du stockage dans les dépressions dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf (Année moyenne: 1970/1971-2008/2009)**

<b>Paramètre du bilan</b>	<b>P</b>	<b>ETR</b>	<b>EXC = R+I</b>	<b>R</b>	<b>I+S</b>
<b>Station de Skikda</b>					
<b>Valeur (mm/an)</b>	734,6	510.1	224.5	132.1	92.4
<b>Valeur (%)</b>	100	69	31	18.0	12.6
<b>Station de Ramdane Djamel</b>					
<b>Valeur (mm/an)</b>	576.8	481.2	95.6	82.8	12.8
<b>Valeur (%)</b>	100	83	17	14.4	2.2
<b>Station d'El Harrouch</b>					
<b>Valeur (mm/an)</b>	574.4	448.0	126.4	67,5	58.9
<b>Valeur (%)</b>	100	78	22	11.8	10.3
<b>Station de Zardazés</b>					
<b>Valeur (mm/an)</b>	641.5	460.0	181.5	88.0	93.5
<b>Valeur (%)</b>	100	72	28	13.7	14.6
<b>Valeurs adoptées dans la zone d'étude</b>					
<b>Valeur (mm/an)</b>	631,8	474,8	164,8	92.6	64.4
<b>Valeur (%)</b>	100	75,2	24.5	14.7	10

Enfin, si on admet que les stockages dans les dépressions représentent 20 % des quantités d'eau retenues dans le bassin (McCUEN, 1982), le taux d'infiltration moyen s'élève à 8.2 %.

#### **2.4. Autre facteurs climatiques**

Parmi les autres facteurs du climat qui ont un impact sur le milieu et pour lesquels on dispose de données, on peut citer : le vent, l'humidité relative, l'ensoleillement et l'évaporation.

Basé sur le recueil de données de l'Atlas Climatique National publié par l'ONM et les données actuelles des stations de Skikda et de Zardézas, le bassin du Saf-Saf s'inscrit dans une région à la fois humide et ensoleillée. Le nombre moyen d'heures d'ensoleillement varie de 5.4 h/j en Janvier à 11.3 h/j au mois de Juillet. Pendant la période estivale (Juin - Août), la région de Skikda reçoit plus de 10 heures de soleil par jour. Au cours de cette période de l'année, l'action de l'ensoleillement et de l'humidité relative de l'air (proche de 75 % à

Skikda et 52 % à Zardézas) entraîne un taux d'évaporation relativement élevé (120 mm au moyenne, soit près du tiers de la quantité d'eau évaporée annuellement à Skikda).

Le vent assure le remplacement de l'air plus ou moins saturé au contact de la surface évaporante par des nouvelles couches ayant une température et une humidité généralement plus faibles. Il favorise donc l'évaporation, d'autant plus que sa vitesse et sa turbulence sont grandes. Dans la zone d'étude, seule la station climatique de Skikda dispose d'observations sur le vent. Les vitesses moyennes d'une série de 36 années d'observations sont consignées au tableau 15.

**Tableau 15. Variations mensuelles des paramètres météorologiques dans le bassin du Saf-Saf.**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	JN	JL	Août	Année
<b>Vitesse moyenne du vent en m/s (1970/71-2005/06)</b>													
<b>Skikda</b>	2.7	2.8	3.3	3.5	3.4	3.6	2.9	3.0	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7
<b>Humidité relative de l'air en % (Skikda : 1970/71-2005/06 ; Zardézas : 1987/88 – 2005/06)</b>													
<b>Skikda</b>	75.5	73.4	75.1	75.3	75.2	74.8	75.0	74.8	76.2	75.0	73.0	74.1	74.8
<b>Zardézas</b>	57.5	60.3	67.3	65.8	66.5	65.0	63.3	62.4	60.7	53.5	51.4	53.1	60.6
<b>Durée d'ensoleillement en heures/jour (1974-1984)</b>													
<b>Skikda</b>	8.6	7.2	5.7	4.9	5.4	6.4	7.4	8.1	9.1	10.5	11.3	10.3	7.9
<b>Evaporation – Piche en mm (1993/94-2003/04)</b>													
<b>Skikda</b>	111.2	102.2	96.5	85.2	84.8	70.2	94.5	95.8	102.2	108.5	122.2	128.7	1202

S'inspirant des données du tableau 15, il ressort que les vents soufflent à une vitesse moyenne plus rapide de (3.6 m/s) durant le mois de Février et une vitesse minimale de (2.5 m/s) au mois de Mai.

Enfin, comme toutes les régions méditerranéennes, le vent le plus dominant est celui du Nord-Ouest et du Sud-Est. Il s'agit d'un vent chargé en humidité (humidité moyenne annuelle de l'air de l'ordre de 60 à 75 % à Zardézas et à Skikda, respectivement).

Dans la région de Skikda, l'évaporation annuelle est de l'ordre de 1200 mm. Elle atteint son maximum durant la période, chaude et à fort ensoleillement, allant de Mai à Octobre (100 à 130 mm/mois) ; le maximum étant observé au mois d'Août (130mm). Le pouvoir évaporant de l'atmosphère marque son minimum au mois de Février (70 mm).

### **3. Géomorphologie et hydrographie**

Le bassin versant est le siège de la transformation des pluies en débits dans les cours d'eau. Il réagit en fonction des précipitations qu'il reçoit. Les caractéristiques hydrologiques dépendent du climat, notamment la pluviométrie, de la géomorphologie du bassin (forme, relief, pente, réseau de drainage,...), des conditions lithologiques et hygrométriques des sols et de la couverture végétale.

Dans son ensemble, le cadre structural de la région étudiée est très complexe. Le bassin versant de l'oued Saf-Saf fait partie de la chaîne des maghrébides. Il est limité au Nord par le mole néritique constantinois, représenté par une chaîne de calcaire massif du Crétacé de direction Est-Ouest. Les flancs Est et Ouest présentent des terrains anciens métamorphiques (micaschistes, phyllades, gneiss et marbres). Le Nord-Est est constitué par le domaine pré-kabyle à dominance calcaire. La partie intérieure est essentiellement recouverte par la nappe numidienne (grés et argiles) et par le quaternaire. Ce dernier est caractérisé par des alluvions récentes constituées de limons et de cailloux roulés au fond des vallées. La basse terrasse débute en amont d'El Harrouch et se poursuit jusqu'à Skikda. Elle occupe une très bonne partie de la vallée principale de l'oued. La moyenne terrasse, formée d'alluvions anciennes, occupe les niveaux supérieurs des collines. La figure 6 est une représentation schématique de la couverture lithologique dans le bassin.

Conséquence d'une activité tectonique cassante et plicative très importante, le bassin en question se caractérise par un relief particulièrement accentué. Dans le bassin du Saf-Saf, quatre classes de pente ont pu être établies par Kherfouchi in Boulghobra (2006).

Les pentes faibles (0 à 3 %) coïncident avec une surface réduite limitée à la vallée du Saf-Saf et la plaine de Skikda (Fig.7). C'est une zone d'accumulation et est, par conséquent, fortement exposée au risque d'inondation (photos 3 à 6).

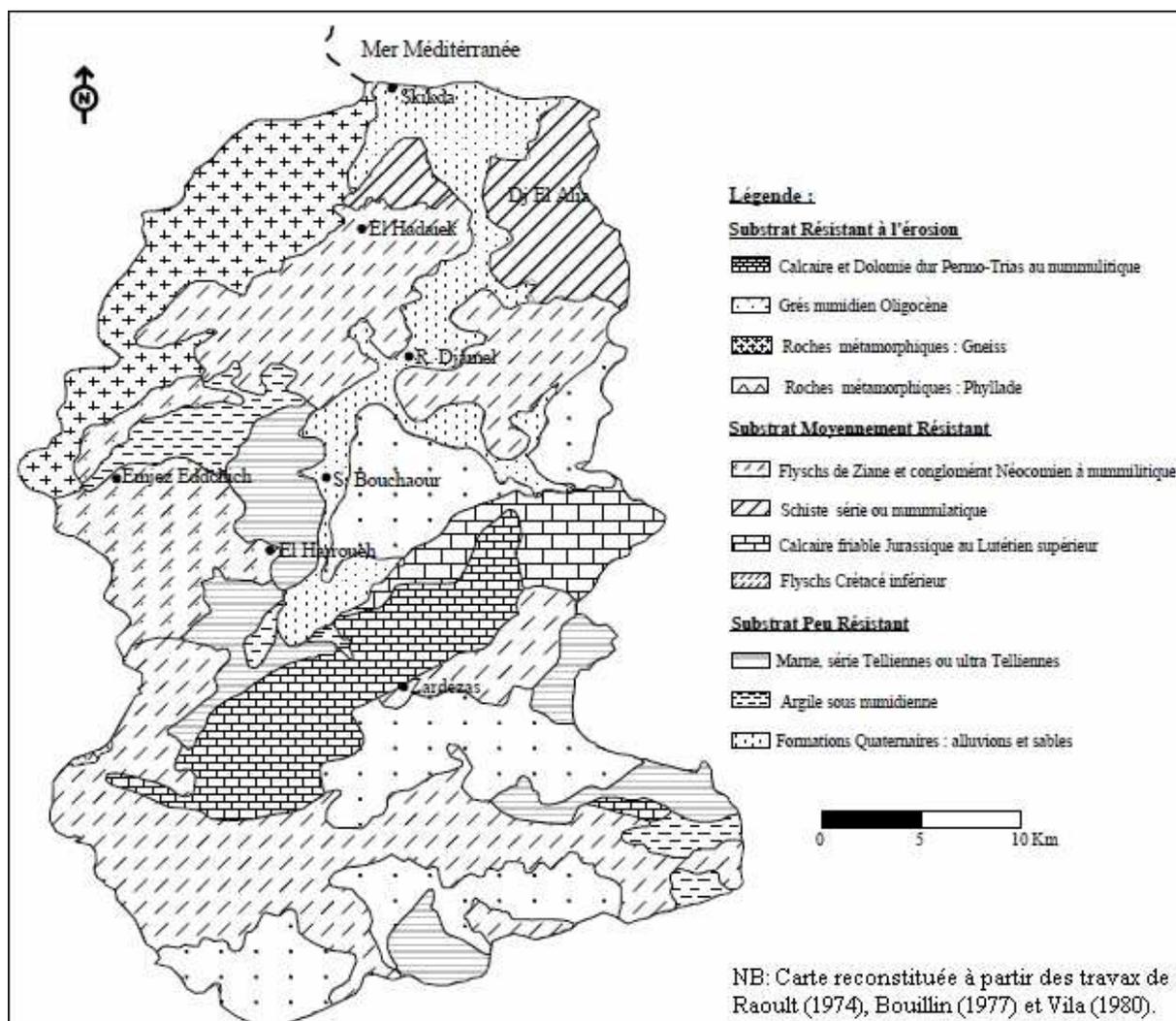


Fig. 6. Carte Lithologique du Bassin Versant de l'oued Saf-Saf (Khelfaoui, 2008)





**Photo 3. Dépression de Salah Bouchaour**



**Photo 4. Dépression de Ramdane Djamel**



**Photo 5. Ramdane Djamel- Inondation du 3 et 4 février 2011 (Débordement de l'oued Saf Saf ).**



**Photo 6. Ramdane Djamel- Inondation du 3 et 4 février 2011 (Débordement des oueds Zerga).**

Les pentes moyennes (3 à 12,5 %) sont fréquentes et couvrent la moitié du bassin. Elles caractérisent surtout la partie méridionale et l'Ouest du bassin ; dépressions de Sidi Mèzghiche, Ramdane Djamel et El Harrouch (photos 7 à 9). Les pentes fortes (12,5 à 25 %) occupent la partie Sud du bassin et présentent en général un relief accidenté. Elles correspondent également aux piedmonts tels que ceux du Djebel El Rhédir, Kef Msouna et Sébargoud.

Les pentes très fortes (plus de 25 %) correspondent aux montagnes plus ou moins élevés. Elles se localisent à l'Est et à l'Ouest dans les gneiss et les schistes du socle kabyle et au niveau des points culminants dans le bassin (Kef Toumièttes, Kef Hahouner, Djebel Sesnou et Djebel Hadjar). Cette classe de pente domine également dans le sous bassin de l'oued Zeramna (photos 10 et 11).



**Photo 7. Partie amont du bassin de l'oued Ghebel (région de Sidi Mezghich - Medjez Edchich)**



**Photo 8. Partie centrale et aval du bassin de l'oued Ammeur (région de Medjez Edchich)**



**Photo 9. Bassin versant de l'oued Hadarat (Dj. R'Dir à l'horizon)**



**Photo 10. Limite Sud-Ouest du bassin des oueds Nessa et Saf-Saf (Kef Toumiettes)**



**Photo 11. Limite Ouest du bassin de l'oued Zéramna (Massif des Medjajda)**

Enfin, on peut noter l'existence de ruptures de pente notamment au niveau des dépressions de Ramdane Djamel, Salah Bouchaour et Beni Béchir qui constituent des zones d'accumulation des eaux par excellence.

Les différentes formes orographiques et morphologiques caractérisant le bassin ainsi que l'agressivité du climat confèrent au bassin un réseau hydrographique relativement dense dont le cours principal est l'oued Saf-Saf. Résultant de la confluence des cours d'eau de Bouhadjeb et Khemakhem, cet Oued prend naissance à quelques kilomètres en amont du barrage de Zardézas dans la chaîne calcaire (photo 12).



**Photo 12. Bassin versant de l'oued Saf-Saf à Khémakhem**

Le long de son parcours sur une distance de près de 55 km et suivant une direction Sud- Nord, il draine une série de bassins de tailles différentes en creusant successivement dans le flysch mauritanien, la nappe numidienne et les terrains métamorphiques anciens pour se déverser enfin dans la Méditerranée. La pente du lit diminue progressivement de l'amont vers l'aval pour devenir presque nulle à proximité de la mer ; au niveau de la zone industrielle (photo 13).



**Photo 13. Oued Saf-Saf à l'embouchure (Ouest du complexe pétrochimique de Skikda)**

L'oued Saf-Saf à l'exutoire, étant le collecteur principal, draine les eaux d'un certain nombre de sous bassins drainés par des collecteurs secondaires d'importance inégale dont les principaux sont brièvement décrits dans ce qui suit (tableau 16 et figure 8).

### **3.1. Sous bassin de l'oued Saf-Saf amont**

A l'amont du bassin, l'oued Saf-Saf résulte de la confluence des cours des oueds Khemakhem et Bouhadjeb qui drainent, respectivement, les parties Est et Ouest du bassin. Il constitue l'unité principale dans l'alimentation du barrage des Zardézas. De forme allongée, il couvre une surface de 322 km<sup>2</sup> et est caractérisé par des pentes relativement plus importantes (pente moyenne de l'ordre de 40 m/km). Il est contrôlé à l'amont du barrage par la station de jaugeage de Khémakhem.

Tableau 16. Indices morphométriques du bassin du Saf-Saf (Abdelli et al., 1991)

Sous bassin	Caractéristiques <sup>6</sup>				
	Lc (Km)	A (Km <sup>2</sup> )	B (Km)	I <sub>bv</sub> (m/km)	I <sub>c</sub> (m/km)
Od. Saf-Saf à Khemakhem	24.0	322	9	22	40
Od. Nessa à la confluence avec Od. Saf Saf	15.0	106	7	17	12
Od. Saf-Saf au pont de Salah Bouchaour	-	543	-	-	-
Od. Ammeur à la confluence avec Od. Saf-Saf	17.5	144	8	13	9
Od. Hadarat à Ramdane Djamel	14.8	143	10	19	4
Od. Zerga à Ramdane Djamel	4.0	17	4	10	11
Od. Saf-Saf à Ramdane Djamel (Gare SNTF)	-	858	35	26	11
Od. Gouhdi à Bountous	6.5	31	5	14	12
Od. Zeramna à la rocade de Skikda	15.5	128	8	21	7
Od. Saf-Saf à l'exutoire (mer)	55.0	1158	22	32	21

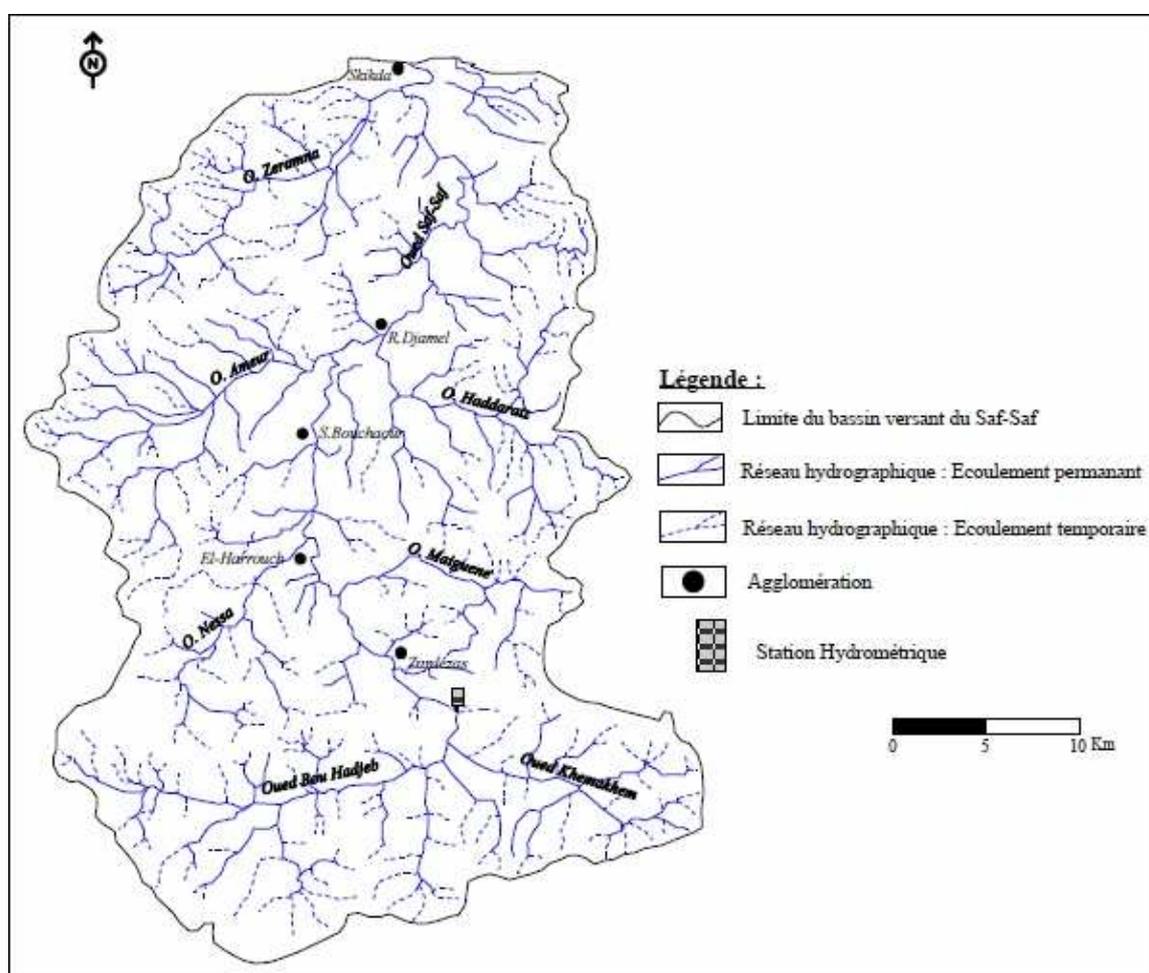


Fig. 8. Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Saf-Saf.

<sup>6</sup> Lc : longueur du cours d'eau, A : superficie du sous bassin, B : largeur moyenne, I<sub>bv</sub> : pente moyenne du sous bassin et I<sub>c</sub> : pente du cours d'eau.

### **3.2. Sous-Bassin de l'oued Nessa**

L'oued Nessa (à El-Harrouch) draine un bassin, à dominance marneuse, très compartimenté de 106 km<sup>2</sup>. Ce bassin, de forme triangulaire et plus ou moins étroit, se trouve à une altitude de 80 m. Il est délimité par une ligne de relief culminant à 300m au Nord et plus de 800m au Sud (col d'El Kentour et Kef Toumiettes).

### **3.3. Sous-Bassin de l'oued Ghbel (Oued Ammeur)**

L'Oued Ghbel, long de 17.5 km prend naissance dans la région de Mdjez-Edchich et se déverse en rive droite, sous le nom de Oued Ammeur, dans l'Oued Saf-Saf à trois kilomètres au Sud de Ramdane Djamel. Il draine un bassin assez étendu et de faible pente (superficie planimétrée de l'ordre de 144 km<sup>2</sup>). Tout comme le sous bassin versant de l'oued Zerga à Ramdane Djamel, il est caractérisé par des formations quaternaires peu ou pas perméables, il présente des zones marécageuses.

### **3.4. Sous-Bassin de l'oued Hadarat**

Traversant un terrain quasiment quaternaire, l'Oued Hadarat qui prend naissance dans le Djebel Rhédir s'écoule du Sud-Est vers le Nord sur une longueur de 15 km.. Il draine un terrain plus ou moins large d'environ 10 km où les pentes sont relativement faibles à modérées. Les sommets des koudiats sont recouverts de grés numidiens. L'oued Ksob au Sud Ouest et Oued Deb à l'Est drainent respectivement les eaux des flancs Est d'El Fedj et Sud-Ouest de Fedj-Moussa.

### **3.5. Sous-Bassin de l'oued Zéramna**

L'oued Zeramna qui prend naissance dans les zones montagneuses de Bouchtata au niveau de Djebel Staiha (photo 14) draine un bassin de forme allongée. Ayant une longueur de 15.5 Km<sup>2</sup>. Il s'incise, le long de la nationale 43, dans le socle métamorphique de la petite Kabylie. Le remplissage alluvionnaire, étant de très faible étendue le long de l'oued, devient plus important à partir d'El-Hadaik où la basse terrasse est très marquée. Les flancs Est et Ouest sont caractérisés par des pentes raides favorisant ainsi la genèse des crues en périodes des hautes eaux. Les pentes deviennent beaucoup plus faibles au Nord d'El-Hadaik au niveau de

la plaine et au fur et à mesure qu'il se rapproche de sa confluence avec le Saf-Saf, à quelques dizaines de mètres à l'Est de la route nationale 44 (à Merdj Edib).



**Photo 14. Bassin versant de l'oued Charchar à Bouchetata au Nord de Dj. Staiha.**

En résumé, on note que l'Oued Saf-Saf ainsi que ses affluents sont des cours d'eaux intermittents. Une étude de corrélation entre les longueurs des cours d'eau et les terrains qu'ils drainent obtenue par régression géométrique indique que dans l'ensemble, le bassin versant de l'oued Saf-Saf tend à s'allonger au fur et à mesure qu'il s'élargit (Abdelli et al., 1991).

#### **4. Couvert végétal**

Du point de vue hydrologique, la végétation n'est pas à considérer sous son aspect botanique ou phyto-géographique. Mais c'est l'aspect de couverture du sol qui compte le plus. En fait, c'est la densité d'occupation du sol qui intervient comme élément de différenciation tant au niveau de l'écoulement qu'au niveau de dégradation des sols. Si on adopte la classification proposée par Tricart (1963 et 1968) au bassin du Saf-Saf, on distingue les trois catégories suivantes.

#### **4.1. Surfaces bien protégées en permanence**

Les terrains protégés en permanence correspondent aux forêts, et aux prairies naturelles ou artificielles permanentes. Dans le bassin versant du Saf-Saf , ils couvrent près de 25 % de la superficie totale du bassin (28700 ha). Composés essentiellement de maquis, de chêne liège et de chêne Zeen, ils sont représentés par la forêt de Stora (380 m d'altitude) à l'Est du massif de Ain Zouit, le forêt de l'Oued Saf-Saf (200 – 600 m) à l'Est d'El Harrouch, couvrant le Djebel El Rhédir, la forêt de Bissy (100 – 530 m) au Sud-Est de Skikda, la forêt de Arb Staiha (570 m) à l'Ouest du bassin et au Nord-Ouest de Sidi Mèzghiche (photo 15) et la forêt de Beni Mejaled (400 – 1060 m) à l'extrémité Sud-Est du bassin. Ce taux de couverture reste néanmoins insuffisant.



**Photo 15. Forêt du flanc Est de Dj. Staiha**

#### **4.2. Surfaces incomplètement protégées**

Il s'agit d'une couverture végétale qui laisse le sol partiellement nu en permanence entre les plantes (vergers). La couverture végétale n'occupe densément le sol que pendant une partie de l'année (couverture saisonnière: terres labourées par les cultures maraîchères et de plein champ). Ce type de culture est le plus dominant dans le bassin versant du Saf-Saf.

### 4.3. Surfaces mal protégées ou nues

Ce type de surface favorise le ruissellement et l'érosion hydrique. Ce sont des terrains dénudés ou recouverts de broussailles de faible densité (photo 16).



**Photo 16. Bassin de l'oued Saf-Saf à l'amont de Khémakhem (Mai 2006)**

On doit enfin noter que le couvert végétal dans le bassin du Saf-Saf est en partie dégradée suite à des facteurs multiples: surexploitation des richesses forestières, surpâturage et parcours, dilapidation des espaces forestiers en faveur des terres agricoles et incendies.

### 5. Propriétés physiques des sols

Afin de mieux appréhender le mouvement et les interactions simultanés de l'eau dans le sol, il est nécessaire de procéder à une étude des caractéristiques physiques des sols dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf.

Les résultats des analyses granulométriques et sédimentométriques de 27 échantillons de sols prélevés à des profondeurs variant entre 0.30 et 3 m ont montré que la plupart des sols sont constitués d'argile et de limons argileux (tableau 17) de très faible perméabilité et drainage (Hunt, 1984) ; le coefficient de perméabilité étant de l'ordre de  $10^{-6}$  cm/sec (Abdelli et al., 1991). Néanmoins, les sols de la vallée de l'oued Saf-Saf sont caractérisés, par endroit, par une texture relativement grossière (limons sableux et argiles sableuses).

**Tableau 17. Classification texturale des sols dans le bassin de l'oued Saf-Saf (Abdelli et al., 1991)**

Bassin	Sites	% Sables	% Silt	% Argiles	Type de sol	Perméabilité (cm/sec)
<b>Haut Saf-Saf</b>	16	22	35	43	Argiles	
	17	79	03	04	Limon-sableux	
	20	22	43	35	Limon-argileux	
	27	62	26	12	Limon-sableux	
<b>Moyen Saf-Saf</b>	01	44	32	24	Limon	
	02	00	58	42	Limon-argileux	
	05	64	21	15	Limon-sableux	$1.0 * 10^{-6}$
	06	08	52	40	Limon-argileux	
	09	16	44	40	Limon-argileux	$1.6 * 10^{-6}$
	14	18	23	59	Argiles	
	15	02	34	64	Argiles	
	18	40	19	41	Argiles	
<b>Bass Saf-Saf</b>	03	52	22	26	Limon-argilo-sableux	
	04	15	47	38	Limon-argileux fins	
<b>Zéramna</b>	12	18	48	34	Limon-argileux fins	
	13	18	30	52	Argiles	
	25	91	09	00	Sables	$4.8 * 10^{-2}$
<b>Hadarat</b>	07	25	43	32	Limon-argileux	
	08	22	46	32	Limon-argileux	
<b>Ammeur</b>	10	35	37	28	Limon-argileux	
	11	41	28	25	Limon-argileux	
	21	40	26	34	Limon-argileux	
	22	24	35	41	Argiles	
	23	75	25	00	Sables limoneux	
	24	41	42	17	Limons	
<b>Zerga</b>	26	09	31	58	Argiles	

Dans le but de mieux comprendre la vitesse de percolation des précipitations, treize essais à l'infiltromètre à double anneaux, réalisés par Abdelli et al. (1991) sur les sols en place dans treize sites jugés, sur le plan spatial, représentatifs de la zone étudiée, ont été réinterprétés.

Les données collectées sur le terrain ont fait l'objet d'un retraitement graphique et statistique afin de mieux apprécier les variations spatiales et temporelles de la capacité d'infiltration des sols dans le bassin du Saf-Saf. Sachant que les données de mesure s'étalent sur une période d'essai relativement courte (entre 2 et 4 heures) pour permettre une imbibition totale du sol, les observations ont été ajustées aux modèles d'infiltration de Kostiakov (in RAVI et WILLIAMS, 1998 et Kostiakov, 1932) et de Horton (1933). Ces modèles qui expriment la relation fonctionnelle entre la capacité d'infiltration d'un sol ( $f$ ) et le temps écoulé ( $t$ ) depuis le début de l'expérience, qui pourrait être assimilé au début d'un épisode pluvieux, prennent les formes suivantes:

$$\text{Kostiakov : } f(t) = a \times t^b$$

$$\text{Horton : } f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$$

où  $a$ ,  $b$ ,  $f_c$ ,  $f_0$  et  $k$  sont des constantes d'ajustements variables selon le type de sol.

Ainsi, la capacité d'infiltration espérée après une période de 3, 4, 6, 12 et 24 heures a été calculée dans le but d'apprécier le pouvoir des sols, après saturation, à permettre une percolation profonde des eaux de pluie (tableaux 18 et 19).

Sur la base des données contenues dans les tableaux ci-dessus, on peut déduire qu'après une journée d'imbibition, les sols dans le bassin du Saf-Saf présentent des capacités d'infiltration relativement faibles dans le moyen Saf-Saf (secteur Salah Bouchaour-Ramdane Djamel). Quel que soit le modèle empirique adopté, elles s'échelonnent entre 2 mm/h au niveau de la confluence des oueds Hadarat et Saf-Saf à l'Est de Ramdane Djamel et plus de 10 cm/h dans le remplissage alluvionnaire des oueds Saf-Saf (à El Harrouch) et Ammeur (entre Medjez Edchich et le village agricole Dakiche Rabah).

**Tableau 18. Ajustement de la capacité d'infiltration dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf  
à un modèle de Kostiakov**

Site	Sous bassin	Type de sol	Paramètres du modèle			Capacité d'infiltration après t heures (cm/hr)				
			a	b	r <sup>2</sup> (%)	f(3h) (cm/hr)	f(4h)	f(6h)	f(12h)	f(24h)
8	Haut Saf Saf	Limon-sableux	55,3	-0,23	96	17	15,7	14,3	12,2	10,4
1	Moyen Saf Saf	Limon-argileux	28,64	-0,53	98	2,13	1,84	1,5	1,1	0,75
2		Limon-sableux	31,1	-0,52	98	2,1	1,8	1,46	1	0,7
7		Argiles	164,9	-0,64	99	5,94	4,94	3,8	2,44	1,6
3	Bas Saf Saf	Limon-argileux fin	15,45	-0,35	98	2,5	2,3	2	1,5	1,2
4	Zéramna	Argiles	51,8	-0,52	99	3,5	3	2,4	1,7	1,2
5		Limon-argileux fin	23,7	-0,5	99	1,8	1,5	1,2	0,9	0,6
12		Sables	73,7	-0,48	99	6,1	5,3	4,4	3,13	2,24
13		Limon-argileux fin	12,3	-0,3	97	2,6	2,4	2,1	1,7	1,4
6	Hadarat	Limon-argileux	40,2	-0,31	99	8,04	7,4	6,5	5,2	4,2
9	Ammeur	Argiles	41,3	-0,4	98	5,2	4,6	3,9	3	2,3
10		Limon-argileux	96,1	-0,32	99	18,2	16,6	14,6	11,7	9,4
11		Limon-argileux	25,03	-0,39	98	3,3	3	2,5	1,9	1,5

**Tableau 19. Ajustement de la capacité d'infiltration dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf  
à un modèle de Horton**

Site	Sous bassin	Type de sol	Paramètres du modèle			Capacité d'infiltration après t heures (cm/hr)				
			fo (cm/hr)	fc (cm/hr)	k (1/hr)	3	4	6	12	24
8	Haut SafSaf	Limon-sableux	45,00	14,50	4,00	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50
1	Moyen Saf Saf	Limon-argileux	15,00	0,18	3,20	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
2		Limon-sableux	14,00	0,95	3,00	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
7		Argiles	62,50	2,90	6,00	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
3	Bas Saf Saf	Limon-argileux fin	10,00	2,40	3,30	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
4	Zéramma	Argiles	16,00	2,40	3,10	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
5		Limon-argileux fin	13,00	1,40	4,20	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
12		Sables	37,00	3,50	3,40	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
13		Limon-argileux fin	11,00	2,00	2,90	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
6	Hadarat	Limon-argileux	22,50	6,00	1,90	6,06	6,01	6,00	6,00	6,00
9	Ammeur	Argiles	25,00	4,90	1,20	5,45	5,07	4,92	4,90	4,90
10		Limon-argileux	62,50	13,10	2,60	13,12	13,10	13,10	13,10	13,10
11		Limon-argileux	16,00	1,80	4,70	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80

La confrontation des résultats des mesures de terrain aux données utilisées dans la classification de l'US-NRCS (tableau 20) montre bien que les couches superficielles des sols dans le bassin du Saf-Saf sont bien drainées.

**Tableau 20. Détermination du groupe de sol à partir de la capacité d'infiltration minimale ( $f_{min}$ )**

Groupe de sol	$f_{min}$ (cm/hr)	Caractéristiques
<b>A</b>	<b>0.76 - 1.14</b>	Sable profond, limon (loess) profond, vase à agrégats,
<b>B</b>	<b>0.38 - 0.76</b>	Limon (loess) peu profond, limon sableux,
<b>C</b>	<b>0.13 - 0.38</b>	Limon argileux, limon sableux peu profond, sols faibles en matières organiques, sols généralement riches en argiles
<b>D</b>	<b>0.0 - 0.13</b>	Sols qui se gonflent rapidement lorsque trempés dans l'eau, argiles plastiques lourdes, certains sols salins,

## 6. Conclusion

Les sorties de reconnaissance, effectuées sur les terrains, ont permis de dégager les grands traits marquant le bassin du Saf-Saf et les principales causes des inondations. Ce dernier se caractérise par :

- un relief très accidenté (grandes dénivelées), à pentes fortes sur les versants et faibles à très faibles au niveau des fonds des vallées, notamment celles du Saf-Saf,
- un couvert végétal forestier insuffisant et par endroit dégradé (incendié); la couverture végétale se résume essentiellement à des maquis, de chêne liège et de chêne Zeen (sur les hautes altitudes), des vergers, de terrains labourés par les cultures maraîchères et de plein champ, de terrains de parcours (pâturage, jachères) et de broussailles de faible densité.
- une végétation dense le long des berges et des lits des oueds (roseaux).
- des formations superficielles meubles dominées par les argiles et les limons argileux (alluvions du Quaternaire) reposant sur un socle dur.
- des torrents obturés ou transformés, par endroits, par la construction de voies de circulation (routes et chemin de fer),
- aménagement de certains chenaux (oueds Zéramna à Skikda, Zerga à Ramdane Djamel et plusieurs affluents secondaires à l'intérieur des différentes agglomérations),
- des avaloirs obstrués par les déchets ménagers et les bouteilles en plastique,
- bouchage des canaux et la prolifération des décombres sur les lits des oueds provoquant le débordement,
- urbanisation à outrance de terrains connus pour être des cuvettes d'accumulation et qui, en plus, jouxtent deux à trois cours d'eau (Ramdane Djamel et Skikda, en particulier) sans tenir compte de la sécurité des personnes et des biens.

Au terme de cette partie, on peut dire que les facteurs naturels confèrent aux basses vallées du Saf-Saf (cônes de déjection) des conditions favorables à l'accumulation et à la stagnation des eaux de pluies et du ruissellement provenant des versants. Ces territoires présentent des enjeux vulnérables aux phénomènes d'inondation. Aux descriptions géomorphologiques du bassin versant s'ajoutent l'intensité et la fréquence des averses torrentielles qui amplifient les risques d'inondation et les phénomènes de coulées boueuses auxquels sont confrontés les habitants et les infrastructures de bases de la zone d'étude. C'est ce que nous allons étudier dans le chapitre suivant.

## CHAPITRE II

### **CARACTERISTIQUES DES ECOULERMENTS DE L'OUED SAF-SAF A KHEMAKHEM**

#### **1. Régime d'écoulement**

Pour l'étude du régime fluvial, il est nécessaire de passer par la prise en compte de l'écoulement superficiel dans ses aspects fondamentaux notamment, les débits caractéristiques, les débits moyens mensuels et annuels et leurs variations.

L'étude des débits fournit donc des informations sur le comportement des eaux de surface et leur variabilité temporelle. Elle est également indispensable pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques destinés à la protection des populations contre les inondations. Le traitement des données d'une série de 29 ans d'observations des débits moyens journaliers et extrêmes enregistrés entre 1973 et 2002 au niveau de la station hydrométrique de Khemakhem (annexes 9 et 10), située à 4 km à l'amont du barrage de Zardézas, a permis de tirer les caractères essentiels du régime de l'oued Saf-Saf à Khemakhem.

#### **1.1. Débits caractéristiques**

Les caractéristiques naturelles d'un cours d'eau sont fréquemment résumées sous forme de courbes temporelles (Fig. 9) ou de débits classés qui montrent le pourcentage de fois qu'un débit donné peut être inférieur ou égale à une valeur donnée durant une année de référence. Pour mieux appréhender le régime d'écoulement, l'analyse des débits porte particulièrement sur trois années représentatives reflétant chacune la réaction du bassin versant en année déficitaire (1985/86), moyenne (1997/98) et excédentaire (1998/99).

En se référant à l'année hydrologique 1997/98, prise comme proche d'une année moyenne (Fig. 10), les débits journaliers, dont plus de 80 % sont inférieurs à  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , varient entre 0 et  $34 \text{ m}^3/\text{s}$ . La valeur de l'écoulement semi permanent est estimée à  $0.105 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le débit caractéristique maximal (DCM) est de l'ordre de  $8 \text{ m}^3/\text{s}$ , alors que le débit caractéristique d'étiage (DCE) est, par contre, nul

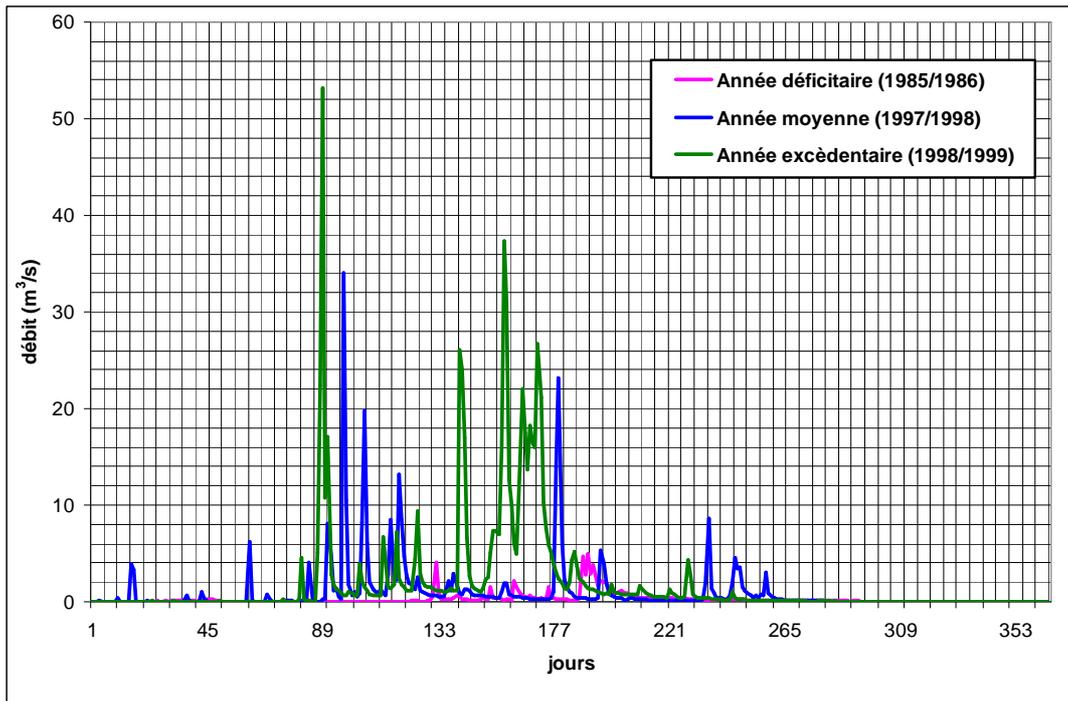


Fig. 9. Variations journalières des débits de l'oued Saf-Saf

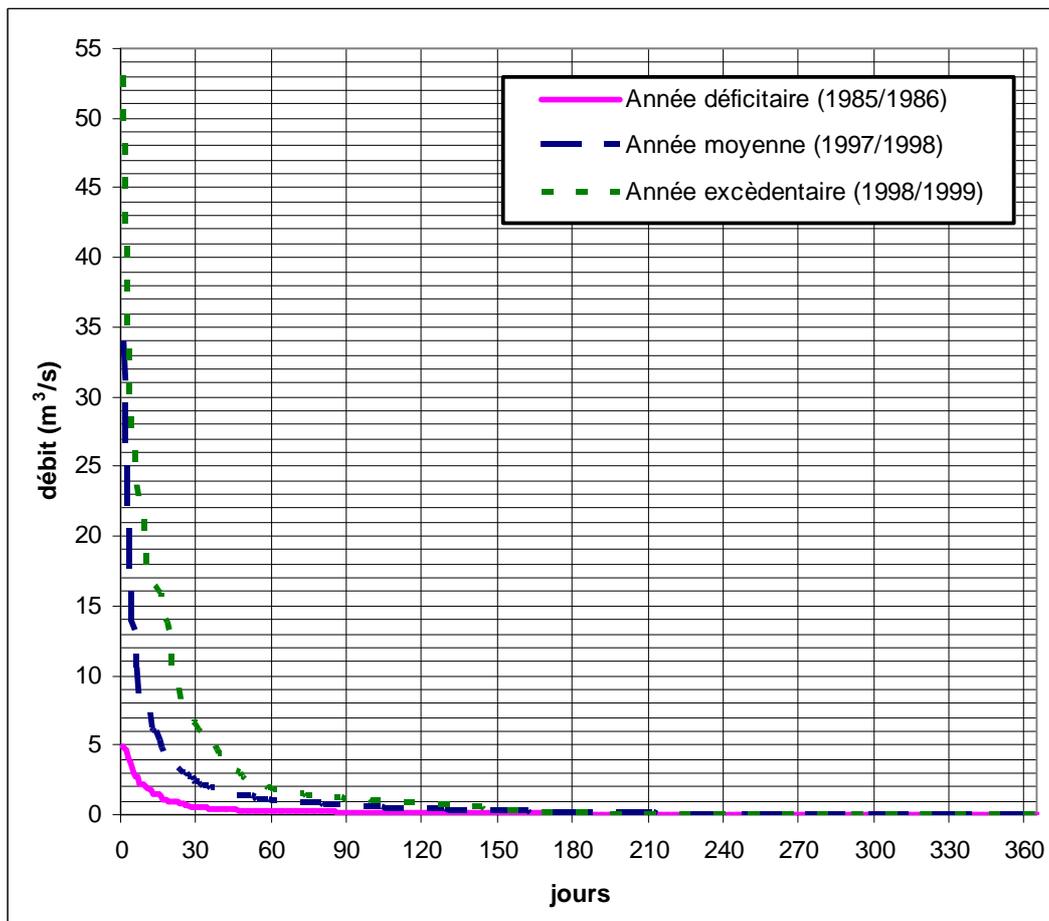


Fig. 10. Courbes des débits classés de l'oued Saf-Saf

Au cours de l'année déficitaire (1985/86), les débits journaliers sont faibles et varient entre 30 l/s et 5 m<sup>3</sup>/s avec une moyenne de 0.25 m<sup>3</sup>/s et un DCM de l'ordre de 2 m<sup>3</sup>/s. Le débit semi permanent et le DCE sont très faible ( $\approx$  70 l/s et nul, respectivement).

Pendant l'année excédentaire (1998/99) le débit journalier atteint une valeur importante de 53 m<sup>3</sup>/s avec un DCM égale à 18 m<sup>3</sup>/s. Le débit semi permanent est très faible (10 l/s) et le DCE est également nul. La moitié des valeurs du débit journalier sont inférieurs ou égales à 1 m<sup>3</sup>/s. Le tableau 21 récapitule les principales caractéristiques de l'écoulement de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.

**Tableau 21. Débits caractéristiques de l'oued Saf-Saf à Khemakhem période (1973/74-2001/02)**

Type d'année	Débits caractéristiques (m <sup>3</sup> /s)					
	Q <sub>min</sub>	Q <sub>max</sub>	Q <sub>moy</sub>	Q <sub>50%</sub>	DCE	DCM
Déficitaire (1985/86)	0.03	4.945	0.25	0.0694	0.018	2.072
Moyenne (1997/98)	0	34.01	0.93	0.105	0	8.27
Excédentaire (1998/99)	0	53.11	2.04	0.10	0	18.22

## 1.2. Variabilité mensuelle et annuelle des débits

### 1.2.1. Variabilité mensuelle des débits

L'analyse des débits mensuels permet de mettre en lumière les régimes saisonniers d'un cours d'eau. Ces régimes peuvent être traduits par divers critères numériques et graphiques, parmi lesquels on note principalement le coefficient mensuel de débit ou CMD (tableau 22).

**Tableau 22. Variabilité mensuelle et annuelle des débits de l'oued Saf-Saf**

	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avrl	Mai	Jun	Jul	Aoû	Année
Q <sub>m</sub> <sup>7</sup>	0,03	0,14	0,5	1,94	2,11	2,93	1,98	1,04	0,63	0,23	0,03	0,02	0.97
q <sub>m</sub> <sup>8</sup>	0,09	0,43	1,55	6,02	6,55	9,1	6,15	3,23	1,96	0,71	0,09	0,06	3,01
CV	2,00	1,98	1,97	1,95	1,50	1,30	1,44	1,36	2,26	3,90	2,05	2,03	0,90
CMD	0,03	0,14	0,51	2,00	2,18	3,02	2,05	1,08	0,65	0,24	0,03	0,02	-
P <sup>9</sup>	33,3	53,1	75,3	109,5	94,8	78,8	71,0	60,5	39,2	14,1	4,5	7,4	641,5

<sup>7</sup> débit moyen en m<sup>3</sup>/s

<sup>8</sup> débit spécifique moyen en l/s/km<sup>2</sup>

<sup>9</sup> pluie moyenne en mm à la station de Zardézas (période: 1971-1972/2008-2009)

Ce coefficient, défini par le rapport du débit moyen mensuel au module annuel de la période considérée, permet de définir le régime d'un cours d'eau. Dans le bassin de l'oued Saf-Saf à Khemakhem, la saison des hautes eaux, définie par un CMD supérieur à l'unité (Fig. 11), s'étale de Décembre à Avril avec un maximum au mois de Février (débit moyen mensuel: 2.93 m<sup>3</sup>/s). Le reste de l'année correspond aux basses eaux; le minimum étant observé au mois d'Août (débit moyen mensuel: 20 l/s). La figure 12, caractérisée par une seule pointe (courbe en cloche), traduit l'existence d'un seul mode d'alimentation de l'oued, essentiellement pluvial, caractéristique du climat méditerranéen.

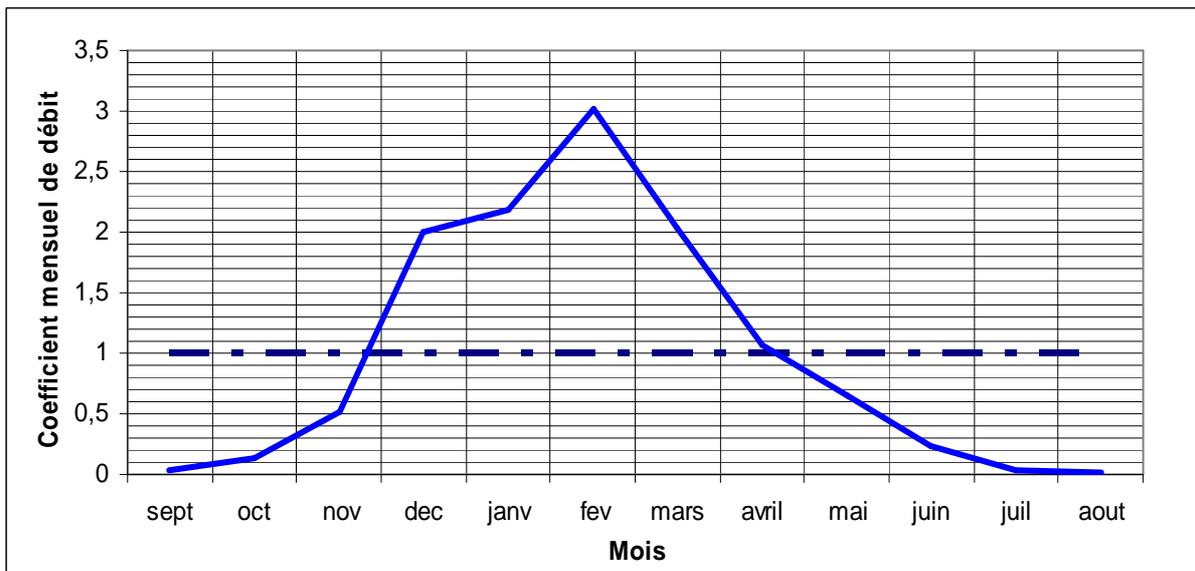


Fig. 11. Coefficient mensuel de débit de l'oued Saf-Saf à Khemakhem

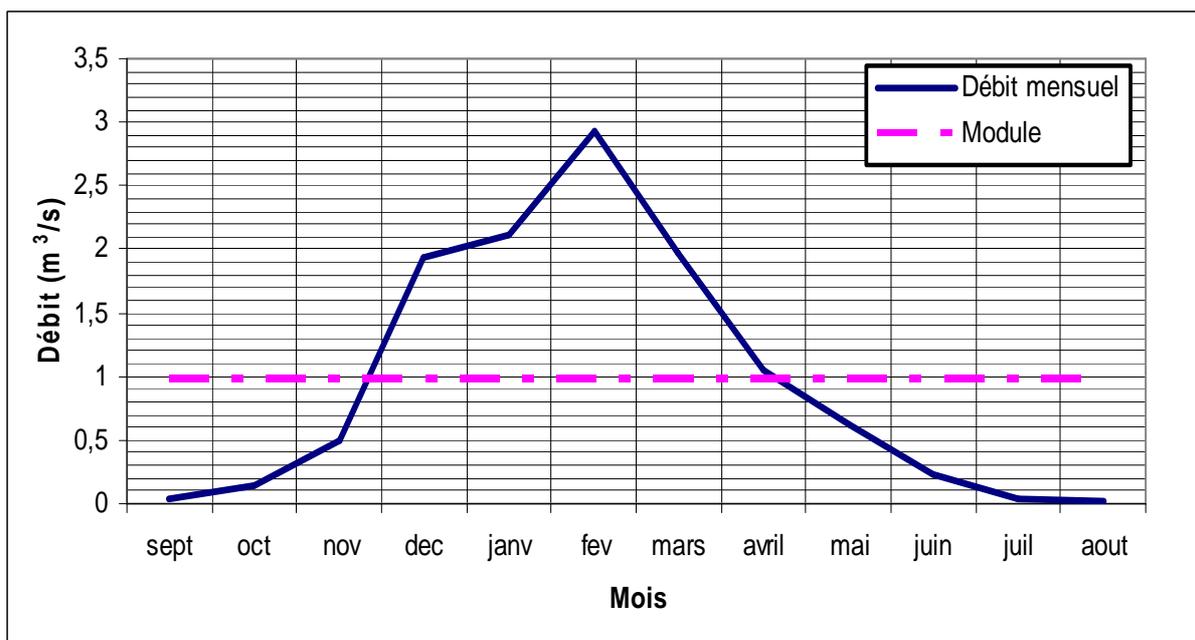


Fig. 12. Variabilité mensuelle des débits de l'oued Saf-Saf à Khemakhem

Les fluctuations inter mensuelles des débits sont très importantes ( $1.3 < CV < 3.9$ ) aussi bien en hautes qu'en basses eaux. Elles sont d'autant plus fortes que les débits moyens mensuels sont faibles notamment durant la période Mai-Septembre (tableau 22).

### 1.2.2- Variabilité interannuelle du débit

Basé sur une série d'observations de 29 ans (1973/74 - 2001/02), le module annuel moyen est de l'ordre de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Les valeurs annuelles du débit montrent des fluctuations également très importantes (1996/97:  $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$  ; 1984/85:  $4.10 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Les fortes irrégularités du débit annuel sont traduites par un CV également important (0.90). La représentation graphique de l'hydraulicité annuelle (Fig. 13) montre que la période considérée s'est grossièrement démarquée par une année normale, 9 années excédentaires et 19 années déficitaires. Les périodes sèches s'évalent le plus souvent sur 3 à 5 années successives avant d'être interrompues par une ou deux années humides.

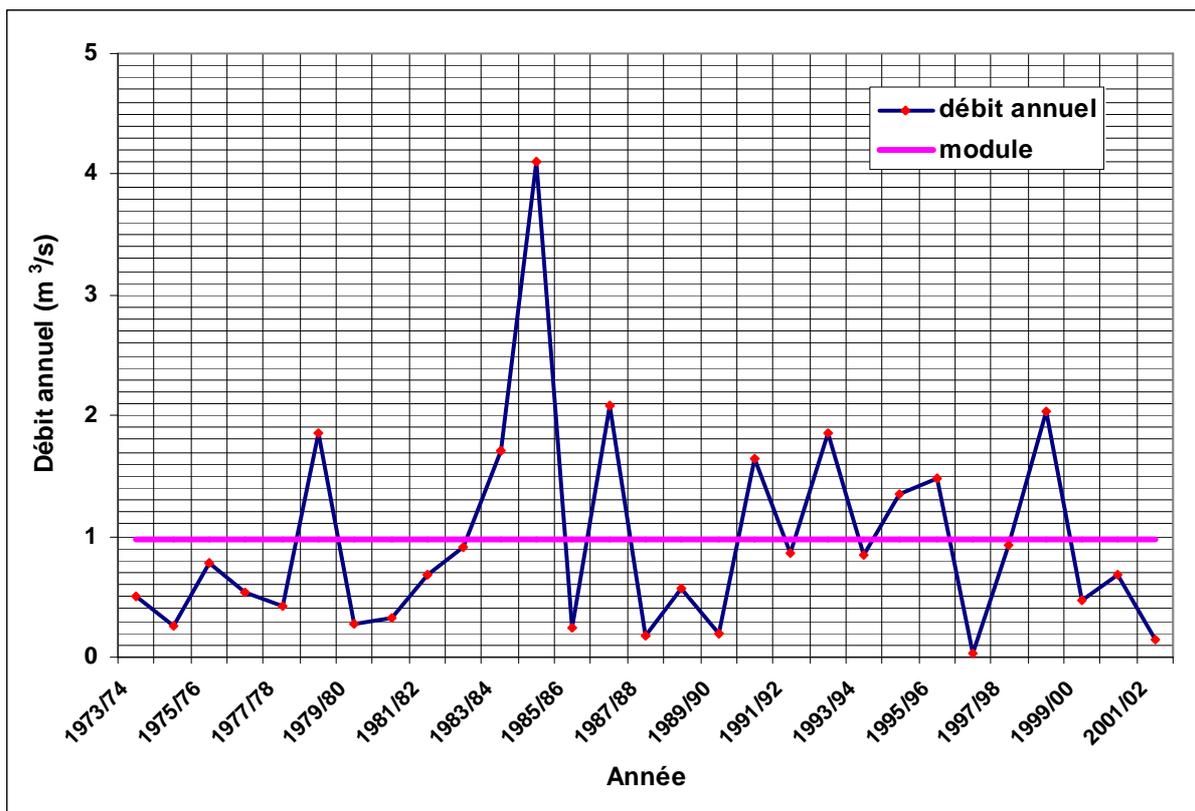


Fig. 13. Variabilité interannuelle de débit de l'oued Saf-Saf à Khemakhem

Les analyses de corrélation linéaire, géométrique et polynomiale montrent que les pluies annuelles se corrélaient de façon satisfaisante aux débits mais elles n'expliquent que 36 à 44 % de la variabilité des lames d'eau écoulées (tableau 23). Cette corrélation peut être plus significative à l'échelle de la crue.

**Tableau 23. Relation 'Lame d'eau écoulée - Précipitation' à la station des Zardézas**

Modèle	Equation	Constantes d'ajustement			Qualité de l'ajustement	
		a	b	c	R <sup>2</sup> (%)	R (%)
linéaire	$Le = a \times P + b$	0,3336	-142,67		0,41	0,64
puissance	$Le = a \times P^b$	$2 \cdot 10^{-6}$	6,62		0,36	0,60
exponentiel	$Le = a \times e^{b \cdot P}$	4,5	0,004		0,37	0,61
polynomial	$Le = a \times P^2 + b \times P + c$	0,0005	-0,4108	123,39	0,44	0,67

## 2. Analyse des crues

Les crues peuvent être définies selon l'auteur et le but fixé. Certains auteurs définissent la crue comme étant le débit maximum observé dans l'année (débit de pointe instantané ou débit moyen journalier maximum). D'autres considèrent une crue toute augmentation du niveau d'eau par rapport au niveau habituel dans la section d'écoulement. Quelle que soit la définition, l'étude revêt un intérêt capital dans les projets relatifs au dimensionnement et à la construction des ouvrages régulateur (retenues collinaires, barrages, caniveaux, digues, ponts etc...). Elle permet de mettre le point sur les principales caractéristiques de l'hydrogramme de crue (volume, temps de montée, débit de pointe et décrue) ainsi que leur fréquence. Ce qui aide à la prise de décision dans les problèmes de gestion des inondations dans le bassin.

Dans ce mémoire, l'analyse des crues est basée sur les débits horaires, maxima instantanés et journaliers enregistrés à la station limnimétrique de Khémakhem entre le 25 Septembre 1973 et le 3 Mai 1999. Elles portent sur l'étude de 106 crues dont le débit de pointe est supérieur au module et dont la majorité se caractérisent par une seule pointe (crues simples). Le tracé des hydrogrammes a permis de retenir, selon le caractère à étudier, un certain nombre de crues de référence pour faire l'objet d'une analyse minutieuse dans le but de mieux cerner leur structure.

## 2.1. Caractéristiques des hydrogrammes de crue

Pour mieux appréhender les caractéristiques fondamentales des crues (temps de pointe, temps de base, débit de pointe etc..) de l'oued Saf-Saf, on a procédé à la décomposition par la méthode des rapports successifs<sup>10</sup> (Fig. 14) de 31 hydrogrammes relatifs à des crues plus ou moins simples. Le traitement statistique des valeurs obtenues pour chaque paramètre met en lumière les fortes variations des différentes caractéristiques d'une crue à l'autre (annexe 11 et tableau 24). L'analyse des résultats permet de constater, à titre d'exemple, que dans les conditions médiane et moyenne, il est clair que les crues de l'oued Saf-Saf se caractérisent par des montées relativement rapides (6 à 8 heures) et des temps de base de 20 à 22 heures, respectivement. Par conséquent la décrue s'étale sur une période plus longue (14 heures environ). La figure 15 schématisant la structure des hydrogrammes types moyen, médian et de fréquences 25 et 75 %, montre que dans les conditions médianes (fréquence 50%) près du tier du volume de la crue est enregistré pendant la montée des eaux dont le temps de pointe représente approximativement le 1/3 du temps de base (tableau 24).

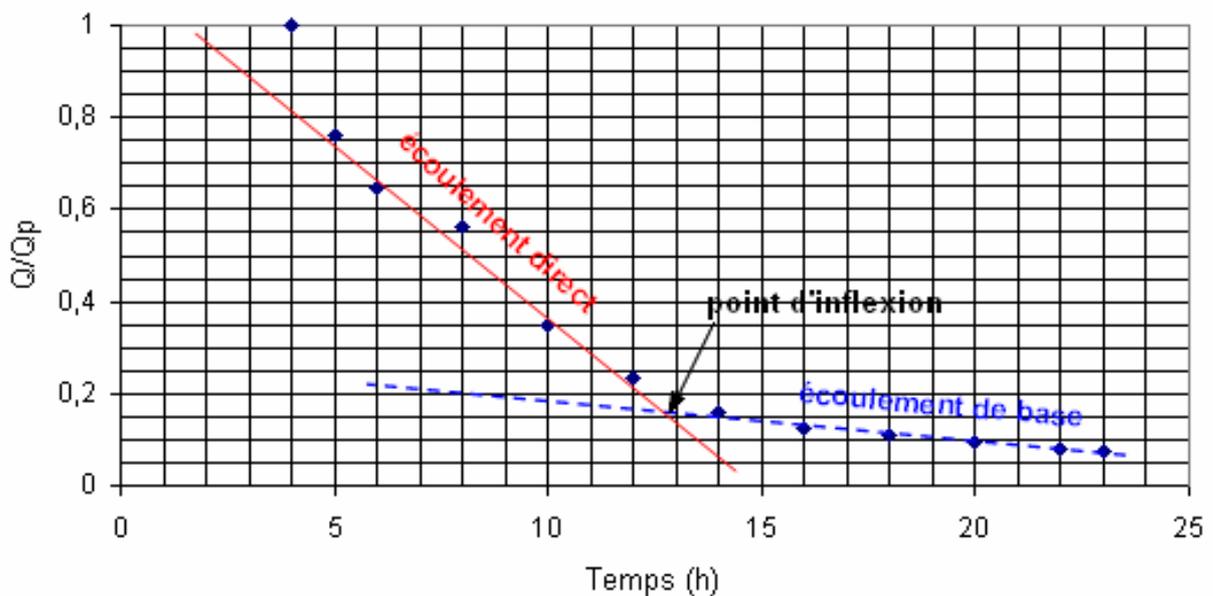


Fig. 14. Décomposition de la crue du 10/03/1993 par la méthode des rapports.

<sup>10</sup> Le changement de pente en un point donné indique un changement dans le régime d'écoulement.

**Tableau 24. Caractéristiques des crues de l'oued Saf-Saf à Khémakhem**

Caractéristique	Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s)	T <sub>p</sub> (h)	V (Hm <sup>3</sup> )	V <sub>25%</sub> <sup>11</sup> (%)	V <sub>50%</sub> (%)	V <sub>75%</sub> (%)	T <sub>b</sub> (h)	T <sub>p</sub> /T <sub>b</sub>	V <sub>Tp</sub> (%)	Le (mm)
<b>Paramètres statistiques (31 hydrogrammes)</b>										
<b>moyenne</b>	67,3	7,9	3,1	22,3	62,7	88,0	22,0	0,4	0,4	9,7
<b>s</b>	109,6	5,1	8,6	14,6	20,5	9,7	11,6	0,2	0,2	26,7
<b>CV</b>	1,63	0,65	2,76	0,66	0,33	0,11	0,53	0,56	0,47	2,76
<b>min</b>	3,1	2,0	0,1	2,0	18,2	59,0	8,0	0,0	0,1	0,2
<b>max</b>	558,0	21,0	47,7	62,0	91,5	98,5	56,0	0,8	0,9	148,2
	<b>Quantiles</b>									
<b>5%</b>	4,6	2	0,07	2,9	19	61,5	8	0,03	0,16	0,2
<b>10%</b>	6,88	2	0,13	5	29,7	77,5	9	0,13	0,18	0,4
<b>20%</b>	10,4	4	0,19	9,9	51,8	81,5	15	0,21	0,25	0,6
<b>25%</b>	10,7	4	0,26	10	54,7	84	15	0,22	0,25	0,8
<b>50%</b>	25,6	6	0,65	22	68,5	90,25	20	0,33	0,31	2,0
<b>75%</b>	91,1	10	2,37	28,5	75,5	94,5	28	0,5	0,47	7,4
<b>80%</b>	98,8	12	2,51	30	77,8	95,4	28	0,5	0,48	7,8
<b>90%</b>	115	16	5,15	41,5	81,6	97,6	32	0,63	0,62	16
<b>95%</b>	284	18	10,78	49	87	98	49	0,75	0,72	33,5
<b>99,99%</b>	558	21	47,73	62	91,5	98,5	56	0,8	0,87	148,2

<sup>11</sup> V<sub>25%</sub> représente le pourcentage du volume de la crue correspondant au temps  $t = 0.25 \times T_b$ .

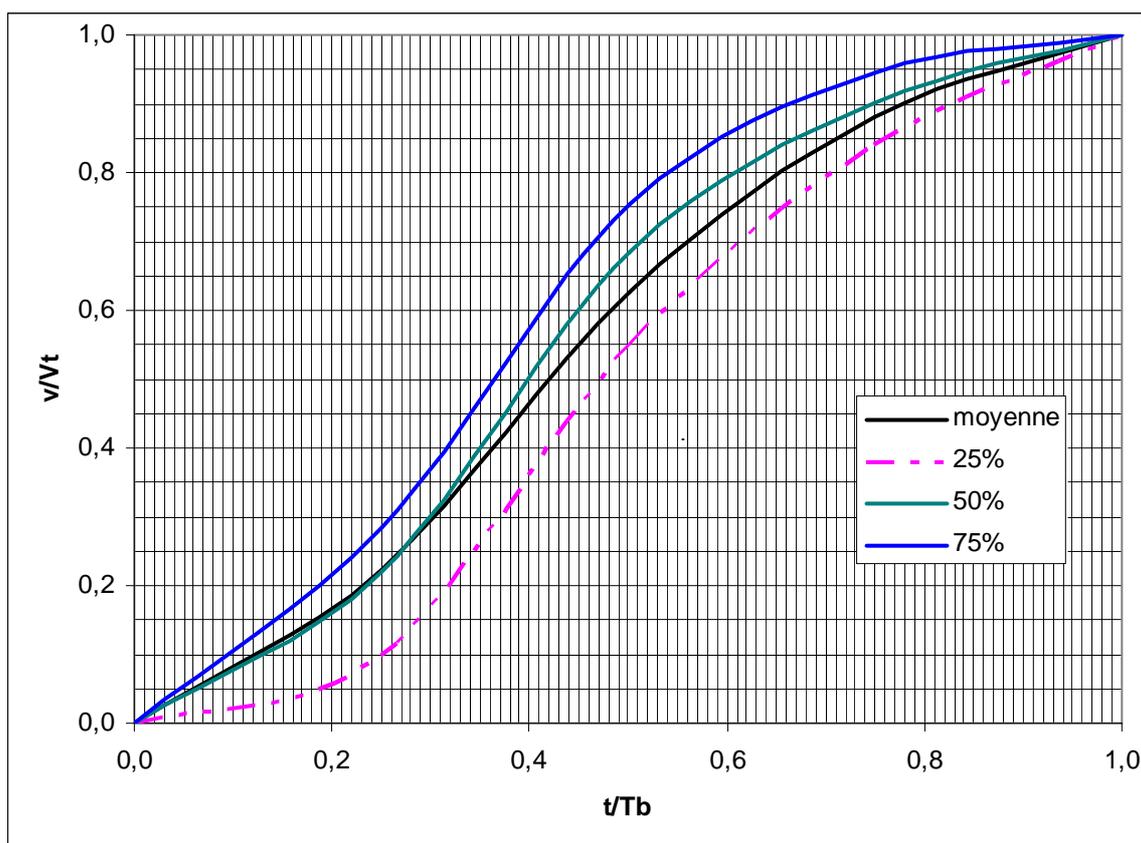


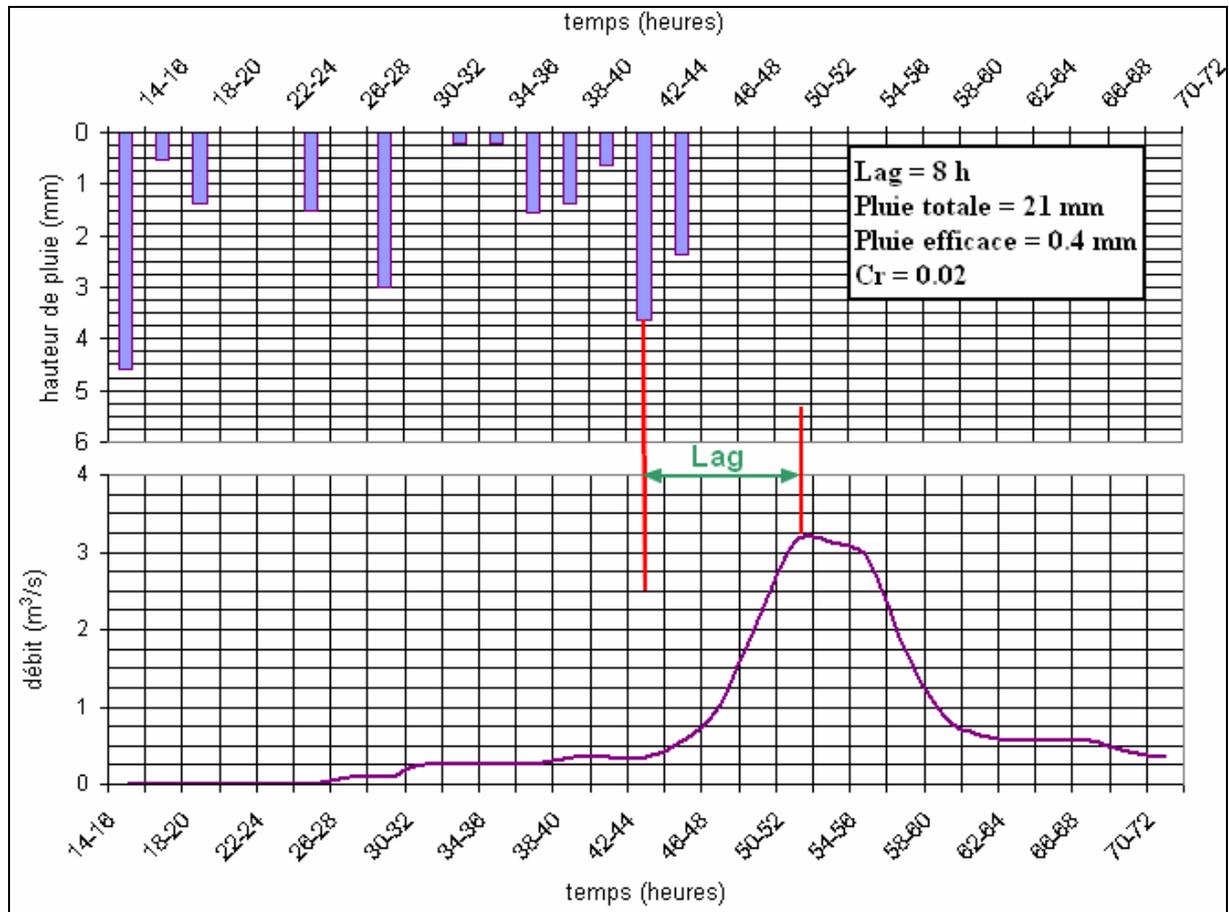
Fig. 15. Evolution du volume en fonction de la durée de la crue de l'oued Saf-Saf à Khémakhem

## 2.2. Relation "Averse - Crue"

L'abondance des crues de fort débit pendant les hautes eaux indique que les précipitations constituent le facteur principal dans la genèse des crues. Caractéristique du régime pluvial méditerranéen, l'étude de la relation "*Pluie-Débit*" à l'échelle de l'averse vise à déterminer le temps de réponse (ou Lag) et le coefficient de ruissellement dans le bassin, paramètres forts utiles dans les projets d'aménagement hydrauliques et de lutte contre les inondations. Selon le paramètre recherché, un nombre d'épisodes pluvieux engendrant des crues, enregistrés aux stations de Zardézas et Bousnib, a été minutieusement étudié.

Le traitement automatique des averses à l'aide du logiciel "*Averse 2.0*" a permis de déterminer les variations de l'intensité des pluies au cours de l'averse et d'une averse à l'autre et de tracer l'hyétogramme correspondant au pas de temps défini par celui de l'hydrogramme qui lui est afférent. La superposition de l'hyétogramme et de l'hydrogramme des crues les plus simples (crues à une seule pointe) permet de calculer le "Lag" du bassin. Fonction des

caractéristiques du bassin (lithologie, couvert végétal, relief, etc...), ce dernier est défini par l'intervalle de temps entre les centres de gravité (maximum) du hyétogramme et de l'hydrogramme (Fig. 16).



**Fig. 16. Relation "averse-crue" de l'épisode pluvieux du 08/01/1988**

Procédant de la sorte, 65 événements "Averse-Crue" ont pu être traités. Les résultats obtenus montrent des fortes variations des valeurs du "Lag" (CV de l'ordre de 100 %) avec une moyenne et une médiane de 13 et 7 heures, respectivement (tableau 25).

Le coefficient de ruissellement (Cr) du bassin, défini par le rapport de la lame d'eau écoulée à celle précipitée, a été également calculé pour 78 épisodes pluvieux. Variable entre 0.03 % et 77 % (CV = 162 %), le ruissellement représente en moyenne 12 % seulement des pluies tombées sur le bassin (tableau 25). Cette valeur est plus ou moins comparable avec celle estimée par le bilan de Thornthwaite.

Les valeurs moyennes du Lag et du Cr sont jugées, respectivement, longue et faible malgré un relief fort : dénivelée spécifique de l'ordre de 350m (Attallah, 1998). De ce fait, la lithologie (roches fissurées mises en évidence par l'existence de plusieurs sources) en est la principale cause. Cependant, le coefficient de ruissellement serait beaucoup plus grand dans le cas des crues complexes (ou prolongées).

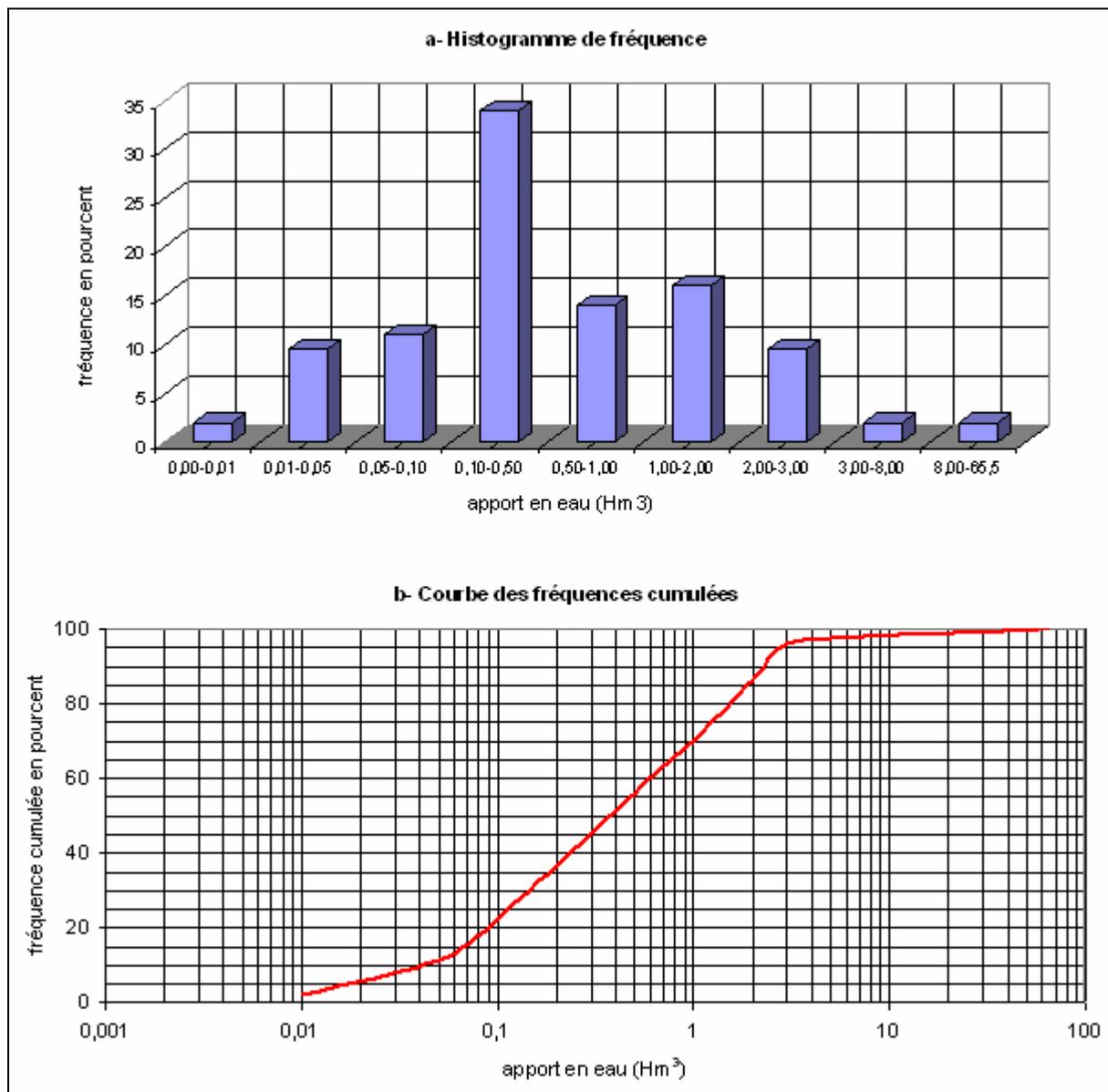
**Tableau 25. Caractéristiques des évènements "Pluie-Débit" de l'oued Saf-Saf à Khémakhem**

Paramètre	Relation Averse-Crue		
	Lag (hr)	Le (mm)	Coefficient de ruissellement (%)
N	65	96	78
minimum	0.5	0.01	0.03
maximum	67	268.6	77
1er quartile	4	0.3	1.2
médiane	7	0.7	4
moyenne	13	5	12
3ème quartile	17	2.5	13
CV (%)	100	548	162

### 2.3. Apports de l'oued en crue - Etablissement des courbes "Débit-Durée-Fréquence"

Pour avoir une idée sur les apports de l'oued Saf-Saf en crues, on a procédé au calcul du volume d'eau apporté par l'oued lors de 96 crues choisies parmi les 106 crues répertoriées.

En effet, l'apport total varie entre 5560 m<sup>3</sup> et un maximum observé lors de la crue catastrophique du 28/12/84 au 03/01/85 de 56.5 Hm<sup>3</sup>. Prés de 34 % des crues analysées se caractérisent par des apports variant entre 0.1 et 0.5 Hm<sup>3</sup> (Fig. 17a). De plus, la distribution empirique de la fréquence des apports en eau indique que dans presque 70 % des cas, l'apport est inférieur ou égal à 1 Hm<sup>3</sup> (Fig. 17b).



**Fig. 17. Fréquence des apports en eau de l'oued Saf-Saf à Khemakhem**

Portant à l'esprit que le résumé statistique (moyenne annuelle, écart type, valeurs extrêmes et quantiles) et l'analyse classique des débits des cours d'eau (courbe des débits classés et débits caractéristiques) ne donnent pas une idée précise sur le régime d'écoulement superficiel. Toutes ces formes de présentation, utilisées pour une caractérisation grossière du régime d'écoulement, présentent l'inconvénient de ne pas préciser si l'écoulement superficiel persiste sur une période assez longue ou bien il apparaît par intermittence au cours de la période d'observations. Ceci requiert le recours à d'autres formes de présentation qui tiennent compte, non seulement, des apports moyens en eau pendant un nombre de jours consécutifs, choisi a priori, mais aussi de leur fréquence (ou probabilité d'apparition).

Le dépouillement des fiches des débits journaliers enregistrés entre les années hydrologiques 1973/74 et 2001/02, disponibles au niveau du service hydrologique de l'ANRH de Constantine, a permis de tirer une série de 29 années d'observation. Pour chaque année, on a ensuite procédé au calcul du débit moyen maximum puis de l'apport correspondant observé sur des durées de 1, 10, 30, 60, 90 et 365 jours consécutifs pour les hautes eaux. On a ainsi obtenu 6 séries annuelles de l'apport moyen de l'oued Saf-Saf. Ces dernières ont fait ensuite l'objet d'une analyse fréquentielle (ajustement des séries observées à une loi de probabilité théorique et tests d'adéquation, etc.).

Les apports de l'oued en hautes eaux relatifs aux périodes de récurrence de 2, 5, 10, 20, 25, 50 et 100 ans ont été extrapolés par la loi des valeurs extrêmes de Gumbel ; l'erreur relative moyenne étant de l'ordre de 20 à 30 %.

Pour rendre beaucoup plus expressifs les résultats consignés en annexe 12, un abaque donnant les potentialités en eau de l'oued Saf-Saf à Khemakhem a été établi pour les hautes eaux (Fig. 18). Cet abaque (Débit-Durée-Fréquence ou QDF) est fort utile pour les projets de stockage des eaux superficielles. Ces courbes réunissent en somme, les apports en eau (Q) durant des périodes bien définies (D) et leurs disponibilités temporelles probables (F). A titre d'exemple, il suffirait de 10 et 90 jours consécutifs, en hautes eaux, pour que la retenue de Zardézas (capacité après surélévation: 31 Hm<sup>3</sup>) soit à sa capacité maximale en moyenne au moins une année sur cinq et une année sur deux, respectivement.

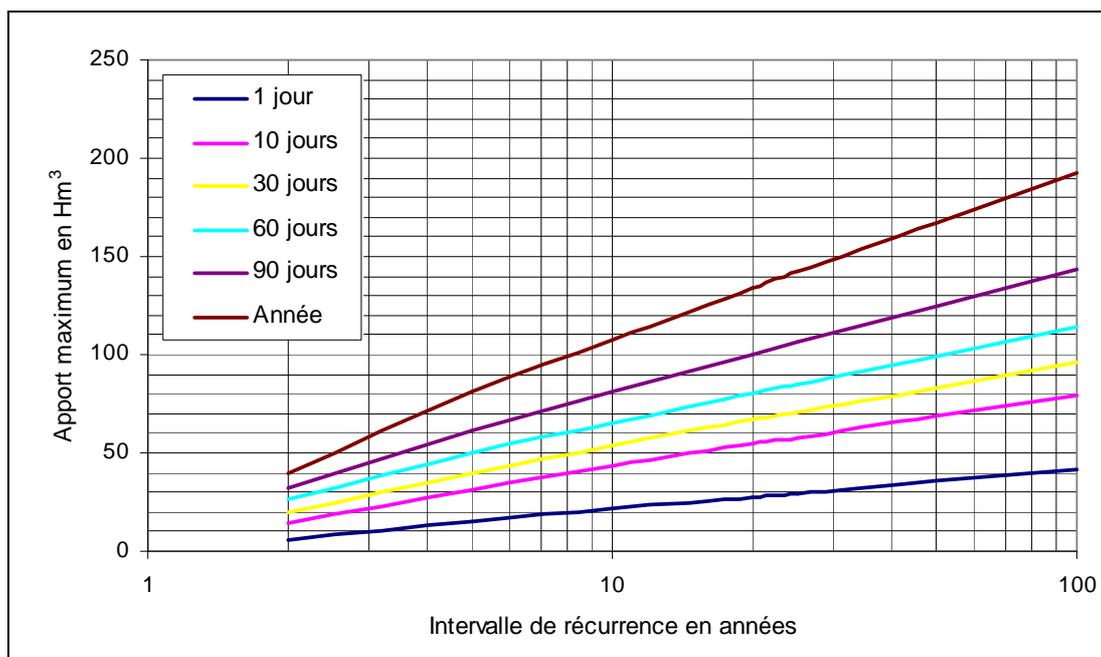


Fig. 18. Courbes QDF de l'oued Saf-Saf à Khemakhem (hautes eaux)

Au terme de ce chapitre on peut conclure que le régime d'écoulement de l'oued Saf-Saf est très irrégulier aussi bien à l'échelle de l'averse qu'à l'échelle mensuelle et annuelle. Cette variabilité est essentiellement liée aux précipitations tombées sur le bassin. L'analyse statistique descriptive met en lumière les fortes disponibilités en eau de surface durant la période des crues (Novembre – Avril) ; le degré de saturation des sols étant à son maximum. Néanmoins, les études de lutte contre les inondations nécessitent une analyse des fréquences des crues extrêmes, objet de chapitre suivant.

## CHAPITRE III

### **ANALYSE FREQUENTIELLE DES CRUES EXTREMES DE L'OUED SAF-SAF A KHEMAKHEM**

#### **1. Introduction**

L'estimation adéquate des événements hydrologiques extrêmes est primordiale en raison des risques importants associés à une mauvaise connaissance de ces variables. L'analyse fréquentielle des données hydrologiques est une approche privilégiée pour obtenir de bonnes estimations des événements extrêmes dans le cas où une information suffisante est disponible au site d'intérêt. Cependant, en raison de la grande étendue du bassin versant, on est souvent amené à estimer des événements extrêmes dans des sites où l'on dispose de peu ou même d'aucune information. L'objectif de ce chapitre est d'estimer les débits maxima (débit de pointe ou maximum absolu et débit journalier maximum) correspondants à un certain temps de retour (T), c'est-à-dire à une certaine probabilité d'apparition donnée (P) de l'oued Saf-Saf à la station de Khemakhem pour être transposés à des échelles temporelles et spatiales différentes définies par les principaux sous bassins en admettant que ces derniers appartiennent à la même région hydrologique. La validité des résultats de l'analyse fréquentielle est fortement conditionnée par la longueur des chroniques exploitées et de la méthode employée pour évaluer les intensités des événements rares (Comby, 2001).

Dans cette approche purement probabiliste, l'évaluation des événements rares se résume généralement à l'ajustement d'une loi de probabilité sur la distribution de fréquences empirique des débits maxima observés. Les crues de fréquences rares se déduisent de l'extrapolation de la loi statistique ajustée. Les quantiles de débits ainsi estimés peuvent être utilisés ensuite pour la définition de crues de référence pour l'élaboration des plans de prévention du risque inondation (ou PPRI).

En hydrologie, plusieurs modèles fréquentiels sont souvent utilisés pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes. C'est du choix du modèle fréquentiel (et plus

particulièrement de son type) que dépendra la validité des résultats de l'analyse fréquentielle. En effet, cette analyse, qui fait appel à diverses techniques statistiques et des programmes de calcul automatique puissants, constitue une filière complexe qu'il convient de traiter avec beaucoup de rigueur. Appliquées au bassin de l'oued Saf-Saf au poste hydrométrique de Khemakhem, les diverses étapes de l'analyse fréquentielle peuvent être schématisées de façon très simple selon le diagramme suivant (Fig. 19):

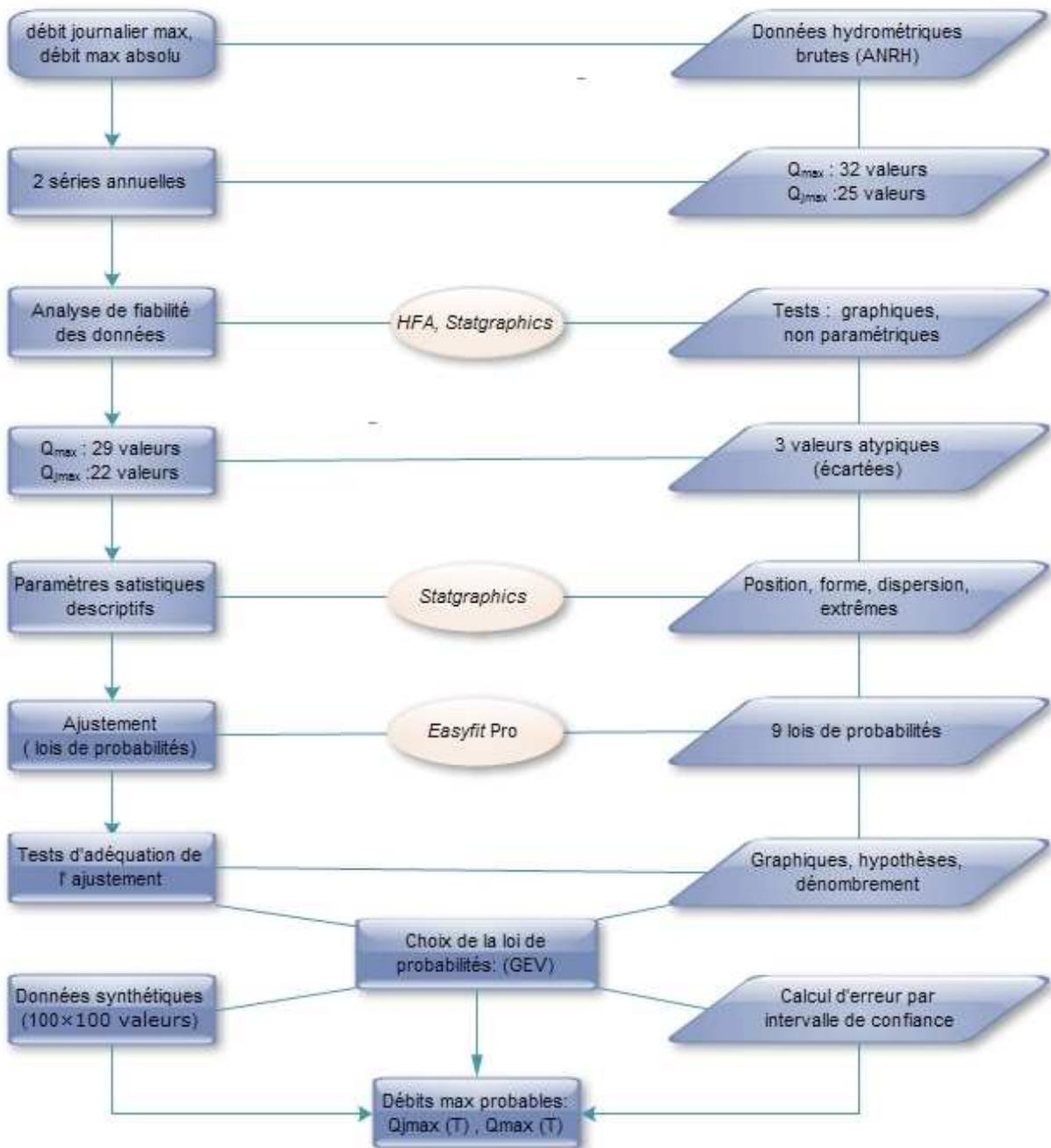


Fig. 19. principales étapes de l'analyse fréquentielle des débits maxima de l'oued Saf Saf à Khemakhem.

## 2. Traitement des données collectées ( $Q_{\max}$ et $Q_{j\max}$ )

### 2.1. Fiabilité des données et caractéristiques de la distribution des fréquences

En analyse fréquentielle, où l'on essaie de transférer l'information observée sur une série assez courte à des séries plus longues, la question de la qualité et de la fiabilité des données est souvent posée. Faut-il utiliser toutes les données disponibles ? Ou faut-il au contraire écarter certaines valeurs que l'on considérerait comme douteuses ou atypiques, pour une raison ou une autre ? Dans ce paragraphe, nous abordons cette question en usant des différentes techniques pour détecter les valeurs potentiellement indésirables: cette méthode d'identification des horsains est fondée sur la détection des valeurs incohérentes avec le reste des données observées. On notera que la présence de valeurs exceptionnellement faibles ou fortes dans un échantillon d'observations peut conduire à une surestimation de l'écart type de la variable, qui constitue souvent l'un des estimateurs d'un paramètre ayant extrêmement important dans la loi de probabilité que l'on va ajuster sur l'échantillon.

Sur le plan mathématique, l'étude de la distribution des fréquences d'une variable aléatoire requiert, en plus de la représentativité des données, la vérification d'un certain nombre d'hypothèses de base, notamment le caractère aléatoire et homogène des valeurs prises par la variable en question. Les données hydrométriques collectées au niveau des services de l'ANRH de Constantine (débit max absolu :  $Q_{\max}$  et débit journalier max :  $Q_{j\max}$ ) ont fait l'objet d'une analyse exploratoire (Tukey, 1977) et d'une série de tests d'hypothèses afin d'en vérifier la fiabilité. En plus des tests graphiques (Box Plots et diagrammes Tiges-Feuilles), les tests non paramétriques d'indépendance de Wald-Wolfowitz (*in* Kanji, 2006), d'homogénéité de Mann-Withney (*in* Dodge, 2006) et de détection des horsains ou "*outliers*" (Grubbs et Beck, 1972; Carletti, 1976 ; Planchon, 2005; Lemeshko, 2005; Verma et Q-Ruiz, 2006; Bohrer, 2008 et Kaya, 2010) intégrés aux logiciels Hydrological Frequency Analysis et Statgraphics Centurion XV, ont été appliqués (Fig. 20 et tableau 26 ).

Les résultats de ces tests ont permis de confirmer les hypothèses d'homogénéité et d'indépendance et ont montré la présence de 3 horsains dans chacune des chroniques étudiées. Ces derniers ont été, par conséquent, écartés pour enfin obtenir deux échantillons qui se prêtent bien à une analyse des fréquences.

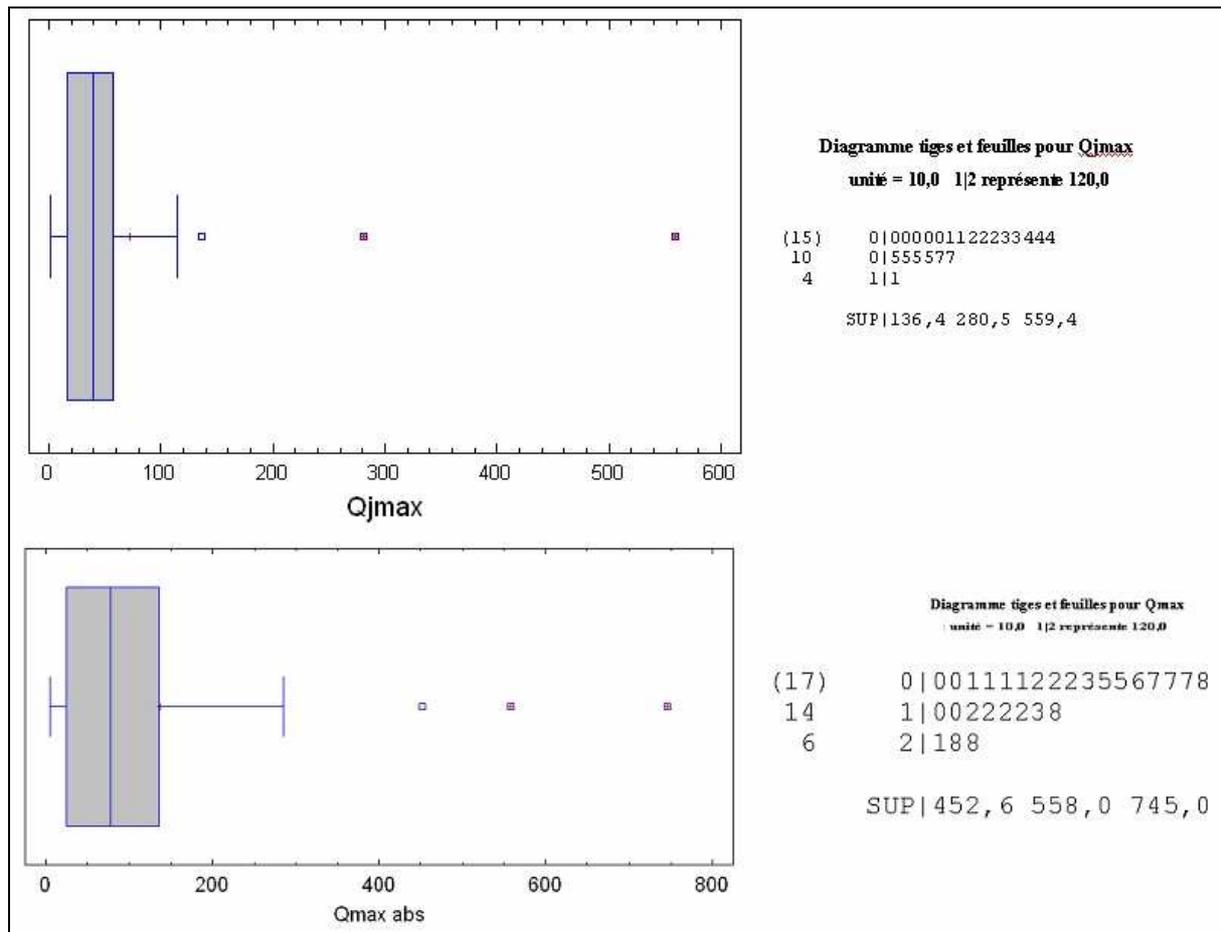


Fig. 20. Boîtes à moustaches et diagrammes Tiges-Feuilles des débits maxima de l'oued Saf-Saf à Khémakhem

Tableau 26. Résultats des tests non paramétriques (séries étudiées)

Variables étudiées	Test d'homogénéité des données de Mann-Withney			Test d'indépendance de Wald-Wolfowitz $Z_{\square} = Z_{0.05} = 1.96$
	N1:N2	$U_{obs}$	$U_{\square=0.05; N1, N}$	
$Q_{jmax}$	12 :13	65	98	1.442
$Q_{max}$ absolu	15 :16	81	160	1.525
Règle de décision	Accepter l'hypothèse d'homogénéité si $U_{obs} \leq U_{\square=0.05; N1, N}$			Rejeter l'hypothèse d'indépendance si $ z  < 1.96$

## 2.2. Analyse statistique descriptive

La fiabilité des données étant globalement confirmée, les séries des débits ont fait l'objet d'un traitement statistique descriptif afin de faire ressortir les principales caractéristiques de la distribution des débits maxima de l'oued Saf-Saf à Khémakhem. Les résultats du calcul de la moyenne ( $\bar{x}$ ), l'écart type (s), les extrêmes (min et max) et le coefficient d'asymétrie ( $G_1$ ) sont présentés dans le tableau 27.

Tableau 27. Statistiques des crues maximales (valeurs observées)

Paramètre	N	$\bar{x}$	s	min	max	$G_1$
$Q_{jmax}$ (en $m^3/s$ )	22	37.32	28.21	2.012	114.8	0.98
$Q_{max}$ (en $m^3/s$ )	28	89	77.93	5.48	284.6	1.23

Les valeurs des coefficients d'asymétrie ( $G_1 > 0$ ), la forme des histogrammes des fréquences (étalée vers la droite) et les graphiques de symétrie (Fig. 21 et Fig. 22) indiquent que la distribution des fréquences des débits maxima est loin d'être normale.

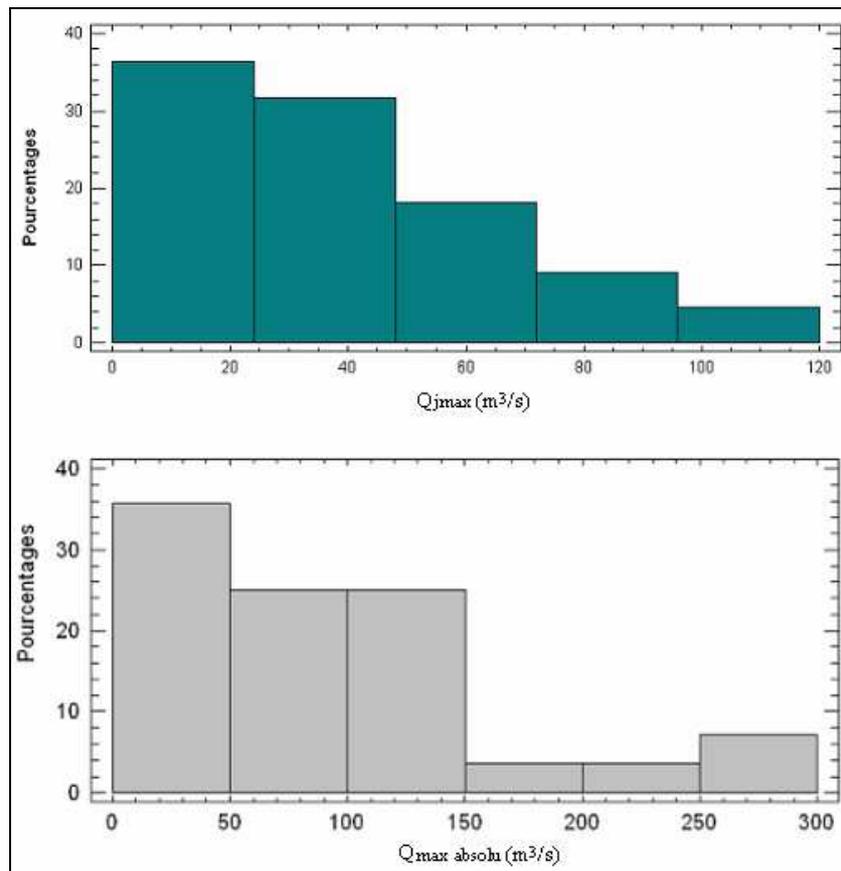


Fig. 21. Histogrammes des fréquences des débits maxima de l'oued Saf-Saf à Khémakhem

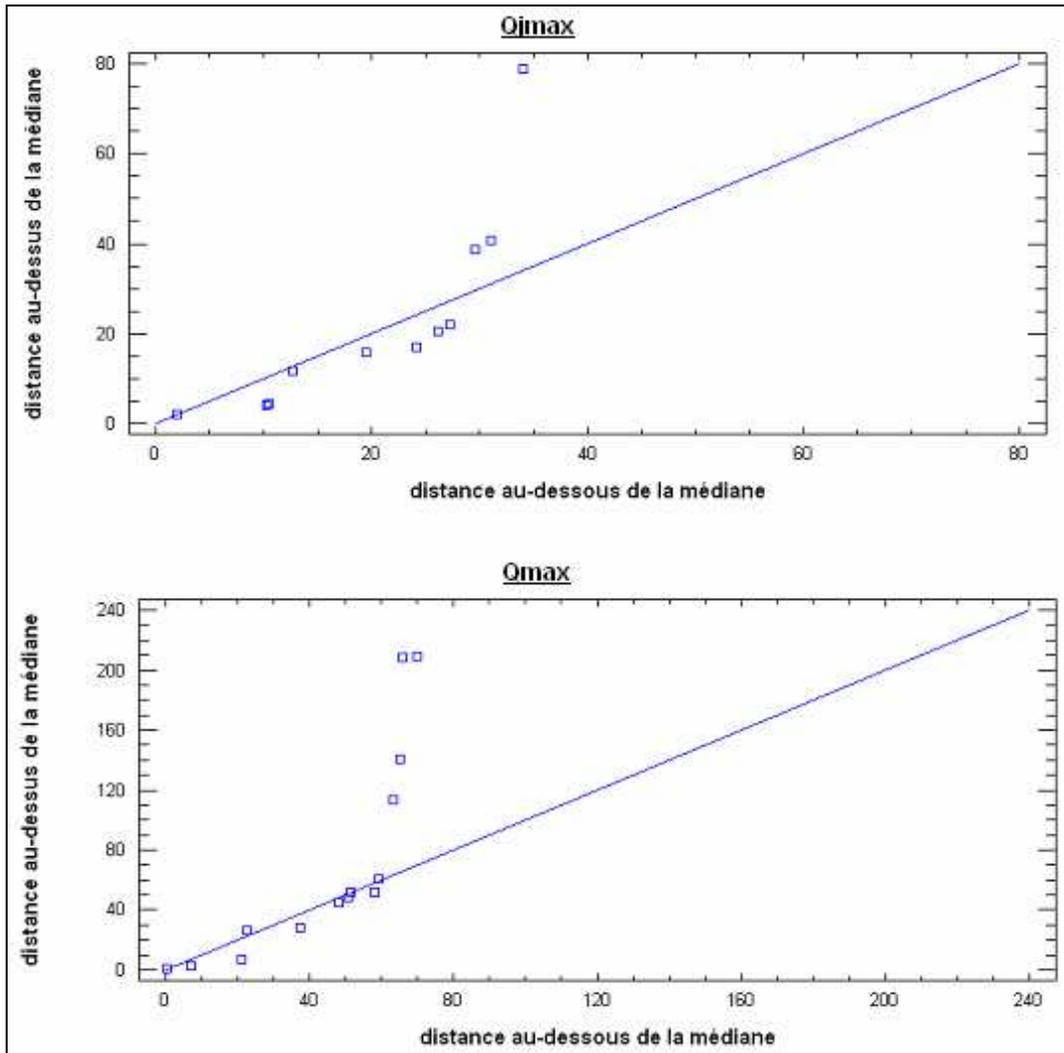


Fig. 22. Graphiques de symétrie des débits maxima de l'oued Saf-Saf à Khémakhem

#### a. Evaluation des crues rares dans le bassin du Saf Saf à Khémakhem

La forme des histogrammes et les valeurs positives du coefficient d'asymétrie, résultats du traitement statistique descriptif, montrent que la distribution empirique des débits maxima annuelles se répartissent suivant des distributions asymétriques limitées vers la gauche ( $Q \geq 0$ ) et étalées vers la droite. La prédétermination des débits peut donc être estimée par des lois de distribution des probabilités théoriques qui présentent les mêmes caractéristiques. Ainsi, les lois théoriques les plus utilisées en hydrologie, notamment les distributions Gamma, Gumbel max (EV1), valeurs extrêmes généralisées (GEV), Log Pearson III (LP3), Frechet et log normale (LN) ont été ajustées aux chroniques étudiées. Les paramètres décrivant chaque lois ont été déterminés à partir des données observées par la méthode des moments (tableau 28) et les quantiles correspondants à des périodes de récurrences allant de 2 à 1000 ans ont été calculés (tableaux 29 et 30).

Tableau 28. Paramètres <sup>12</sup> des lois de distributions des probabilités utilisées

N°	Distribution	$Q_{jmax}$	$Q_{max}$
1	Frechet	$\alpha = 0,98861 \quad \beta = 14,035$	$\alpha = 0,99272 \quad \beta = 30,928$
2	Frechet (3p)	$\alpha = 10,23 \quad \beta = 205,87 \quad \gamma = -182,21$	$\alpha = 2,4614 \quad \beta = 104,99 \quad \gamma = -60,153$
3	Gamma	$\alpha = 1,7501 \quad \beta = 21,324$	$\alpha = 1,2983 \quad \beta = 68,396$
4	Gamma (3p)	$\alpha = 0,75922 \quad \beta = 42,476 \quad \gamma = 2,012$	$\alpha = 0,87307 \quad \beta = 101,26 \quad \gamma = 5,48$
5	General Extreme Value	$k = 0,01846 \quad \sigma = 22,406 \quad \mu = 23,97$	$k = 0,15729 \quad \sigma = 51,511 \quad \mu = 49,663$
6	Gumbel Max	$\sigma = 21,995 \quad \mu = 24,623$	$\sigma = 60,764 \quad \mu = 53,726$
7	Log Pearson III	$\alpha = 5,0691 \quad \beta = -0,45345 \quad \gamma = 5,5428$	$\alpha = 16,974 \quad \beta = -0,26305 \quad \gamma = 8,4937$
8	Log normal	$\sigma = 0,99747 \quad \mu = 3,2442$	$\sigma = 1,0642 \quad \mu = 4,0288$
9	Log normal (3p)	$\sigma = 0,60349 \quad \mu = 3,7082 \quad \gamma = -11,043$	$\sigma = 1,009 \quad \mu = 4,0814 \quad \gamma = -1,7322$

Tableau 29. Résultats de l'analyse fréquentielle des débits maxima journaliers de l'oued Saf-Saf à Khémakhem (m<sup>3</sup>/s)

P	T (ans)	Gamma 3p	Gamma	Gumbel max	GEV	LP 3	Frechet 3p	Frechet	LN 3p	LN
0,999	1000	267	185	176	189	181	222	15190	252	559
0,998	500	239	169	161	171	170	200	7530	220	452
0,995	200	201	148	141	149	154	163	2976	182	335
0,99	100	173	131	126	131	141	140	1472	155	261
0,98	50	145	115	110	115	125	119	726	130	200
0,96	25	117	98	95	98	108	99	357	106	147
0,95	20	109	92	90	92	102	93	283	99	132
0,9	10	81	75	74	75	83	74	137	77	92
0,8	5	55	57	58	58	61	56	64	57	59
0,5	2	22	31	33	32	30	31	20	30	25

<sup>12</sup>  $\alpha$  et  $\mu$  : paramètres de position,  $\beta$  et  $\sigma$  : paramètres d'échelle,  $\gamma$  et  $k$  : paramètres de forme.

**Tableau 30. Résultats de l'analyse fréquentielle des débits maxima absolus de l'oued Saf-Saf  
à Khémakhem (m<sup>3</sup>/s)**

P	T (ans)	Gamma 3P	Gamma	Gumbel max	GEV	LP3	Frechet 3P	Frechet	LN 3P	LN
<b>0,999</b>	<b>1000</b>	670	524	473	693	772	1677	32518	1337	1506
<b>0,998</b>	<b>500</b>	601	474	431	592	679	1250	16168	1079	1202
<b>0,995</b>	<b>200</b>	510	409	375	475	560	843	6414	795	871
<b>0,99</b>	<b>100</b>	442	360	333	397	473	620	3183	618	668
<b>0,98</b>	<b>50</b>	373	310	291	327	389	452	1575	469	500
<b>0,9667</b>	<b>30</b>	323	273	259	280	330	355	936	375	396
<b>0,96</b>	<b>25</b>	305	260	248	264	309	325	776	345	362
<b>0,95</b>	<b>20</b>	283	243	234	245	244	291	616	310	324
<b>0,9</b>	<b>10</b>	216	192	190	184	210	202	298	214	220
<b>0,8</b>	<b>5</b>	149	139	145	137	142	133	140	137	138
<b>0,5</b>	<b>2</b>	63	67	76	69	61	62	45	57	56

### **b. Tests d'adéquations des ajustements**

Les différentes lois ont été testées pour vérifier la fiabilité de l'ajustement aux distributions observées. Plusieurs tests ont été appliqués notamment, les tests graphiques : quantile-quantile plot : Q-Q plot, probabilité-probabilité plot : P-P plot, différence de probabilité plot (Fig. 23 et Fig. 24), les tests d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov, d' Anderson Darling et du  $\chi^2$  de Karl Pearson (tableaux 31 et 32) et la méthode de dénombrement (tableaux 33 et 34).

### **2.3. Choix du modèle probabiliste pour l'estimation des événements rares**

Etayée par les résultats des différents tests d'adéquation (tests d'hypothèse et méthode de dénombrement), la loi de distribution des probabilités des valeurs extrêmes généralisée (GEV) semble être la mieux classée pour l'ajustement des données observées. Par conséquent, les résultats de l'analyse fréquentielle retenus sont les suivants (tableau 35).

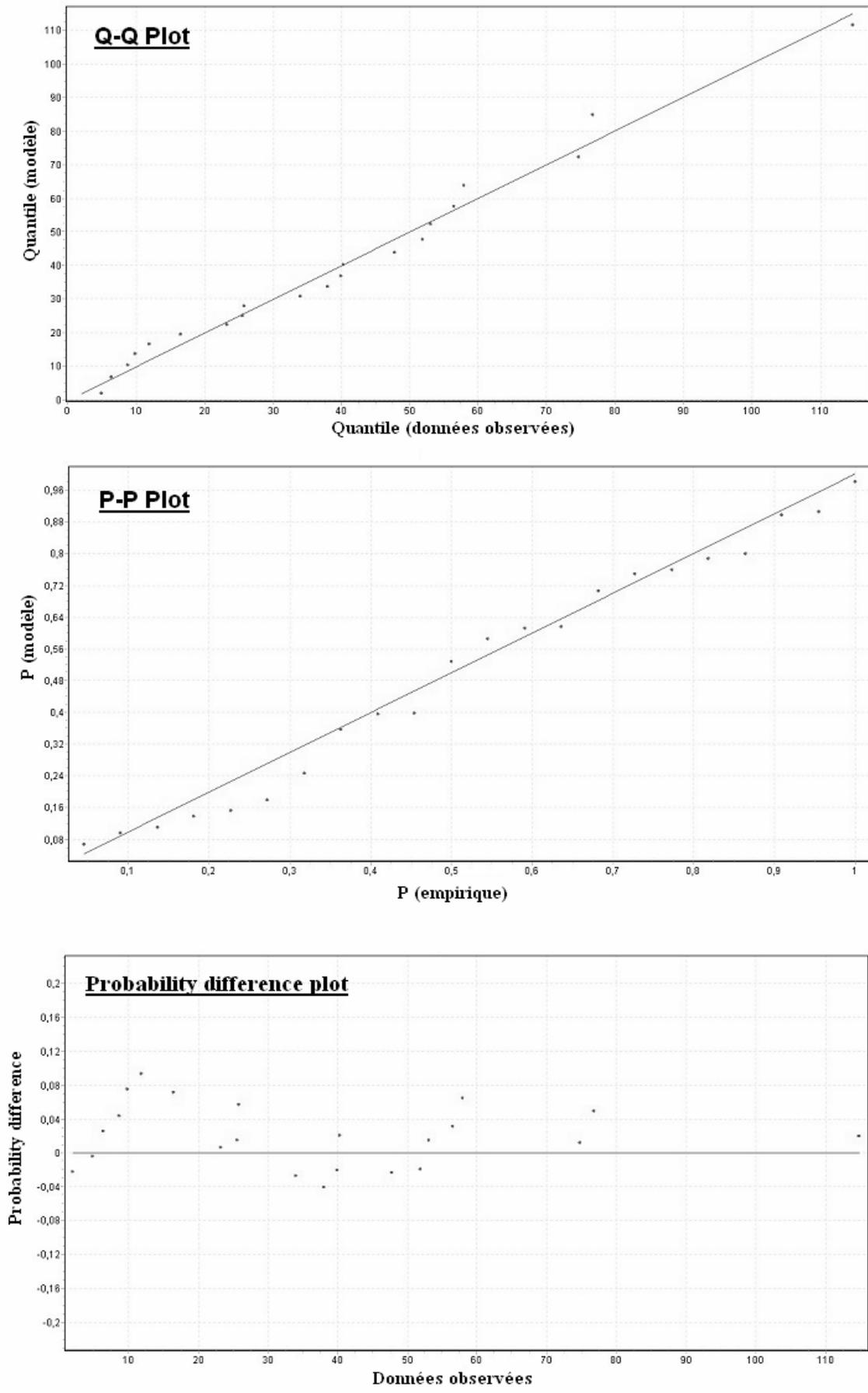


Fig. 23. Tests graphiques de l'ajustement des débits maxima journaliers à une GEV

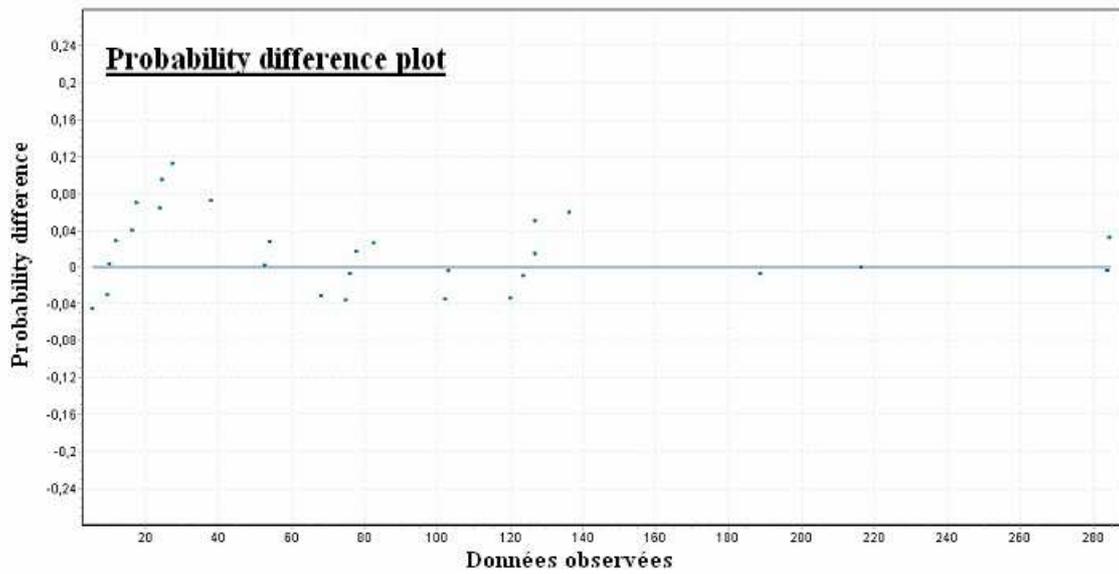
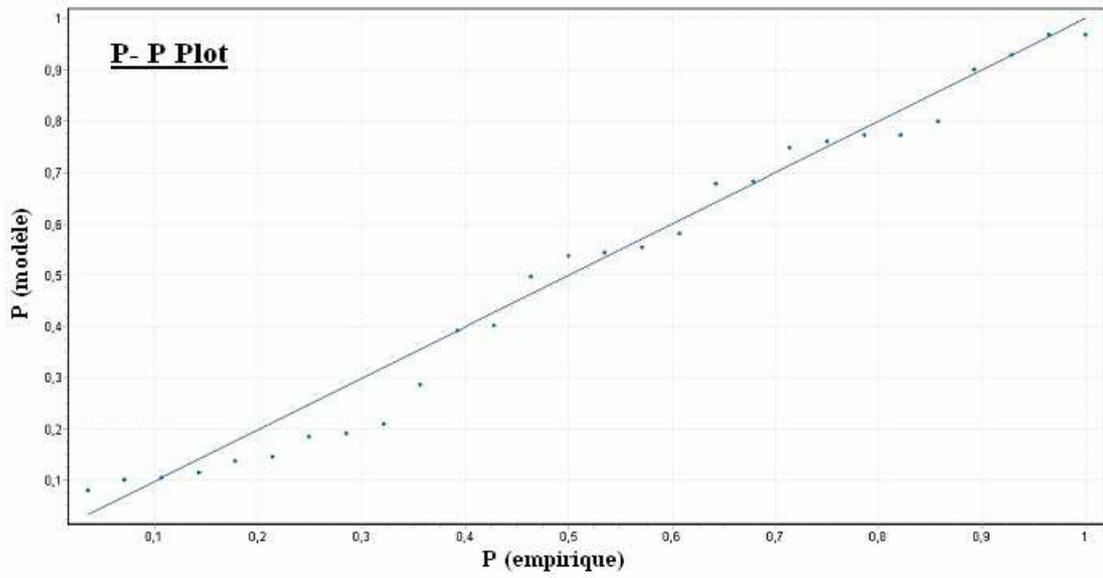
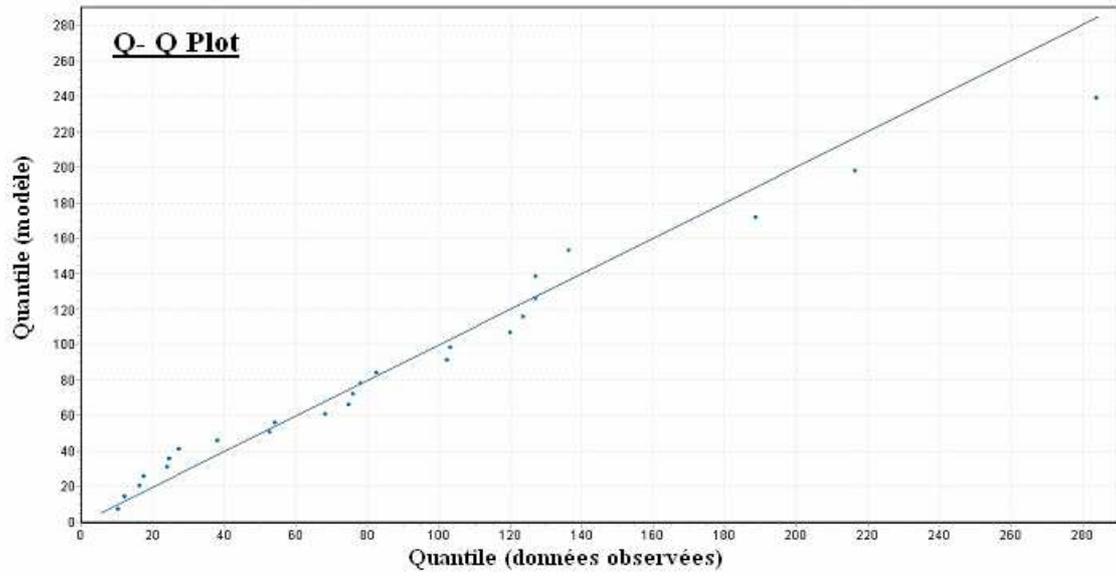


Fig. 24. Tests graphiques de l'ajustement des débits maxima absolus à une GEV

**Tableau 31. Résultats des tests d'adéquation de l'ajustement des débits maxima journaliers de l'oued Saf-Saf à Khémakhem**

Numéro	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistique	Rang	Statistique	Rang	Statistique	Rang
1	Frechet	0,22758	12	1,3429	10	0,77808	2
2	Frechet (3p)	0,11127	4	0,32084	5	2,3294	8
3	Gamma	0,11376	5	0,40142	7	2,704	11
4	Gamma (3p)	0,20522	11	1,9746	11	1,399	4
5	Gen. Extreme Value	0,09309	1	0,24149	1	0,94928	3
6	Gumbel Max	0,10437	3	0,25766	3	0,6532	1
7	Log-Pearson III	0,10295	2	0,24216	2	2,1872	7
8	Lognormal	0,15694	9	0,60742	8	1,9671	6
9	Lognormal (3p)	0,12097	6	0,34661	6	2,4502	9

**Tableau 32. Résultats des tests d'adéquation de l'ajustement des débits maxima absolus de l'oued Saf-Saf à Khémakhem**

Numéro	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistique	Rang	Statistique	Rang	Statistique	Rang
1	Frechet	0,2058	9	1,2014	8	2,4132	5
2	Frechet (3p)	0,12015	6	0,52351	5	4,7628	8
3	Gamma	0,1107	3	0,35485	2	2,2354	4
4	Gamma (3p)	0,09836	1	4,0262	9	N/A	
5	Gen. Extreme Value	0,11156	4	0,38404	3	1,1453	1
6	Gumbel Max	0,10946	2	0,47366	4	1,347	2
7	Log-Pearson III	0,11208	5	0,35147	1	4,4881	7
8	Lognormal	0,14442	8	0,56486	7	3,1069	6
9	Lognormal (3p)	0,13765	7	0,53362	6	1,9217	3

**Tableau 33. Résultats des tests de l'ajustement des débits maxima journaliers de l'oued Saf-Saf**

**à Khémakhem par la méthode de dénombrement**

<b>P</b>	<b>T<sup>13</sup></b>	<b>Gamma 3p</b>	<b>Gamma</b>	<b>Gumbel max</b>	<b>GEV</b>	<b>LP3</b>	<b>Frechet 3p</b>	<b>Frechet</b>	<b>LN 3p</b>	<b>LN</b>
<b>0,96</b>	<b>25</b>	0	1	1	1	0	1	0	1	0
<b>0,95</b>	<b>20</b>	1	1	1	1	1	1	0	1	0
<b>0,9</b>	<b>10</b>	1	2	3	2	1	3	0	1	1
<b>0,8</b>	<b>5</b>	5	4	3	3	3	5	3	4	3
<b>0,5</b>	<b>2</b>	15	12	12	12	12	12	15	12	14

**Tableau 34. Résultats des tests de l'ajustement des débits maxima absolus de l'oued Saf-Saf à Khémakhem par la méthode de dénombrement**

<b>P</b>	<b>T</b>	<b>Gamma 3p</b>	<b>Gamma</b>	<b>Gumbel max</b>	<b>GEV</b>	<b>LP3</b>	<b>Frechet 3p</b>	<b>Frechet</b>	<b>LN 3p</b>	<b>LN</b>
<b>0,9667</b>	<b>30</b>	0	2	2	2	0	0	0	0	0
<b>0,96</b>	<b>25</b>	0	2	2	2	0	0	0	0	0
<b>0,95</b>	<b>20</b>	2	2	2	2	2	0	0	0	0
<b>0,9</b>	<b>10</b>	3	3	3	3	2	2	0	0	0
<b>0,8</b>	<b>5</b>	4	4	4	4	4	5	4	4	4
<b>0,5</b>	<b>2</b>	16	16	14	15	16	16	18	16	16

**Tableau 35. Débits maxima probables de l'oued Saf-Saf à Khémakhem (m<sup>3</sup>/s)**

<b>P</b>	<b>0,999</b>	<b>0,998</b>	<b>0,995</b>	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	<b>0,96</b>	<b>0,95</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>
<b>T (années)</b>	<b>1000</b>	<b>500</b>	<b>200</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>2</b>
<b>Q<sub>jmax</sub></b>	189	171	149	131	115	98	92	75	58	32
<b>Q<sub>max</sub></b>	693	592	475	397	327	264	245	184	137	69

<sup>13</sup> A titre d'exemple, dans une série annuelle de 25 observations, le nombre observé de valeurs supérieures ou égales à Q<sub>10</sub> correspondant à une durée de retour de 10 ans est théoriquement supérieur ou égal à 2.

### 2.3.1. Données synthétiques, intervalles de confiance et incertitudes

La loi des valeurs extrêmes généralisées, comme toutes les autres (lois de Galton, Gumbel, Fréchet et Log-Pearson III), est loin d'être un modèle parfait. Pour mieux apprécier les estimations des débits maxima probables on a procédé au calcul d'erreur par intervalles de confiance. Pour se faire, on a généré stochastiquement des chroniques synthétiques en utilisant un générateur de données GEV intégré au logiciel Easyfit Pro. 5.20, la loi GEV s'avérant la mieux adaptée pour l'ajustement des débits maxima de l'oued Saf-Saf. Pour chaque variable, une matrice de 100 par 100 observations des débits maxima a été générée. En admettant que chaque colonne de la matrice puisse représenter une série annuelle des débits maxima, on a procédé à l'analyse des fréquences. Les débits de récurrence allant de 2 à 1000 ans ont été calculés par la loi des valeurs extrêmes généralisées pour les 100 variables. Pour plus de précision, on a procédé au calcul des intervalles de confiance à 80, 90 et 95 % pour chaque quantile. Les résultats obtenus sont illustrés par les tableaux 36 et 37 et les graphiques ci-dessous (Fig. 25 et Fig. 26).

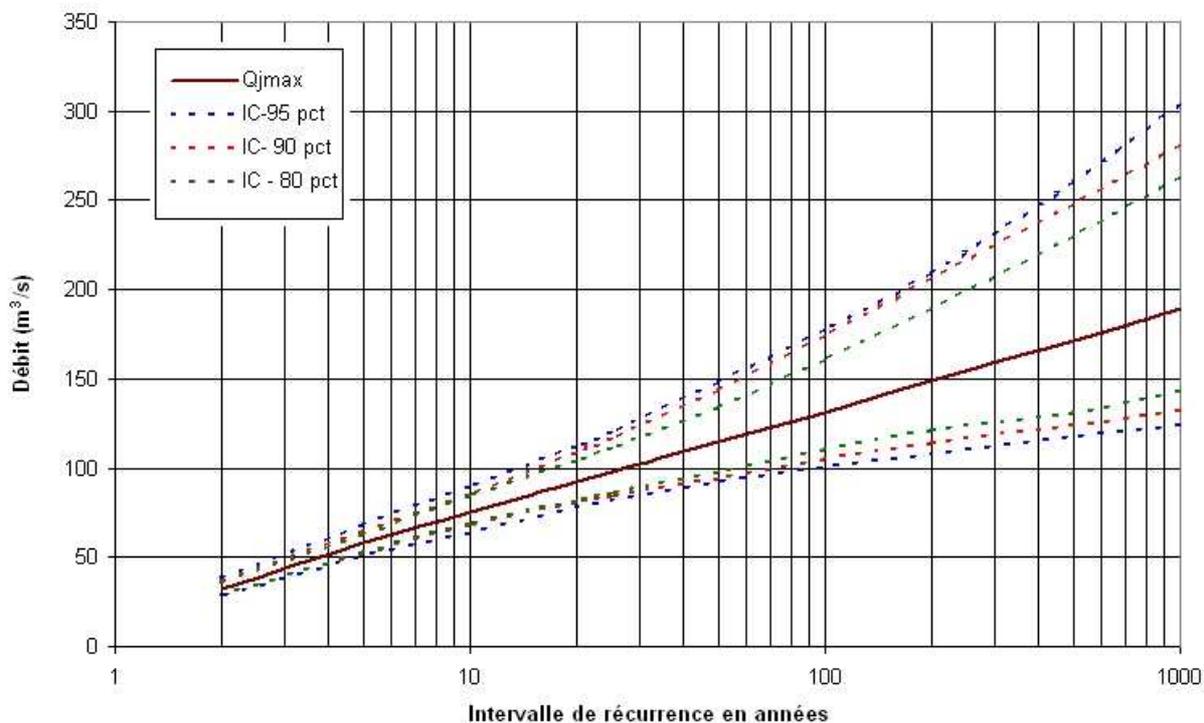
**Tableau 36. Limites de confiance<sup>14</sup> des débits maxima journaliers probables de l'oued Saf-Saf à Khémakhem**

P	T (années)	Q <sub>jmax</sub> (m <sup>3</sup> /s)	IC à 95 %		IC à 90 %		IC à 80 %	
			L <sub>inf</sub>	L <sub>sup</sub>	L <sub>inf</sub>	L <sub>sup</sub>	L <sub>inf</sub>	L <sub>sup</sub>
<b>0,999</b>	<b>1000</b>	<b>189</b>	124	304,5	132	281	144	263
<b>0,998</b>	<b>500</b>	<b>171</b>	118	260,5	124	248	131	230
<b>0,995</b>	<b>200</b>	<b>149</b>	108	209,5	114	206	121	189
<b>0,99</b>	<b>100</b>	<b>131</b>	100,5	177,5	105	174	110	161
<b>0,98</b>	<b>50</b>	<b>115</b>	92	148,5	94	144	98	134
<b>0,96</b>	<b>25</b>	<b>98</b>	82	120,5	84	117	86	111
<b>0,95</b>	<b>20</b>	<b>92</b>	78	112	81	109	82	104
<b>0,9</b>	<b>10</b>	<b>75</b>	64	90	68	85	69	84
<b>0,8</b>	<b>5</b>	<b>58</b>	51	68,5	52	65	53	63
<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>32</b>	28	39	29	37	29	36

<sup>14</sup> L<sub>inf</sub> et L<sub>sup</sub> désignent respectivement les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance.

**Tableau 37. Limites de confiance des débits maxima absolus probables de l'oued Saf-Saf  
à Khémakhem**

P	T (années)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)	IC à 95 %		IC à 90 %		IC à 80 %	
			L <sub>inf</sub>	L <sub>sup</sub>	L <sub>inf</sub>	L <sub>sup</sub>	L <sub>inf</sub>	L <sub>sup</sub>
<b>0,999</b>	<b>1000</b>	<b>693</b>	357	1427	394	1163	431	960
<b>0,998</b>	<b>500</b>	<b>592</b>	331,5	1117,5	358	920	394	801
<b>0,995</b>	<b>200</b>	<b>475</b>	297,5	802,5	322	676	346	606
<b>0,99</b>	<b>100</b>	<b>397</b>	270	617,5	285	537	308	494
<b>0,98</b>	<b>50</b>	<b>327</b>	237,5	466	245	422	265	393
<b>0,96</b>	<b>25</b>	<b>264</b>	203	358	205	341	224	310
<b>0,95</b>	<b>20</b>	<b>245</b>	191	313	194	301	208	282
<b>0,9</b>	<b>10</b>	<b>184</b>	152,5	229,5	157	223	167	213
<b>0,8</b>	<b>5</b>	<b>137</b>	113	165,5	117	163	122	155
<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>69</b>	56	85,5	57	84	61	81



**Fig. 25. Intervalles de confiance des débits maxima journaliers probables de l'oued Saf-Saf  
à Khémakhem**

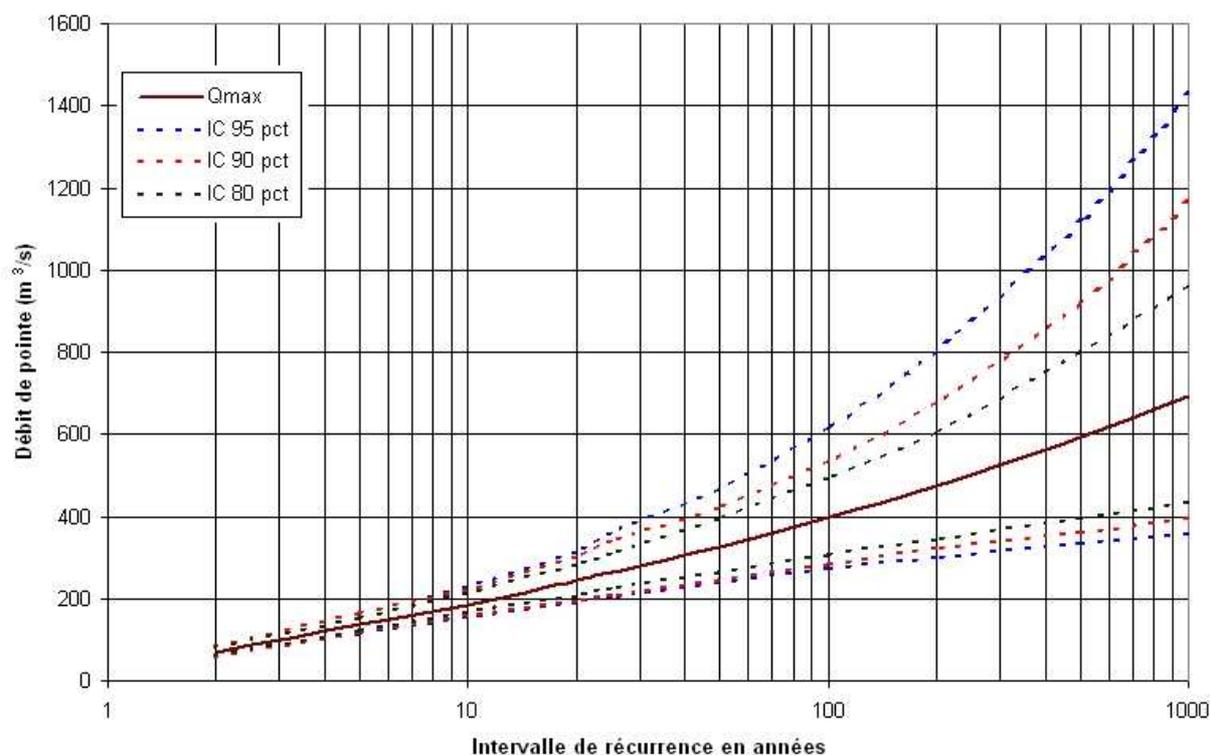


Fig. 26. Intervalles de confiance des débits maxima absolus probables de l’oued Saf-Saf à Khémakhem

Les intervalles de confiance ainsi calculés, permettent d’estimer la précision relative des quantiles (Q). Définie par la relation :

$$Er (\%) = 100 \times \frac{(L_{sup} - L_{inf}) / 2}{Q}$$

l’erreur relative moyenne a été déterminée. Les résultats obtenus sont portés aux tableaux 38 et 39.

Tableau 38. Erreurs relatives sur les débits maxima journaliers probables de l’oued Saf-Saf à Khémakhem

P	T (années)	Q <sub>jmax</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Erreur relative en %		
			IC à 95 %	IC à 90 %	IC à 80 %
0,999	1000	189	48	24	21
0,998	500	171	42	24	20
0,995	200	149	34	22	17
0,99	100	131	29	19	15
0,98	50	115	25	17	13
0,96	25	98	20	14	11
0,95	20	92	18	13	10
0,9	10	75	17	9	9
0,8	5	58	15	9	8
0,5	2	32	17	10	9

**Tableau 39. Erreurs relatives sur les débits maxima absolus probables de l'oued Saf-Saf à Khémakhem**

P	T (années)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Erreur relative en %		
			IC à 95 %	IC à 90 %	IC à 80 %
0,999	1000	693	77	55	38
0,998	500	592	66	47	34
0,995	200	475	53	37	27
0,99	100	397	44	32	23
0,98	50	327	35	27	20
0,96	25	264	29	26	16
0,95	20	245	25	22	15
0,9	10	184	21	18	13
0,8	5	137	19	17	12
0,5	2	69	21	20	14

On admet généralement que l'estimation des quantiles associés à des périodes de retour inférieures à la durée d'observation est correcte, et que de grandes incertitudes apparaissent pour les quantiles de fréquences plus rares (période de retour supérieur à 2 ou 3 fois la durée d'observation). Cependant sur les exemples précédents, on voit que les débits maxima journaliers sont plus ou moins précis dans 80 % des cas ; l'erreur relative étant inférieur à 20 %. Par contre, les débits maxima absolus inférieurs ou égaux à la crue centennale sont connus à 23 % près. A titre d'exemple, on a 80 % de chances pour que la crue centennale maximale soit comprise entre 306 et 488 m<sup>3</sup>/s.

### 3. Essai de corrélations

Dans le but d'extrapoler les résultats obtenus dans le bassin de l'oued Saf-Saf à Khémakhem vers les autres sous bassins du grand Saf-Saf, on a tenté plusieurs analyses par régression simple entre les débits maxima, les pluies journalières et la période de récurrence. La représentation graphique des différentes variables dans un repère cartésien (Fig.27 et Fig. 28) montre qu'il existe une corrélation significative entre ces dernières.

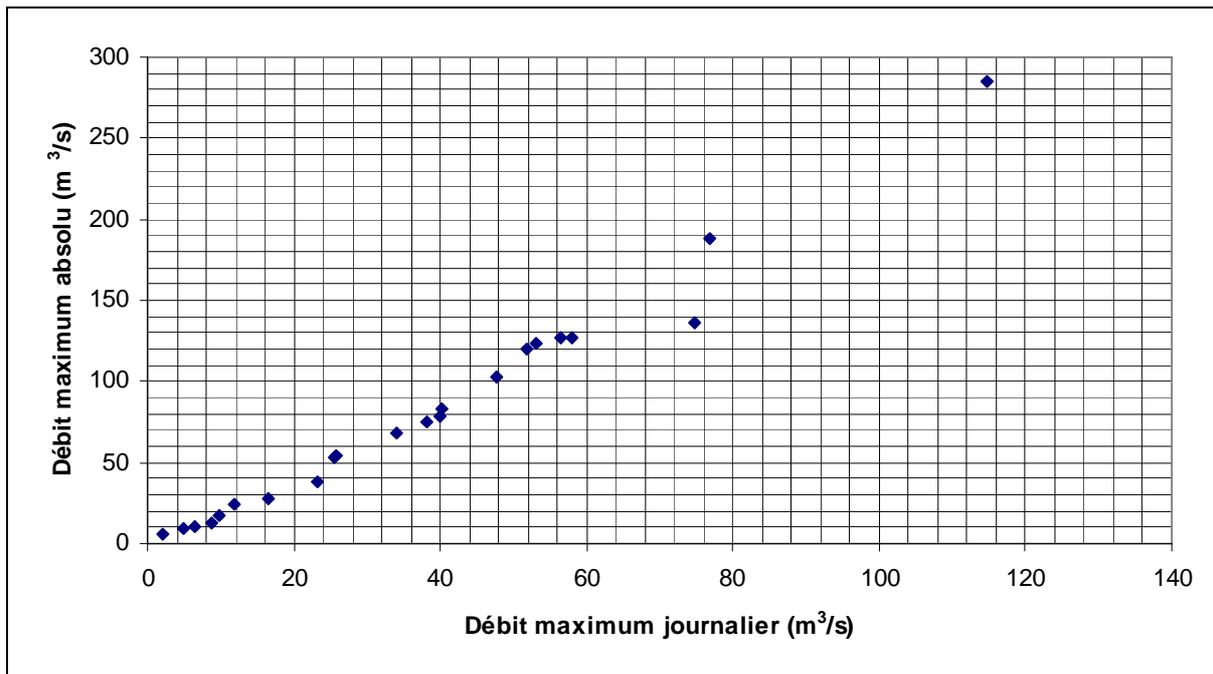


Fig. 27. Représentation graphique des débits maxima absolus en fonction des débits maxima journaliers.

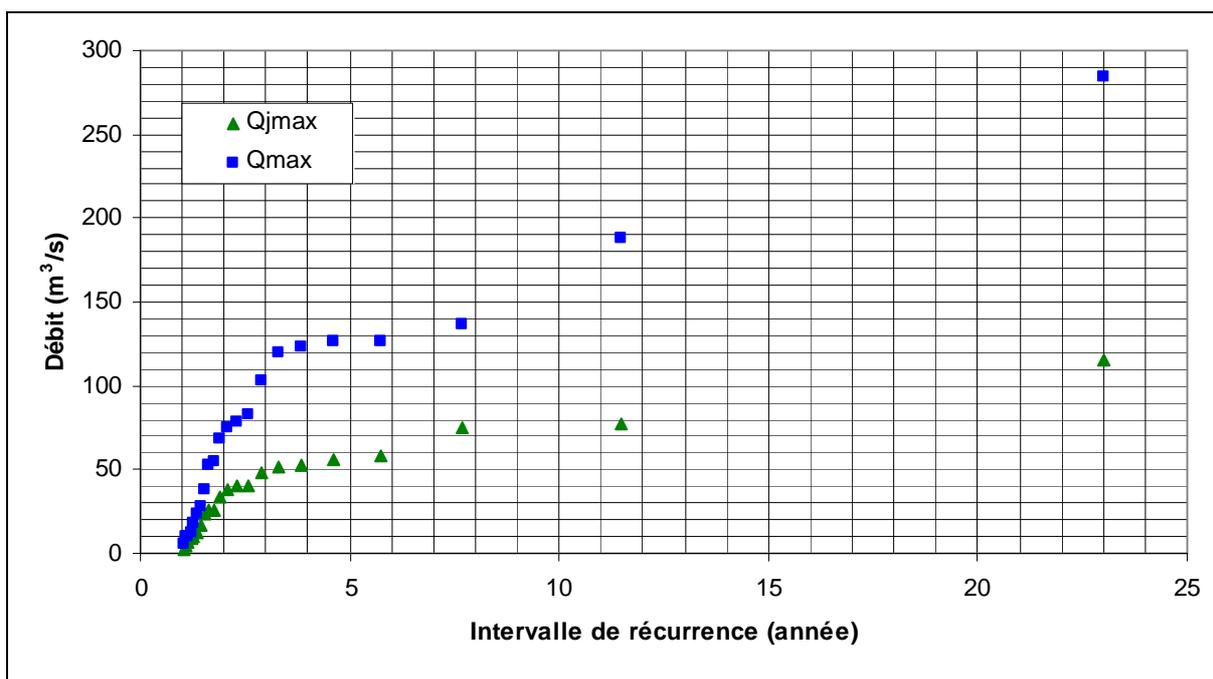


Fig. 28. Représentation graphique des débits en fonction de la période de retour

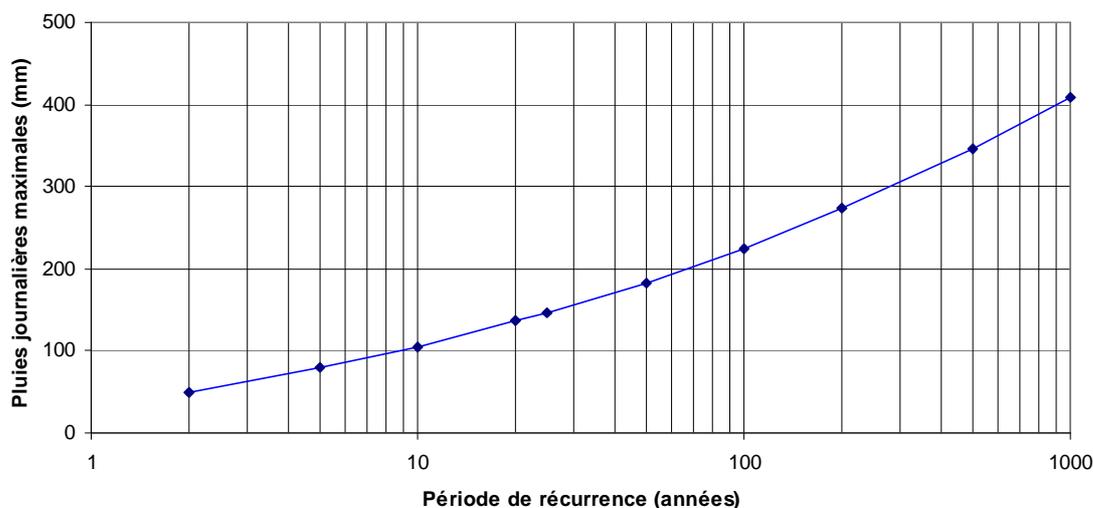
Plusieurs types de modèles théoriques intégrés au logiciel Statgraphics Centurion XV ont été adoptés. Le tableau 40 récapitule les résultats obtenus de l'analyse corrélatoire des crues observées.

**Tableau 40. Résultats de l'analyse corrélatoire des données observées de l'oued Saf-Saf à Khémakhem**

Variables Y = f(X)	Type de modèle	Equation	Constantes			ANOVA		
			a	b	R <sup>2</sup> (%)	ddl	F	P value
Q <sub>max</sub> = f(Q <sub>jmax</sub> )	réciproque double	$Y = 1/(a + b/X)$	0,0077	0,3859	87,15	1	135,61	0,00
	multiplicatif	$Y = a \times X^b$	0,8514	0,9540	81,39	1	87,44	0,00
	Log Y, racine carrée X	$Y = \exp(a + b \times X^{0.5})$	1,749	0,3896	75,11	1	60,36	0,00
Q <sub>jmax</sub> = f(T)	Y carré, racine carrée X	$Y = \sqrt{a + bX^{0.5}}$	-3522,36	3242,49	97,27	1	713,4	0,00
	Log X	$Y = a + b \times \ln(X)$	5,819	33,7694	96,78	1	601,68	0,00
	Y carré	$Y = (a + b \times X)^{0.5}$	-139,56	593,816	96,61	1	570,72	0,00
Q <sub>max</sub> = f(T)	Y carré	$Y = (a + b \times X)^{0.5}$	-2895,45	3579,340	98,08	1	1022,4	0,00
	Log X	$Y = a + b \times \ln(X)$	4,0478	81,751	96,38	1	532,6	0,00
	Courbe en S	$Y = \exp(a + b/X)$	5,803	-3,7169	94,13	1	320,6	0,00

Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA) et les valeurs des coefficients de détermination (R<sup>2</sup>) confirment qu'il existe une très bonne corrélation entre les débits maxima et la période de récurrence (94 % < R<sup>2</sup> < 98 %), d'une part, et une corrélation suffisante entre les débits maxima (75 % < R<sup>2</sup> < 87 %). Ces résultats encourageants nous ont conduit à explorer d'avantage les liens entre ces variables à l'échelle théorique (relations quantile-quantile-période de récurrence).

La représentation graphique des résultats de l'analyse fréquentielle des débits et des pluies extrêmes probables (figures 29, 30, 31 et 32) renforcent l'existence d'excellentes corrélations qu'il importe d'investiguer.



**Fig. 29. Représentation graphique des pluies journalières maximales probables en fonction de la période de retour**

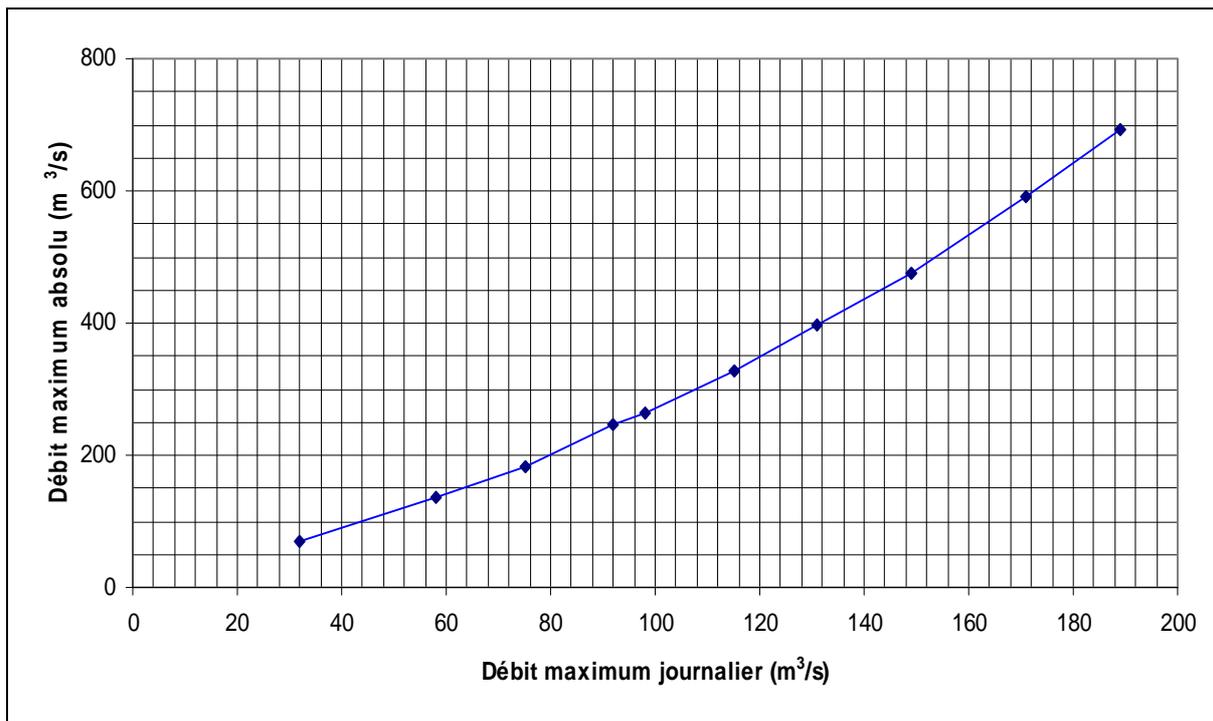


Fig. 30. Relation entre les débits maxima de même fréquence.

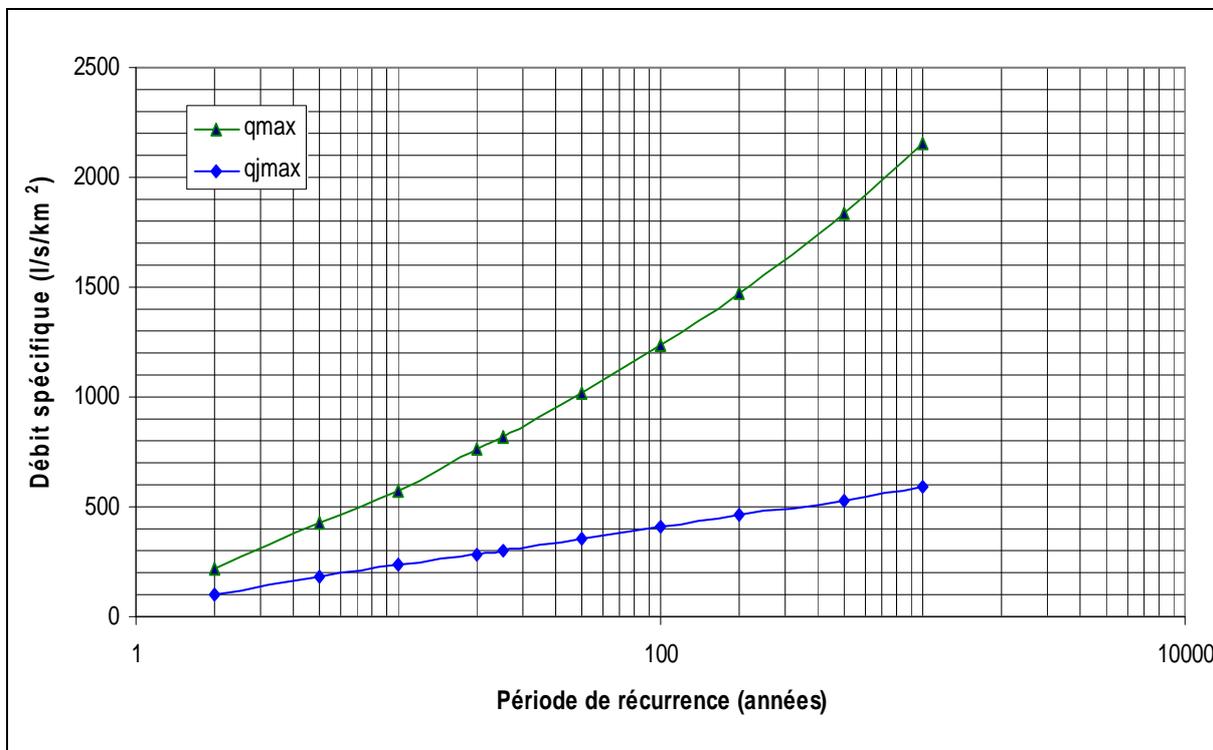


Fig. 31. Représentation graphique des débits spécifiques maxima probables en fonction de la période de retour

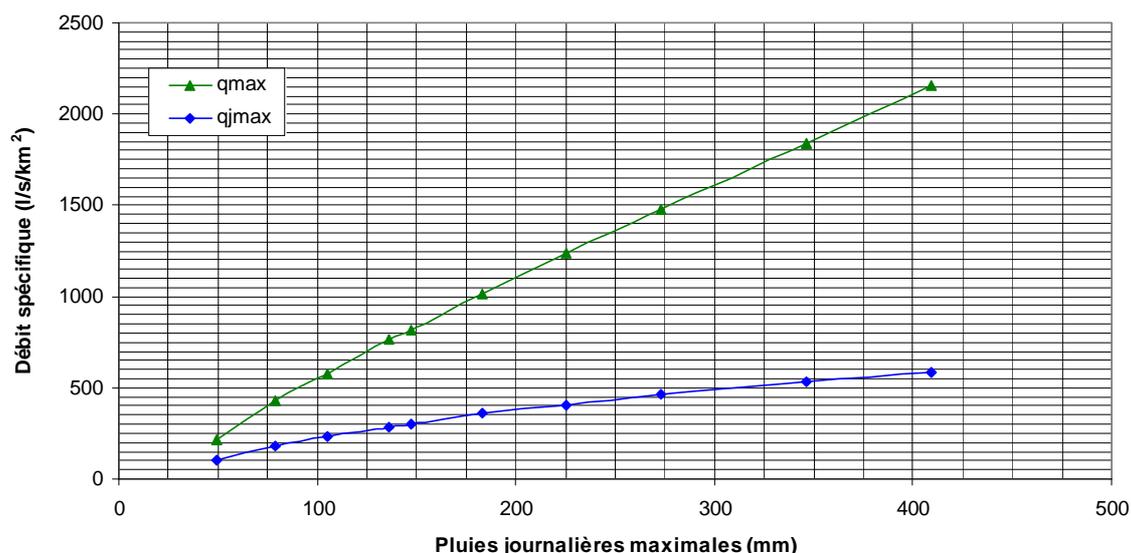


Fig. 32. Représentation graphique des débits spécifiques maxima et des pluies journalières maximales probables

En effet, les résultats de l'analyse corrélatoire consignés aux tableaux 41 et 42 montrent que la période de retour (T) explique plus de 98 % de la variabilité des débits et des pluies maxima probables. Ils font également ressortir qu'il existe d'excellentes corrélations non linéaires entre les débits de pointe et les débits maxima journaliers d'un côté, et entre les débits maxima et les pluies maximales probables, de l'autre ; le coefficient de corrélation étant proche de l'unité.

Tableau 41. Relations entre débits maxima probables et période de récurrence dans le bassin de l'oued Saf-Saf à Khémakhem

Variables Y = f(X)	Type de modèle	Equation	Constantes			ANOVA		
			a	b	R <sup>2</sup> (%)	ddl	F	P-value
Q <sub>max</sub> = f(Q <sub>jmax</sub> )	réciproque double	$Y = 1/(a + b/X)$	-0,0013	0,5038	99,98	1	35516,18	0,00
	racine carrée Y	$Y = (a + b \times X)^2$	5,0245	0,1132	99,92	1	10390,05	0,00
	multiplicatif	$Y = a \times X^b$	-0,3541	1,3023	99,57	1	1849,94	0,00
q <sub>jmax</sub> = f(T) <sup>15</sup>	log X	$Y = a + b \times \ln(X)$	52,2074	77,4658	99,96	1	20103,34	0,00
	réciproque double	$Y = 1/(a + b/X)$	0,0023	0,0160	98,01	1	394,34	0,00
	racine carrée Y et log X	$Y = (a + b \times \ln(X))^2$	9,8104	2,1911	97,91	1	374,23	0,00
q <sub>max</sub> = f(T)	racine carrée Y et log X	$Y = (a + b \times \ln(X))^2$	12,2219	4,9741	99,80	1	3909,17	0,00
	Y carré et racine carré X	$Y = \sqrt{a + bX^{0.5}}$	-100633	153245	99,76	1	3283,14	0,00
	log X	$Y = a + b \times \ln(X)$	-117,748	309,434	98,45	1	509,17	0,00

<sup>15</sup> q désigne le débit spécifique ou débit rapporté à la surface du bassin en l/s/km<sup>2</sup> (q = Q/A).

**Tableau 42. Relations entre débits maxima probables-pluies journalières maximales- période de récurrence dans le bassin de l'oued Saf-Saf à Khémakhem**

Variables Y = f(X)	Type de modèle	Equation	Constantes			ANOVA		
			a	b	R <sup>2</sup> (%)	ddl	F	P-value
Q <sub>jmax</sub> = f(P <sub>jmax</sub> )	racine carrée Y et log X	$Y = (a + b \times \ln(X))^2$	-15,7555	6,64638	99,97	1	23349,78	0,00
	Y carré	$Y = (a + b \times X)^{0.5}$	-42920,5	939,5	99,92	1	10153,23	0,00
	racine carrée X	$Y = a + b \times X^{0.5}$	-144,27	36,5458	99,84	1	4811,83	0,00
Q <sub>max</sub> = f(P <sub>jmax</sub> )	Y carré et X carré	$Y = (a + b \times X^2)^{0.5}$	53207,6	27,7261	99,89	1	7332,75	0,00
	linéaire	$Y = a + b \times X$	15,1795	5,3044	99,78	1	3552,7	0,00
	racine carrée Y et X	$Y = (a + b \times (X^{0.5}))^2$	-0,3803	2,3456	99,59	1	1910,94	0,00
P <sub>jmax</sub> = f(T)	Y carré et racine carré X	$Y = \sqrt{a + bX^{0.5}}$	-5572,83	5529,49	99,95	1	16688,31	0,00
	racine carrée Y et log X	$Y = (a + b \times \ln(X))^2$	5,3846	2,1175	99,92	1	9630,17	0,00
	multiplicatif	$Y = a \times X^b$	3,8449	0,3301	98,21	1	438,24	0,0000

#### 4. Crues de référence pour l'élaboration des PPRI dans le bassin du Saf Saf

La gestion durable du risque inondation passe obligatoirement par la réduction de la vulnérabilité des biens et des personnes. C'est beaucoup plus efficace que d'essayer de maîtriser le cours des eaux par des ouvrages hydrauliques ou autres qui perdent rapidement leur utilité face aux crues importantes. Réduire la vulnérabilité consiste à ne pas augmenter le nombre de personnes et d'activités soumis au risque inondation et pour celles qui sont déjà situées en zone inondable à prendre des mesures pour limiter les dommages.

La nouvelle stratégie de prévention des inondations est donc conçue à l'échelle d'un bassin versant ou d'un tronçon de vallée important, permettant d'avoir une vision globale du phénomène. Cette approche intercommunale du risque ne s'oppose en rien à l'élaboration de plan de prévention des risques inondation (PPRI) communaux dès lors que la réglementation, instaurée par les articles 24 et 25 de la loi n° 04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du

développement durable (Journal Officiel de la RADP du 29-12-2004) suite à plusieurs inondations meurtrières dont celles d'Alger-Bab el Oued en 2001 (plus de 700 décès), est cohérente entre les diverses communes du même bassin.

Le PGPI, tel que défini par les articles ci-dessus, doit comporter une carte nationale d'inondabilité précisant l'ensemble des zones inondables, la hauteur de référence pour chaque zone déclarée inondable, au-dessous de laquelle les périmètres concernés sont grevés de la servitude de *non-aedificandi*, les seuils et les procédures de déclenchement des pré-alertes et des alertes pour cet aléa, ainsi que les procédures de suspension des alertes.

Le plan de prévention des risques inondation est un document prescrit et approuvé par l'Etat. Il a pour but d'établir une cartographie aussi précise que possible des zones de risque, d'interdire les implantations humaines dans les zones les plus dangereuses, les limiter dans les autres zones inondables, de prescrire des mesures pour réduire la vulnérabilité des installations et constructions existantes, de prescrire les mesures de protection et de prévention collectives et de préserver les capacités d'écoulement et d'expansion des crues.

L'élaboration d'un PPRI nécessite beaucoup de données dont la plus importante est l'événement de crue qui va servir de référence. Dans la pratique, on admet souvent la plus forte crue historique connue ou la crue de fréquence centennale dans le cas où cette dernière serait plus grande que la crue historique.

Pour ce qui est du bassin du Saf-Saf, l'examen des données historiques (annexe 10) à Khémakhem, le seul poste hydrométrique existant et qui contrôle l'amont du bassin (superficie : 322 km<sup>2</sup>) et des résultats des analyses fréquentielle et corrélatrice transposés vers les différents sous bassin en usant des modèles empiriques développés dans la présente étude et celui de Francou-Rodier (1967) calé sur les débits de l'oued Saf-Saf à Khémakhem et au barrage des Zardézas, consignés aux tableaux 43, 44, 45 et 46, a montré que les plus fortes crues connues depuis ces dernières quatre décennies étaient celles de 1969/1970 ( $Q_{\max}$  : 453 m<sup>3</sup>/s), du 03 au 04 Février ( $Q_{\max}$  : 745 m<sup>3</sup>/s, volume : 27 Hm<sup>3</sup>, durée : 4 jours) et du 28 Décembre 1984 au 03 Janvier 1985 ( $Q_{\max}$  : 559 m<sup>3</sup>/s, volume : 56.5 Hm<sup>3</sup>, durée : 7 jours). Ces crues sont considérées exceptionnelles ; le débit de pointe étant supérieur que la crue centennale estimée de l'oued Saf-Saf à Khémakhem.

**Tableau 43. Débits estimés des Crues exceptionnelles de l'oued Saf-Saf et ses principaux affluents  
(Modèle de Francou-Rodier)**

Date de la crue	k	Saf-Saf à Khemakhem	Od. Nessa	Saf-Saf à S. Bouchaour	Od. Ammeur	Od. Hadarat	Od. Zerga	Saf-Saf à R. Djamel-SNTF	Gouhdi à Bountous	Od. Zeramna	Saf-Saf à l'exutoire
		322 km <sup>2</sup>	106 km <sup>2</sup>	543 km <sup>2</sup>	144 km <sup>2</sup>	143 km <sup>2</sup>	17 km <sup>2</sup>	858 km <sup>2</sup>	31 km <sup>2</sup>	128 km <sup>2</sup>	1158 km <sup>2</sup>
$Q_p = 10^6 \times (A/10^8)^{(1-k/10)}$											
04/02/1984	4,3	745	393	997	468	466	138	1294	195	438	1536
28/12/1984	4,08	559	290	764	348	347	98	1001	140	325	1196
1969/1970	3,911	453	230	622	277	276	76	822	109	258	987

**Tableau 44. Crue centennale estimée de l'oued Saf-Saf et ses principaux affluents**

Bassin versant	Saf-Saf à Khemakhem	Od. Nessa	Saf-Saf à S. Bouchaour	Od. Ammeur	Od. Hadarat	Od. Zerga	Saf-Saf à R. Djamel-SNTF	Gouhdi à Bountous	Od. Zeramna	Saf-Saf à l'exutoire
A (km <sup>2</sup> )	322	106	543	144	143	17	858	31	128	1158
<b>Equations</b>										
$Q_p = A \times (12,2219 + 4,9741 \times \ln(T))^2$	397	131	670	178	176	21	1059	38	158	1429
$Q_p = A \times (-100633 + 153245 \times (T)^{0,5})^{0,5}$	385	127	650	172	171	20	1027	37	153	1386
$Q_p = A \times (-117,748 + 309,434 \times \ln(T))$	421	139	710	188	187	22	1122	41	167	1514
$Q_p = A \times (53207,6 + 27,7261 \times P_{jmax}^2)^{0,5}$	389	128	655	174	173	21	1036	37	154	1398
$Q_p = A \times (15,1795 + 5,3044 \times P_{jmax})$	389	128	656	174	173	21	1037	37	155	1400
$Q_p = A \times (-0,3803 + 2,3456 \times (P_{jmax}^{0,5}))^2$	390	128	658	174	173	21	1039	38	155	1403
<b>Modèle de Francou-Rodier (k = 3,81)</b>										
$Q_p = 10^6 \times (A/10^8)^{(1-k/10)}$	397	200	551	242	241	65	731	94	225	880

Tableau 45. Crue cinquantennale estimée de l'oued Saf-Saf et ses principaux affluents

Bassin versant	Saf-Saf à Khemakhem	Od. Nessa	Saf-Saf à S. Bouchaour	Od. Ammeur	Od. Hadarat	Od. Zerga	Saf-Saf à R. Djamel-SNTF	Gouhdi à Bountous	Od. Zeramna	Saf-Saf à l'exutoire
A (km <sup>2</sup> )	322	106	543	144	143	17	858	31	128	1158
<b>Equations</b>										
$Q_p = A \times (12,2219 + 4,9741 \times \ln(T))^2$	323	106	545	145	144	17	861	31	128	1162
$Q_p = A \times (-100633 + 153245 \times (T)^{0,5})^{0,5}$	319	105	538	143	142	17	851	31	127	1148
$Q_p = A \times (-117,748 + 309,434 \times \ln(T))$	352	116	593	157	156	19	938	34	140	1265
$Q_p = A \times (53207,6 + 27,7261 \times P_{jmax}^2)^{0,5}$	319	105	538	143	142	17	850	31	127	1147
$Q_p = A \times (15,1795 + 5,3044 \times P_{jmax})$	317	105	535	142	141	17	846	31	126	1142
$Q_p = A \times (-0,3803 + 2,3456 \times (P_{jmax}^{0,5}))^2$	316	104	534	142	141	17	843	30	126	1138
<b>Modèle de Francou-Rodier (k = 3,66)</b>										
$Q_p = 10^6 \times (A/10^8)^{(1-k/10)}$	327	163	459	198	197	51	614	75	184	742

Tableau 46. Crue décennale estimée de l'oued Saf-Saf et ses principaux affluents

Bassin versant	Saf-Saf à Khemakhem	Od. Nessa	Saf-Saf à S. Bouchaour	Od. Ammeur	Od. Hadarat	Od. Zerga	Saf-Saf à R. Djamel-SNTF	Gouhdi à Bountous	Od. Zeramna	Saf-Saf à l'exutoire
A (km2)	322	106	543	144	143	17	858	31	128	1158
<b>Equations</b>										
$Q_p = A \times (12,2219 + 4,9741 \times \ln(T))^2$	180	59	304	81	80	10	481	17	72	649
$Q_p = A \times (-100633 + 153245 \times (T)^{0,5})^{0,5}$	200	66	336	89	89	11	532	19	79	718
$Q_p = A \times (-117,748 + 309,434 \times \ln(T))$	192	63	323	86	85	10	510	18	76	689
$Q_p = A \times (53207,6 + 27,7261 \times P_{jmax}^2)^{0,5}$	193	64	325	86	86	10	514	19	77	694
$Q_p = A \times (15,1795 + 5,3044 \times P_{jmax})$	184	61	311	82	82	10	491	18	73	663
$Q_p = A \times (-0,3803 + 2,3456 \times (P_{jmax}^{0,5}))^2$	180	59	304	81	80	10	480	17	72	648
<b>Modèle de Francou-Rodier (k = 3,20)</b>										
$Q_p = 10^6 \times (A/10^8)^{(1-k/10)}$	184	87	263	107	106	25	359	38	98	440

Compte tenu de la durée de submersion, du volume et de l'ampleur des dégâts (11 morts et d'importants dégâts matériels évalués alors à 50 millions de DA, infrastructures de base fortement endommagées, édifices effondrés suite à des mouvements de masse, immersion de 400 hectares et enclavement de la ville de Skikda pendant 10 jours), la crue de Décembre 1984 peut donc être prise comme la crue de référence pour l'élaboration des plans de prévention du risque inondation (PPRI) pour les communes situées dans l'emprise de l'oued Saf-Saf et ses principaux affluents. Cet aléa de référence, transposé aux différents sous bassins, va permettre de modéliser la crue choisie pour le PPRI dans les conditions actuelles d'écoulement et de topographie (tableau 43).

Cette crue est le résultat d'une série d'épisodes pluvieux orageux et exceptionnellement intenses qui se sont abattues sur l'ensemble du bassin au mois de Décembre 1984 (452.5 mm en 16 jours de pluies dont 137 mm enregistrées au pluviomètre le 29/12/1984 à la station des Zardezas). Des pluies aussi intenses ont été observées le même jour aux autres stations (75.6 mm à Ouled H'baba ; 111.2 mm à Ramdane Djamel et 73.5 mm à Skikda). Le tableau 47 donne quelques indices de la pluviométrie enregistrée dans le bassin entre le 28 et le 30 Décembre 1984.

**Tableau 47. Indices pluviométriques de la crue de Décembre 1984 (mm)  
(Relevés aux pluviomètres)**

Poste pluviométrique	28-12-1984	29-12-1984	30-12-1984	Décembre 1984	Année 1984/85
Ouled H'baba	-	75.6	-	269.8	783.6
Zardezas	-	137	-	452.5	1039.4
El Harrouche	-	-	97.6	379.6	932.2
Ramdane Djamel	-	111.2	-	427.8	1028
Skikda	50.9	73.5	72.3	347.5	1148.9

Pour plus de détail sur cet événement exceptionnel, on a procédé au dépouillement des pluviogrammes relatifs aux averses abattues entre le 28/12/1984 à 2:45 et le 01/01/1985 à 12:11 et enregistrées au niveau du barrage des Zardezas (annexe 13). Le traitement automatique à l'aide du logiciel '*Averse 2.0*' renvoie les hyétogrammes afférents à différentes périodes de référence ainsi que les intensités maximales absolues observées sur une durée bien définie (Tableaux 48 et 49).

**Tableau 48. Hyétogrammes afférents à une durée de 6 heures à la station des Zardézas  
(Episodes pluvieux du 28/12/1984 au 01/01/1985 : mm)**

Durée de référence (h)	Hyétogramme du :			Hyétogramme Composite (28/12/1984 au 01/01/1985)
	28/12/1984	29 et 30/12/1984	31/12/1984 et 01/01/1985	
0-6	11,5	27,2	37,4	11,5
6-12	19,5	49,7	9,5	20,0
12-18	8,9	33,5	3,7	8,5
18-24	19,0	35,1	11,6	19,0
24-30	4,0	11,6	3,9	4,0
30-36		17,7	18,9	9,1
36-42		1,3	0,1	41,9
42-48				39,5
48-54				50,0
54-60				8,8
60-66				20,9
66-72				21,6
72-78				30,2
78-84				3,7
84-90				4,8
90-96				9,6
96-102				12,6
102-108				8,4
<b>Cumul (mm)</b>	<b>63,0</b>	<b>176,0</b>	<b>85,0</b>	<b>324,0</b>

**Tableau 49. Intensités maximales des averses à la station des Zardézas (mm/h)**

Durée de référence (minutes)	Date de l'averse		
	28/12/1984	29 et 30/12/1984	31/12/1984 et 01/01/1985
5	26,4	33,8	18,0
15	12,4	22,5	11,3
30	12,0	18,0	9,3
(heures)			
1	7,5	16,3	8,4
2	4,9	12,2	7,5
4	4,1	9,8	7,1
6	3,7	8,7	6,3
12	2,9	7,6	3,9
24	2,5	6,1	2,6

L'examen des résultats de l'analyse des averses montre que les pluies, enregistrées le 29 et le 30 Décembre à la station des Zardezas, se démarquent par des intensités très fortes (50 ; 89.5 et 131 mm en 6 ; 12 et 18 heures et 324 mm en 4 jours, par exemple). Cette torrencialité pluviale, couplée à un sol à l'état saturé par les pluies antécédentes (63 mm enregistrées au pluviographe le 28 Décembre), est à l'origine de la montée rapide des eaux donnant des débits de pointes de crue et des volumes exceptionnellement importants aussi bien à Khémakhem qu'au niveau du barrage (Fig. 33). Les débits maxima absolus ont atteint les 559 et 754 m<sup>3</sup>/s, respectivement, le 30 Décembre à 4:00 du matin. Les volumes respectifs sont estimés à 50 et 75 Hm<sup>3</sup> et correspondent à des lames d'eau écoulées de 157.0 et 218.0 mm en 4 jours.

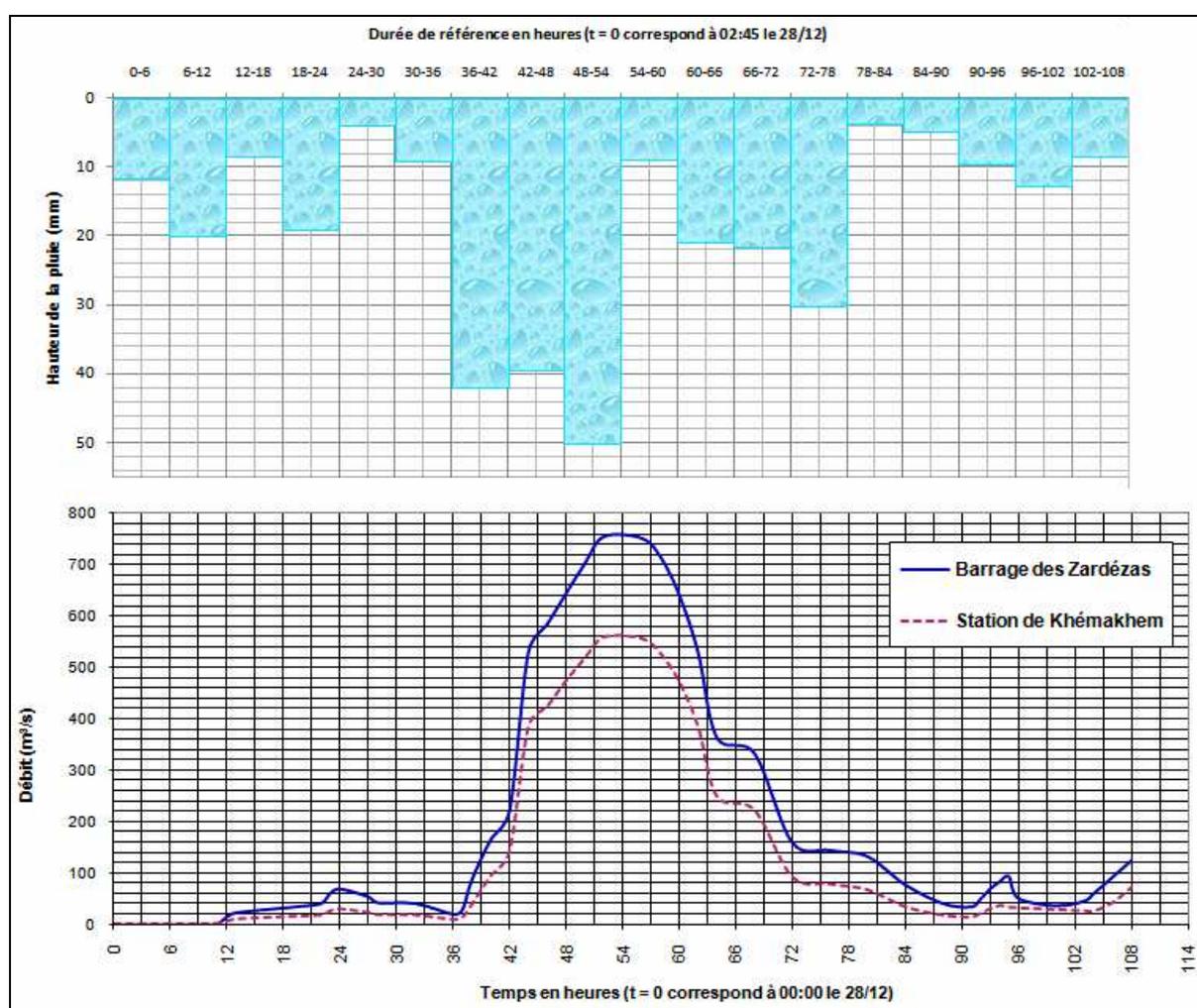


Fig. 33. Hétérogramme et hydrogramme de la crue du 28/12/1984 au 01/01/1985

Les caractéristiques de l'événement 'Averse-Crue' du 28 Décembre 1984 au 1er Janvier 1985 sont résumées au tableau 50.

**Tableau 50. Caractéristiques de l'événement 'Averse-Crue' du 28/12/1984 au 01/01/1985**

Site d'observation	Khémakhem	Barrage des Zardézas
Lame d'eau précipitée (mm)	324.0	324.0
Lame d'eau écoulée (mm)	157.0	218.0
Coefficient de ruissellement (%)	48.5	67.3
Début de la crue	le 28/12 à 00 :00	le 28/12 à 00 :00
Débit de pointe	558.6	754
Fin de la crue	le 01/01 à 13 :00	le 01/01 à 13 :00
Date et heure de la pointe	le 30/12 à 04 :00	le 30/12 à 04 :00
Volume de la crue (Hm <sup>3</sup> )	50.5	75.2

Compte tenu de l'effet de laminage par les cours d'eau, les débits de référence retenus, après confrontation des résultats de l'analyse fréquentielle des débits maxima absolus aux crues historiques, sont reportés au tableau 51 et sur la carte qui suit.

**Tableau 51. Bassin versant du Saf-Saf : Crues de références adoptées**

Bassin versant	Superficie du bassin (km <sup>2</sup> )	Crue de référence adoptée		
		(m <sup>3</sup> /s)	l/s/km <sup>2</sup>	l/s/ha
Od. Saf-Saf à Khemakhem	322	750	2,33	23,29
Od. Nessa à la confluence avec Od. Saf Saf	106	400	3,77	37,74
Od. Saf-Saf au pont de Salah Bouchaour	543	1000	1,84	18,42
Od. Ammeur à la confluence avec Od. Saf-Saf	144	470	3,26	32,64
Od. Hadarat à Ramdane Djamel	143	470	3,29	32,87
Od. Zerga à Ramdane Djamel	17	140	8,24	82,35
Od. Saf-Saf à Ramdane Djamel (Gare SNTF)	858	1300	1,52	15,15
Od. Gouhdi à Bountous	31	200	6,45	64,52
Od. Zeramna à la rocade de Skikda	128	450	3,52	35,16
Od. Saf-Saf à l'exutoire (mer)	1158	1500	1,30	12,95



## **CONCLUSIONS GENERALES - RECOMMANDATIONS**

En Algérie, le débordement fréquent de plusieurs cours d'eau cause des inondations suite à des aléas hydrométéorologiques extrêmes. Ces inondations deviennent de plus en plus insupportables tant sur le plan humain que matériel. La fréquence et la magnitude de ces phénomènes observés dans le bassin du Saf Saf montrent bien que ces aléas constituent un risque majeur pour une grande partie de la population des communes situées dans la vallée de l'oued Saf Saf.

Etant un cours d'eau exoréique, l'oued Saf Saf qui prend naissance sur le versant Nord du Djebel Bouabed à plus de 50 km vers le Sud, draine un bassin versant caractérisé par un relief très accidenté (grandes dénivelées) et relativement arrosé (600 à 700 mm/an). Durant la période des hautes eaux (Novembre – Avril), le degré de saturation des sols et, par conséquent, les débits et les volumes des cours d'eau atteignent leurs maxima à la suite des pluies intenses.

Corrélativement, les agglomérations situées dans les cônes de déjection et les bassins d'accumulation, à pentes très faibles, des principaux cours d'eau et torrents (dépressions de Salah Bouchaour, de Ramdane Djamel et d'El Hadaiek et basse vallée du Saf Saf), sont souvent exposées aux inondations causées par ces averses torrentielles, parfois chargées de boues, qui ruissellent sur des versants à pentes raides et, en grande partie, mal ou peu protégés. Sans tenir compte de la sécurité des personnes et des biens, ces aléas sont aggravés par l'urbanisation non contrôlée, de terrains connus pour leur vulnérabilité aux inondations à cause de leur position à la croisée de deux ou trois cours d'eau (Ramdane Djamel et l'entrée Sud et Sud Ouest de Skikda, en particulier).

Techniquement, la puissance d'une crue est évaluée selon le débit de pointe, le volume, la durée et la hauteur d'eau du cours d'eau mesurée sur un repère ou une échelle limnimétrique. Faute d'informations suffisantes sur l'ensemble des cours d'eau dans le bassin étudié, l'importance de la crue est appréciée selon sa fréquence. Les résultats des analyses fréquentielle et corrélatrice des pluies et des débits extrêmes probables enregistrés à l'amont du barrage des Zardézas, extrapolés au bassin du Saf Saf et ses principaux sous bassins, ont

permis d'estimer les crues de projet (crues décennale, cinquantennale et centennale) pour les aménagements structurels et les crues de référence nécessaires pour les solutions à caractère non structurel pouvant être concrétisées, en pratique, par l'élaboration des plans de prévention du risque inondation (PPRI) des communes les plus vulnérables dans la zone d'étude. Ces documents, constituant une servitude d'utilité publique, doivent être annexé au plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) et intégré dans un système d'information géographique (SIG) pour pouvoir être régulièrement mis à jour.

Les enquêtes de terrain sur les laissées des grandes crues historiques, retenues dans la mémoire des riverains, permettront d'effectuer des profils en long et en travers des différents cours d'eau et de leurs champs d'inondation. L'ensemble de ces données, allant de paire avec les valeurs retenues de la crue de référence pour chaque sous bassin, peuvent alimenter et, éventuellement, valider un modèle hydraulique de type Manning-Strickler permettant de fournir, pour chaque profil, la largeur de la zone submergée, les côtes de submersion, la répartition des débits et des vitesses d'écoulement; données requises pour la cartographie du risque inondation telle que définie dans les PPRI. La volonté de collaborer et l'aptitude à trouver des consensus entre tous les acteurs concernés sont des conditions indispensables à la réussite d'un tel projet à la fois réglementaire et technique et qui s'appuie sur le courant des idées favorables à l'environnement.

Enfin, il faut noter que le phénomène des inondations fait partie de la nature. Il a toujours existé et continuera d'exister. Vu l'évolution et les tendances observées, la démarche à suivre face aux risques naturels, en général, nécessite un changement de conception. Il faut passer d'une action purement défensive à l'égard d'événements aléatoires à une gestion du risque. Les professionnels impliqués dans la mise en oeuvre de la politique de prévention et de protection, qu'ils soient politiques ou techniques, doivent veiller à ce que les efforts aillent en ce sens. Quelles que soient les mesures prises pour limiter l'intensité de l'aléa et réglementer l'occupation des sols, l'efficacité de la politique de prévention des inondations à long terme passe par la mise au point d'une information englobant la notification des risques et facilitant la participation du public à la prise de décisions. Pour ce faire, l'identification des zones inondables doit être systématique et largement portée à la connaissance des citoyens. Sur l'ensemble des bassins concernés, la population doit être informée des risques qu'elle encourt. Elle doit prendre conscience de l'absence de maîtrise humaine sur le phénomène d'inondation, de l'efficacité toute relative des solutions techniques et de la nécessité d'accepter les

contraintes de son environnement. Dans les zones dangereuses, elle doit s'exercer à adopter un comportement adéquat pour sa sauvegarde en cas d'événement grave.

Faut il signaler enfin, que le travail exposé n'est qu'une petite partie d'un projet pluridisciplinaire. On ne prétend pas avoir apporté une solution définitive aux problèmes des inondations dans la zone d'étude. Il s'agit d'un travail dont les résultats constituent un outil d'aide à la décision et un appui aux collectivités compétentes, techniques ou politiques, qui accompagnent les différents projets d'aménagement dans le bassin de l'oued Saf Saf.

## LISTE DES REFERENCES

ABDELLI H., S. AZZOUN, M. BOULAHIA, S. SELOUGHA, M. MEHALLI et S. KECHROUD., 1991. Contribution à l'évaluation des ressources en eau dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf. Mémoire d'Ingénieur ( 2 tomes). Université de Annaba.

ANONYME, 2004, "Loi n° 04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable", Journal Officiel de la RADP N° 84.

ATTALLAH S., 1998. Etude des écoulements de l'oued Saf-Saf à Khemakhem. Mémoire d'Ingénieur. Université de Annaba.

BCEOM-BG-SOGREAH, Etude d'actualisation se de finalisation du P.N.E – Régions hydrographique – Rapport de mission 2- Vol 4-Hydrologie- Centre et Est, D.E.A.H, Ministères des ressources en eau, Algérie, Mars 2005.

BOHRER A., 2008. One-sided and two-sided critical values for Dixon's outlier test for sample sizes up to  $n = 30$ . Economic Quality Control, Vol. 23 , No. 1, pp. 5-13.

BOUILLIN, J.P., 1977. Géologie alpine de la petite Kabylie dans la région de Collo et El Milia (Algérie). Thèse de doctorat ès sciences, Paris VI, 511 p.

BOULGHOBRA N., 2006, Protection de la ville de Skikda contre l'inondation « Essai de P.P.R.I ». Thèse de Magister.Université de Batna.

BRAKENRIDGE G.R., 2011. Global active archive of large flood events. Dartmouth Flood Observatory, Univ. of Colorado, <http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html>.

CARLETTI G., 1976, "Détection automatique de valeurs anormales", *Revue de statistique appliquée*, tome 24, N°3, pp. 61-70.

CNES, 2003, "L'urbanisation et les risques naturels et industriels en Algérie ; inquiétudes actuelles et futures", Rapport de la Commission de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, pp. 25-26.

COMBY J. 2001. Les problèmes d'échelles dans l'évaluation spatiale et temporelle des précipitations de fortes intensités. Actes du Colloque International « Risques et territoires » , Lyon, 16-18 mai, pp. 213-226.

EM-DAT, 2007. The OFDA/CRED International Disaster Database [www.em-dat.net](http://www.em-dat.net)- Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium.

DODGE Y., 2006. Premiers Pas En Statistique. Springer, Paris, 427 p.

FRANCOU J. ET J ; A. RODIER , 1967. Essai de classification des crues maximales observées dans le monde. Cahiers. ORSTOM, série Hydrologie, Volume IV, N° 3, pp. 19-46.

GIEC, 2002. Bilan 2001 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité, Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, 101 p.

GRUBBS F.E. & G. BECK, 1972. Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations. Technometrics 14, pp. 847-854.

HORTON,R.E., 1933. The role of infiltration in the hydrological cycle. Trans. American Geophys. Union,14 : 446 – 460.

HUNT R. E., 1984. Geotechnical engineering investigation manual. Mc Graw Hill New York, USA, p. 153.

KANJI G. K., 2006. 100 statistical tests, 3rd Edition, SAGE Publications Ltd, London, 248 p.

KAYA A., 2010. Statistical modeling for outlier factors, Ozean Journal of Applied Sciences 3(1), pp. 185-194.

KELFAOUI F. 2008. Ressources en eau et gestion intégrée dans le bassin versant du Saf-Saf (Nord- Est algérien). Mémoire de Magister, Faculté des sciences de la terre, Université de Annaba, 165 p.

KOSTIAKOV, A.N., 1932. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity of studying it from dynamic point of view for purposes of amelioration. Trans. 6th Comm. Int. Soil Sci. Russian Pt. A15-21.

KUMAR A, I. BURTON et D. ETKIN, 2001. Gérer les dangers et les risques d'inondation- Rapport d'un groupe d'experts indépendants, Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile, Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux, Canada, 63 p.

LAPERCHE D., 2009. Inondations: une question d'aménagement du territoire, Revue Environnement et technique, n° 289, pp. 28-29.

LEMESHKO B.Y et S. B. LEMESHKO, 2005. Extending the application of Grubbs-type tests in rejecting anomalous measurements. Measurement Techniques, Vol. 48, N° 6, pp. 536-547.

MANN H.B. et D.R.WHITNEY, 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. The Ann. of Math. Stat. Volume 18, pp.52-60.

McCUEN R.H., 1982. A guide to hydrologic analysis using SCS methods. Prentice Hall Inc., New Jersey, 145 p.

PLANCHON V., 2005. Traitement des valeurs aberrantes: concepts actuels et tendances générales. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 9 (1), pp. 19-34.

RAOULT, J.F., 1974. Géologie du Centre de la Chaîne Numide (Nord Constantinois, Algérie). Thèse Doctorat ès Sciences, Paris, 163 p.

RAVI V. and J. R. WILLIAMS, 1998. Estimation of infiltration rate in the vadose zone: compilation of simple mathematical models. Volume I, United States Environmental Protection Agency, EPA/600/R-97/128a, 84p.

SAKAA B., 2008. Une Approche Intégrée pour la Gestion des Ressources en Eau dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf. Mémoire de Magister, Faculté des sciences de la terre, Université de Annaba, p.5.

SCARWELL H.J. et R. LAGANIER, 2004. Risque d'inondation et aménagement durable des territoires, Presses Universitaires du Septentrion, 238 p.

TRICART J. 1963. Géomorphologie des régions froides. Paris, P.U.F., 289 p.

TRICART J., 1968. Précis de géomorphologie. Paris SEDES, 322 p.

TUKEY, J. W., 1977. *Exploratory data analysis*. Reading, MA : Addison-Wesley.

VERMA S.P. et A. QUIROZ-RUIZ, 2006. Critical values for six Dixon tests for outliers in normal samples up to sizes 100 and applications in science and engineering. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 23, num. 2, pp. 133-161.

VERMA S.P. et A. QUIROZ-RUIZ, 2006. Critical values for 22 discordancy test variants for outliers in normal samples up to sizes 100 and applications in science and engineering. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 23, num. 2, pp. 302-319.

VILA J.M., 1980. La Chaîne Alpine d'Algérie Orientale et des Confins Algéro-Tunisiens. Thèse Sci. 3 vols. Univ. Paris VI, 663 p.

## ANNEXES

### A.1- Précipitations mensuelles et annuelles à la station de Skikda (mm)

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	Total
<b>1970-1971</b>	5,0	186,4	5,7	84,8	148,7	110,0	156,3	65,7	36,1	3,0	1,3	0,3	<b>803,3</b>
<b>1971-1972</b>	37,0	127,3	71,6	33,6	128,7	69,1	92,7	94,9	51,0	5,7	1,1	2,4	<b>715,1</b>
<b>1972-1973</b>	50,6	89,2	7,2	175,6	194,6	115,6	125,2	17,7	2,1	18,6	6,0	5,2	<b>807,6</b>
<b>1973-1974</b>	32,5	31,7	32,5	78,4	19,9	80,9	42,1	82,6	2,4	1,3	7,0	0,0	<b>411,3</b>
<b>1974-1975</b>	29,1	166,3	74,0	57,6	25,6	55,8	72,7	9,2	58,2	6,2	0,0	21,3	<b>576,0</b>
<b>1975-1976</b>	4,2	25,0	156,3	81,2	92,5	113,8	82,4	34,4	47,1	26,6	0,0	23,8	<b>687,3</b>
<b>1976-1977</b>	22,6	18,6	139,0	28,0	54,0	44,0	17,0	67,0	62,0	19,0	0,0	21,0	<b>492,2</b>
<b>1977-1978</b>	24,0	11,0	151,0	22,0	124,0	116,0	62,0	77,0	37,0	8,0	0,0	1,0	<b>633,0</b>
<b>1978-1979</b>	9,0	81,0	139,0	51,0	111,0	169,0	95,0	211,0	13,0	20,0	10,0	3,0	<b>912,0</b>
<b>1979-1980</b>	51,0	73,0	112,0	38,0	48,0	30,0	94,0	74,0	56,0	1,0	0,0	1,7	<b>578,7</b>
<b>1980-1981</b>	19,0	88,0	151,0	240,0	87,0	101,0	51,0	39,0	17,0	21,0	1,0	46,0	<b>861,0</b>
<b>1981-1982</b>	14,0	67,0	37,0	188,0	141,0	128,0	121,0	59,0	37,0	7,0	0,5	12,0	<b>811,5</b>
<b>1982-1983</b>	14,6	100,0	232,0	156,0	21,0	37,0	70,0	13,0	23,0	0,7	0,5	8,0	<b>675,8</b>
<b>1983-1984</b>	55,0	91,0	119,0	62,0	204,0	161,0	104,0	52,0	22,0	14,0	0,0	0,9	<b>884,9</b>
<b>1984-1985</b>	68,0	148,0	27,0	343,0	148,0	76,0	172,0	21,0	29,0	0,0	0,0	2,0	<b>1034,0</b>
<b>1985-1986</b>	42,0	22,0	66,0	50,0	162,0	82,0	88,0	55,0	12,0	18,0	13,0	3,0	<b>613,0</b>
<b>1986-1987</b>	24,0	86,0	149,0	157,0	140,0	246,0	89,0	36,0	82,0	4,0	11,0	1,0	<b>1025,0</b>
<b>1987-1988</b>	30,0	30,0	116,0	50,0	111,0	111,0	55,0	36,0	37,0	24,0	0,0	1,0	<b>601,0</b>
<b>1988-1989</b>	58,0	4,0	130,0	147,0	48,0	53,0	23,0	148,0	2,0	9,0	5,0	0,0	<b>627,0</b>
<b>1989-1990</b>	33,0	83,0	69,0	100,0	157,0	1,0	75,0	85,0	22,0	31,0	4,0	41,0	<b>701,0</b>
<b>1990-1991</b>	0,0	66,0	123,0	326,0	89,0	104,0	103,0	34,0	25,0	5,0	0,0	13,0	<b>888,0</b>
<b>1991-1992</b>	49,0	118,0	51,0	30,0	109,0	87,0	120,0	144,0	60,0	28,0	7,0	1,0	<b>804,0</b>
<b>1992-1993</b>	9,0	38,0	39,0	237,0	53,0	78,0	63,0	39,0	69,0	6,0	1,0	1,0	<b>633,0</b>
<b>1993-1994</b>	36,0	85,0	40,0	136,0	116,0	120,0	0,0	142,0	12,0	0,0	1,0	4,0	<b>692,0</b>
<b>1994-1995</b>	58,0	102,0	6,0	170,0	219,0	25,0	107,0	32,2	3,0	19,0	0,0	12,3	<b>753,5</b>
<b>1995-1996</b>	100,0	9,0	48,0	55,1	65,0	192,0	59,3	92,0	46,4	14,0	1,0	4,0	<b>685,8</b>
<b>1996-1997</b>	38,0	95,0	49,0	102,0	66,0	13,3	18,0	34,2	72,0	27,0	0,0	4,0	<b>518,5</b>
<b>1997-1998</b>	69,0	190,0	174,0	148,2	82,0	104,2	43,0	57,3	129,2	11,0	0,0	25,0	<b>1032,9</b>
<b>1998-1999</b>	25,0	26,0	198,0	86,0	116,7	106,0	72,4	32,0	15,0	4,0	1,0	8,0	<b>690,1</b>
<b>1999-2000</b>	29,5	25,0	106,1	238,0	61,0	20,0	21,0	16,0	119,0	43,0	0,0	5,0	<b>683,6</b>
<b>2000-2001</b>	18,0	52,0	36,7	102,0	150,0	87,0	11,0	48,0	28,0	0,0	0,0	5,0	<b>537,7</b>
<b>2001-2002</b>	65,0	2,0	103,0	95,0	47,5	121,6	21,4	59,1	10,1	1,0	22,1	30,6	<b>578,4</b>
<b>2002-2003</b>	35,9	85,0	244,0	215,0	276,0	114,0	35,0	99,0	14,0	2,0	0,0	0,0	<b>1119,9</b>
<b>2003-2004</b>	114,0	47,0	37,0	169,0	121,0	161,0	73,0	66,0	31,0	20,5	1,0	0,0	<b>840,0</b>
<b>2004-2005</b>	55,5	26,2	284,0	165,4	156,0	189,0	65,2	99,0	7,0	87,0	0,0	64,0	<b>1198,3</b>
<b>2005-2006</b>	34,4	25,5	90,0	181,0	128,0	58,0	41,1	15,0	8,0	9,0	1,0	3,0	<b>594,0</b>
<b>2006-2007</b>	29,2	64,7	24,1	228,5	127,1	86,9	41,1	15,4	7,8	8,5	1,2	2,5	<b>637,0</b>
<b>2007-2008</b>	50,2	74,3	95,4	146,7	23,3	52,9	141,1	61,5	23,7	32,9	2,6	5,5	<b>710,1</b>
<b>2008-2009</b>	37,9	47,1	85,8	106,0	32,0	24,0	174,6	14,6	54,8	4,1	2,6	10,1	<b>593,6</b>

## A.2- Précipitations mensuelles et annuelles à la station de Ramdane Djamel (mm)

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	Total
<b>1970-1971</b>	1,0	104,5	5,0	125,5	125,5	125,5	87,3	47,0	34,5	4,0	3,5	3,4	<b>666,7</b>
<b>1971-1972</b>	73,0	119,5	48,5	28,0	99,3	56,0	113,0	103,5	46,5	39,0	0,0	6,3	<b>732,6</b>
<b>1972-1973</b>	51,5	53,0	5,0	110,0	162,5	103,6	109,5	17,0	0,0	29,5	0,0	1,0	<b>642,6</b>
<b>1973-1974</b>	53,0	92,0	25,5	58,5	33,0	55,5	38,0	58,5	21,0	4,1	14,0	1,5	<b>454,6</b>
<b>1974-1975</b>	30,0	68,0	34,8	32,0	9,5	70,5	34,0	10,0	64,5	6,5	0,0	13,0	<b>372,8</b>
<b>19975-1976</b>	13,0	7,0	104,9	66,5	89,9	89,5	79,4	49,3	34,0	11,9	11,1	12,8	<b>569,3</b>
<b>1976-1977</b>	31,2	204,0	125,6	38,1	44,3	11,5	29,7	57,6	62,5	20,8	0,5	11,4	<b>637,2</b>
<b>1977-1978</b>	7,5	11,6	94,1	9,9	79,5	78,8	44,2	57,7	61,6	12,4	0,0	0,7	<b>458,0</b>
<b>1978-1979</b>	2,3	36,1	94,5	19,9	53,7	103,2	95,3	160,7	8,8	30,1	10,2	0,4	<b>615,2</b>
<b>1979-1980</b>	13,2	56,4	55,9	37,2	48,5	48,0	61,2	56,1	50,7	0,0	0,0	0,0	<b>427,2</b>
<b>1980-1981</b>	17,9	55,0	61,8	163,8	62,1	71,1	41,3	40,2	11,3	25,5	4,8	26,7	<b>581,5</b>
<b>1981-1982</b>	32,2	29,0	28,9	112,1	131,3	114,7	102,8	57,6	30,7	9,7	3,0	0,0	<b>652,0</b>
<b>1982-1983</b>	7,5	138,3	136,0	74,9	13,4	25,5	54,6	7,0	20,3	0,0	1,5	5,6	<b>484,6</b>
<b>1983-1984</b>	35,5	25,3	84,5	53,8	165,7	190,6	57,0	24,7	16,4	9,7	0,0	0,0	<b>663,2</b>
<b>1984-1985</b>	52,7	150,3	23,7	427,8	118,1	70,4	137,9	39,2	32,0	15,1	0,0	0,0	<b>1067,2</b>
<b>1985-1986</b>	28,1	19,6	46,0	48,3	134,0	49,6	76,5	39,5	9,2	7,5	6,5	0,0	<b>464,8</b>
<b>1986-1987</b>	32,7	102,2	147,3	147,7	62,3	143,7	69,9	44,9	60,9	10,0	4,3	0,0	<b>825,9</b>
<b>1987-1988</b>	17,2	40,5	75,8	22,1	64,9	51,6	37,9	23,8	22,9	31,6	9,6	0,0	<b>397,9</b>
<b>1988-1989</b>	35,9	1,5	55,4	160,6	36,0	50,5	46,1	54,3	1,0	9,1	2,1	4,3	<b>456,8</b>
<b>1989-1990</b>	24,0	58,2	49,4	69,6	153,3	1,6	25,6	52,4	30,8	13,4	3,0	15,6	<b>496,9</b>
<b>1990-1991</b>	0,0	32,5	90,5	147,6	69,3	73,8	102,4	45,4	16,2	13,6	0,0	2,0	<b>593,3</b>
<b>1991-1992</b>	53,0	115,5	34,6	18,1	59,6	62,9	135,0	103,8	67,5	19,4	15,0	0,0	<b>684,4</b>
<b>1992-1993</b>	2,2	45,7	51,2	175,3	106,9	37,1	46,8	21,4	54,4	0,0	0,0	1,6	<b>542,6</b>
<b>1993-1994</b>	17,0	36,2	24,4	104,1	90,0	68,1	36,0	84,9	9,8	0,0	0,0	0,0	<b>470,5</b>
<b>1994-1995</b>	25,9	76,7	10,0	110,0	222,8	21,5	81,8	34,6	5,3	31,0	0,0	4,6	<b>624,2</b>
<b>1995-1996</b>	79,0	9,4	49,1	50,6	76,5	127,7	40,7	73,4	44,4	11,2	2,1	7,3	<b>571,4</b>
<b>1996-1997</b>	51,2	51,8	34,2	70,3	45,7	13,0	51,0	32,2	9,8	19,4	0,0	18,0	<b>396,6</b>
<b>1997-1998</b>	42,0	94,7	81,5	85,1	27,2	55,6	31,1	37,3	53,6	6,0	0,0	6,3	<b>520,4</b>
<b>1998-1999</b>	29,5	31,6	181,2	39,0	122,7	46,4	54,7	27,2	22,0	8,0	4,6	2,3	<b>569,2</b>
<b>1999-2000</b>	10,3	24,7	60,0	131,4	24,4	31,7	22,2	17,6	92,7	6,7	0,0	9,8	<b>431,5</b>
<b>2000-2001</b>	0,9	28,4	37,8	60,6	127,1	82,6	8,2	31,6	22,6	0,0	0,0	0,9	<b>400,7</b>
<b>2001-2002</b>	69,9	6,4	53,6	59,5	28,8	95,7	16,6	31,1	11,2	1,6	40,2	26,1	<b>440,7</b>
<b>2002-2003</b>	14,5	43,9	196,1	128,9	227,8	96,2	22,8	116,7	21,9	0,0	0,0	0,0	<b>868,8</b>
<b>2003-2004</b>	67,7	42,6	19,1	230,9	85,1	16,8	57,8	78,3	65,1	28,3	0,5	3,1	<b>695,3</b>
<b>2004-2005</b>	34,6	32,1	233,9	149,7	111,9	107,1	36,9	105,7	3,9	7,9	0,1	11,6	<b>835,4</b>
<b>2005-2006</b>	18,5	25,9	70,3	116,4	116,8	91,4	39,2	8,2	14,3	0,3	0,0	7,5	<b>508,8</b>
<b>2006-2007</b>	29,5	99,2	45,5	177,8	23,8	32,1	59,0	50,5	11,8	14,7	0,4	1,0	<b>545,3</b>
<b>2007-2008</b>	25,7	75,9	69,1	134,7	8,8	22,8	124,9	2,5	40,8	6,5	6,7	0,0	<b>518,4</b>
<b>2008-2009</b>	36,8	28,0	52,7	47,5	167,9	51,3	54,6	105,6	65,0	0,0	0,1	2,5	<b>612,0</b>

### A.3- Précipitations mensuelles et annuelles à la station de El Harrouch (mm)

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Total
<b>1970-1971</b>	0,9	66,1	4,2	46,1	122,5	111,8	108,9	21,0	46,5	4,8	6,8	92,0	<b>631,6</b>
<b>1971-1972</b>	82,4	59,3	51,0	23,9	133,3	63,0	85,4	16,4	57,3	6,1	0,6	13,0	<b>591,7</b>
<b>1972-1973</b>	31,6	65,8	0,0	89,5	167,4	109,2	119,7	26,2	0,0	4,1	0,0	0,0	<b>613,5</b>
<b>1973-1974</b>	43,7	68,0	29,8	69,5	0,8	60,2	44,8	59,6	28,3	0,0	3,6	0,0	<b>408,3</b>
<b>1974-1975</b>	29,7	71,2	46,1	32,7	12,5	27,8	69,7	13,3	46,3	0,0	0,0	0,0	<b>349,3</b>
<b>19975-1976</b>	19,2	22,6	107,4	47,8	48,2	87,9	88,4	42,3	35,5	8,3	33,7	11,7	<b>553,0</b>
<b>1976-1977</b>	57,2	82,0	79,1	19,7	55,9	15,5	14,2	61,5	60,2	26,6	0,0	19,6	<b>491,5</b>
<b>1977-1978</b>	5,1	0,0	109,7	7,2	101,3	89,9	41,7	61,2	69,7	0,4	0,0	30,8	<b>517,0</b>
<b>1978-1979</b>	7,2	26,6	105,9	19,4	61,3	111,9	77,5	155,0	5,5	38,4	4,2	0,6	<b>613,5</b>
<b>1979-1980</b>	48,9	51,2	54,2	48,7	46,7	46,5	61,8	57,8	52,4	0,6	1,7	3,0	<b>473,5</b>
<b>1980-1981</b>	19,3	19,9	36,7	139,1	65,8	68,9	57,7	21,1	11,6	35,0	0,0	21,4	<b>496,5</b>
<b>1981-1982</b>	11,5	22,2	34,7	95,8	83,8	75,5	128,0	57,6	23,4	7,3	0,0	0,0	<b>539,8</b>
<b>1982-1983</b>	9,8	158,9	198,4	101,2	10,4	27,2	25,7	7,3	14,1	2,4	0,0	1,2	<b>556,6</b>
<b>1983-1984</b>	28,3	36,0	88,2	42,2	112,3	118,3	17,7	19,2	4,5	8,3	0,0	8,3	<b>483,3</b>
<b>1984-1985</b>	36,5	133,8	16,3	379,6	85,2	46,9	159,8	35,2	36,8	2,1	0,0	0,0	<b>932,2</b>
<b>1985-1986</b>	55,8	24,6	26,9	30,8	108,4	39,8	98,0	37,0	8,6	11,6	5,2	0,4	<b>447,1</b>
<b>1986-1987</b>	28,2	105,1	135,3	130,4	71,0	152,3	51,8	25,9	79,7	0,0	5,5	0,3	<b>785,5</b>
<b>1987-1988</b>	0,3	29,5	66,3	21,6	62,8	56,0	33,3	19,1	20,1	27,0	7,1	0,0	<b>343,1</b>
<b>1988-1989</b>	98,2	1,3	75,8	215,0	50,1	39,3	33,4	55,5	6,0	18,1	4,6	4,5	<b>601,8</b>
<b>1989-1990</b>	30,6	52,1	45,8	62,0	141,8	1,1	27,7	75,0	39,0	21,1	3,1	3,1	<b>502,4</b>
<b>1990-1991</b>	0,0	19,1	92,4	148,3	43,3	79,3	130,3	65,9	48,8	26,6	0,0	4,3	<b>658,3</b>
<b>1991-1992</b>	42,7	128,8	28,0	217,0	55,2	71,1	136,3	86,7	81,6	14,3	8,7	0,0	<b>870,4</b>
<b>1992-1993</b>	44,4	43,4	74,1	231,7	78,3	51,7	28,3	17,8	11,0	10,2	0,0	1,2	<b>592,1</b>
<b>1993-1994</b>	12,8	49,9	20,7	101,3	61,0	59,8	16,1	87,9	9,0	25,0	0,0	0,0	<b>443,5</b>
<b>1994-1995</b>	28,1	88,5	20,1	114,1	254,2	25,4	112,6	36,8	5,8	38,3	0,0	2,7	<b>726,6</b>
<b>1995-1996</b>	76,0	29,6	59,8	28,6	102,8	227,0	46,6	78,2	46,2	17,1	1,5	2,7	<b>716,1</b>
<b>1996-1997</b>	39,6	35,1	34,7	76,0	68,7	28,8	42,7	52,2	20,4	10,6	0,0	26,7	<b>435,5</b>
<b>1997-1998</b>	53,4	8,9	92,8	124,1	27,2	74,4	49,5	67,8	80,7	3,3	0,0	8,0	<b>590,1</b>
<b>1998-1999</b>	69,4	50,1	184,2	45,0	70,7	38,0	37,2	17,9	8,3	8,8	5,9	5,3	<b>540,8</b>
<b>1999-2000</b>	14,7	14,8	65,6	146,9	24,3	23,8	23,5	17,6	100,7	6,5	0,0	12,7	<b>451,1</b>
<b>2000-2001</b>	1,9	53,3	29,7	50,3	144,5	55,9	18,4	57,9	33,1	0,0	0,0	0,3	<b>445,3</b>
<b>2001-2002</b>	65,4	4,9	75,3	31,5	31,4	89,4	17,9	52,6	8,4	2,7	25,9	29,6	<b>435,0</b>
<b>2002-2003</b>	14,3	59,0	162,8	103,1	237,8	81,7	30,4	117,3	19,5	0,2	0,0	0,0	<b>826,1</b>
<b>2003-2004</b>	80,0	34,8	21,6	162,4	70,8	15,1	54,9	84,5	77,9	37,7	0,0	7,5	<b>647,2</b>
<b>2004-2005</b>	34,6	44,2	219,2	155,9	89,9	126,9	43,8	105,5	0,0	0,0	1,6	2,3	<b>823,9</b>
<b>2005-2006</b>	11,9	15,4	26,4	112,1	117,0	85,9	39,4	5,2	48,0	2,6	0,0	2,9	<b>466,8</b>
<b>2006-2007</b>	35,9	39,1	25,7	169,9	21,3	48,5	182,8	56,5	9,3	22,4	0,6	3,4	<b>615,4</b>
<b>2007-2008</b>	31,4	61,0	55,4	128,4	8,8	30,8	117,8	17,0	57,1	11,5	4,3	1,7	<b>525,2</b>
<b>2008-2009</b>	60,2	21,0	53,4	45,7	192,0	57,3	51,9	107,5	66,6	0,0	3,3	2,5	<b>661,4</b>

#### A.4- Précipitations mensuelles et annuelles à la station des Zardézas (mm)

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	Total
<b>1970-1971</b>	0,2	58,8	1,6	58,3	129,2	78,9	117,6	44,9	43,1	2,7	5,1	16,4	<b>556,8</b>
<b>1971-1972</b>	54,6	161,4	52,2	42,7	162,6	70,5	111,3	113,4	50,3	12,3	0,4	15,3	<b>847,0</b>
<b>1972-1973</b>	62,9	50,4	7,7	143,8	250,5	108,3	135,6	32,2	2,4	32,1	0,0	16,8	<b>842,7</b>
<b>1973-1974</b>	58,5	72,3	32,6	58,5	21,9	61,5	66,0	67,6	27,5	0,3	13,4	2,0	<b>482,1</b>
<b>1974-1975</b>	23,4	91,7	55,0	45,3	28,0	120,8	80,1	18,4	77,6	1,6	0,0	15,9	<b>557,8</b>
<b>1975-1976</b>	8,6	14,8	97,1	41,6	79,6	102,7	78,1	63,2	37,6	13,6	32,6	18,6	<b>588,1</b>
<b>1976-1977</b>	59,0	124,0	133,9	25,1	52,5	14,4	40,7	85,8	54,9	21,9	0,0	13,8	<b>626,0</b>
<b>1977-1978</b>	2,6	14,4	87,5	7,8	103,5	77,1	59,5	68,3	39,1	11,1	0,5	17,8	<b>489,2</b>
<b>1978-1979</b>	4,5	35,4	98,2	25,7	75,8	119,9	99,8	174,3	19,0	36,5	7,1	1,7	<b>697,9</b>
<b>1979-1980</b>	58,7	44,5	62,9	50,1	57,8	53,1	80,0	56,9	56,7	3,5	0,0	3,5	<b>527,7</b>
<b>1980-1981</b>	124,6	41,3	83,8	161,7	95,1	68,3	59,5	25,9	23,0	33,9	0,0	31,4	<b>748,5</b>
<b>1981-1982</b>	12,9	26,5	41,4	93,6	116,7	98,0	126,5	65,5	43,6	16,5	0,4	4,5	<b>646,1</b>
<b>1982-1983</b>	25,0	138,8	194,5	106,5	14,4	17,9	68,7	12,8	25,1	9,7	0,9	5,1	<b>619,4</b>
<b>1983-1984</b>	23,2	52,5	101,1	49,7	172,5	271,7	45,5	51,9	14,1	12,9	0,0	0,3	<b>795,4</b>
<b>1984-1985</b>	42,3	137,3	17,5	452,5	99,5	46,5	159,0	38,5	46,3	0,0	0,0	0,0	<b>1039,4</b>
<b>1985-1986</b>	25,0	32,5	28,5	46,0	118,5	42,0	97,5	35,0	8,5	18,0	14,0	3,0	<b>468,5</b>
<b>1986-1987</b>	23,0	110,0	140,0	121,0	58,5	164,5	56,5	39,0	70,7	1,0	14,3	0,5	<b>799,0</b>
<b>1987-1988</b>	7,0	23,1	69,2	27,3	77,9	69,5	37,7	24,2	42,2	38,0	5,6	0,1	<b>421,8</b>
<b>1988-1989</b>	44,2	1,5	71,4	204,8	56,3	51,8	35,6	57,9	3,7	12,4	2,8	19,7	<b>562,1</b>
<b>1989-1990</b>	43,1	73,6	33,7	56,9	148,2	0,3	75,1	61,6	55,9	20,5	6,4	1,7	<b>577,0</b>
<b>1990-1991</b>	1,0	18,5	125,4	169,5	59,7	104,7	126,2	66,1	48,4	5,3	5,2	6,6	<b>736,6</b>
<b>1991-1992</b>	25,1	127,3	29,6	19,7	66,1	67,6	123,5	152,2	110,2	18,1	16,4	0,0	<b>755,8</b>
<b>1992-1993</b>	1,7	21,5	85,1	292,7	111,0	51,4	19,0	29,9	71,1	8,5	0,0	2,6	<b>694,5</b>
<b>1993-1994</b>	27,1	42,8	20,1	196,6	63,3	62,8	8,7	98,2	9,7	0,0	0,0	0,0	<b>529,3</b>
<b>1994-1995</b>	15,7	66,1	10,5	97,7	225,3	18,1	106,6	23,5	3,0	40,3	0,4	3,4	<b>610,6</b>
<b>1995-1996</b>	59,9	21,4	37,2	50,1	106,6	191,5	58,0	71,7	50,2	10,5	1,2	6,3	<b>664,6</b>
<b>1996-1997</b>	34,3	36,3	30,0	82,2	45,8	22,7	38,8	44,5	12,4	29,1	0,8	5,3	<b>382,2</b>
<b>1997-1998</b>	47,9	53,7	90,8	130,9	21,0	92,8	44,6	54,3	51,9	5,0	0,0	14,9	<b>607,8</b>
<b>1998-1999</b>	76,1	39,5	171,4	62,5	115,6	70,6	39,9	31,0	37,0	17,2	6,4	0,2	<b>667,4</b>
<b>1999-2000</b>	6,0	32,2	56,1	145,4	40,5	25,4	30,7	21,8	83,2	5,1	0,0	6,4	<b>452,8</b>
<b>2000-2001</b>	2,2	46,8	31,8	32,7	112,1	74,1	9,9	52,6	28,1	0,0	0,0	1,1	<b>391,4</b>
<b>2001-2002</b>	35,2	8,2	80,9	36,2	35,1	91,2	24,6	57,9	8,4	2,3	24,6	23,4	<b>428,0</b>
<b>2002-2003</b>	20,1	24,3	136,1	118,0	199,0	115,9	31,3	129,4	30,1	0,0	0,5	0,0	<b>804,7</b>
<b>2003-2004</b>	86,5	34,0	27,7	115,3	135,3	24,6	52,2	68,6	100,8	47,3	0,0	1,7	<b>694,0</b>
<b>2004-2005</b>	41,7	19,8	249,7	190,1	91,1	137,6	65,5	124,2	3,8	0,2	3,6	4,5	<b>931,8</b>
<b>2005-2006</b>	17,9	22,0	25,0	245,6	136,9	124,1	37,8	14,4	30,8	3,7	1,0	4,2	<b>663,4</b>
<b>2006-2007</b>	29,0	44,7	36,3	148,2	22,8	44,8	150,3	60,5	12,9	30,8	4,5	6,7	<b>591,5</b>
<b>2007-2008</b>	36,4	53,1	207,8	208,0	94,8	36,5	99,3	60,9	58,1	14,1	4,5	7,2	<b>880,7</b>

### A.5- Bilan évaporométrique de Thornthwaite (mm) à la station de Skikda

Période	T <sub>p</sub>	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	23,4	10,3	1,03	107,6	37,9	-69,7	-0,6	0,0	0,0	37,9	69,7	0,0
O	20,4	8,4	0,97	78,3	69,4	-8,9	-0,1	0,0	0,0	69,4	8,9	0,0
N	16,2	5,9	0,86	45,0	97,9	52,9	1,2	52,9	52,9	45,0	0,0	0,0
D	13,5	4,5	0,81	30,1	130,3	100,2	3,3	67,1	120,0	30,1	0,0	33,1
J	12,3	3,9	0,87	27,1	107,8	80,7	3,0	0,0	120,0	27,1	0,0	80,7
F	12,4	4,0	0,85	26,9	93,4	66,5	2,5	0,0	120,0	26,9	0,0	66,5
M	13,7	4,6	1,03	39,3	74,3	35,0	0,9	0,0	120,0	39,3	0,0	35,0
A	15,3	5,4	1,10	51,7	61	9,3	0,2	0,0	120,0	51,7	0,0	9,3
M	18,4	7,2	1,21	80,5	35,5	-45,0	-0,6	-45,0	75,0	80,5	0,0	0,0
J	21,7	9,2	1,22	110,6	14,4	-96,2	-0,9	-75,0	0,0	89,4	21,2	0,0
J	24,5	11,1	1,24	141,3	2,6	-138,7	-1,0	0,0	0,0	2,6	138,7	0,0
A	25,3	11,6	1,16	140,4	10,1	-130,3	-0,9	0,0	0,0	10,1	130,3	0,0
<b>Annuel</b>	<b>18,1</b>	<b>86,2</b>		<b>878,9</b>	<b>734,6</b>	<b>-144,3</b>				<b>510,1</b>	<b>368,7</b>	<b>224,5</b>

### A.6- Bilan évaporométrique de Thornthwaite (mm) à la station de Ramdane Djamel

Période	T <sub>p</sub>	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	23,4	10,3	1,03	107,6	29,9	-77,7	-0,7	0,0	0,0	29,9	77,7	0,0
O	20,4	8,4	0,97	78,3	58,3	-20,0	-0,3	0,0	0,0	58,3	20,0	0,0
N	16,2	5,9	0,86	45,0	69,2	24,2	0,5	24,2	24,2	45,0	0,0	0,0
D	13,5	4,5	0,81	30,1	98,6	68,5	2,3	68,5	92,7	30,1	0,0	0,0
J	12,3	3,9	0,87	27,1	87,9	60,8	2,2	27,3	120,0	27,1	0,0	33,4
F	12,4	4,0	0,85	26,9	67,8	40,9	1,5	0,0	120,0	26,9	0,0	40,9
M	13,7	4,6	1,03	39,3	60,6	21,3	0,5	0,0	120,0	39,3	0,0	21,3
A	15,3	5,4	1,10	51,7	51,5	-0,2	0,0	-0,2	119,8	51,7	0,0	0,0
M	18,4	7,2	1,21	80,5	32,1	-48,4	-0,6	-48,4	71,4	80,5	0,0	0,0
J	21,7	9,2	1,22	110,6	11,9	-98,7	-0,9	-71,4	0,0	83,3	27,3	0,0
J	24,5	11,1	1,24	141,3	3,7	-137,6	-1,0	0,0	0,0	3,7	137,6	0,0
A	25,3	11,6	1,16	140,4	5,3	-135,1	-1,0	0,0	0,0	5,3	135,1	0,0
<b>Annuel</b>	<b>18,1</b>	<b>86,2</b>		<b>878,9</b>	<b>576,8</b>	<b>-302,1</b>				<b>481,2</b>	<b>397,7</b>	<b>95,6</b>

### A.7- Bilan évaporométrique de Thornthwaite (mm) à la station de El Harrouch

Période	T <sub>p</sub>	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	24,9	11,4	1,03	114,3	34,9	-79,4	-0,7	0,0	0,0	34,9	79,4	0,0
O	22,4	9,7	0,97	86,7	48,6	-38,1	-0,4	0,0	0,0	48,6	38,1	0,0
N	15,6	5,6	0,86	36,7	68	31,3	0,9	31,3	31,3	36,7	0,0	0,0
D	12	3,8	0,81	20,2	97,8	77,6	3,8	77,6	108,9	20,2	0,0	0,0
J	11,3	3,4	0,87	19,2	83,1	63,9	3,3	11,1	120,0	19,2	0,0	52,9
F	11,7	3,6	0,85	20,1	67,2	47,1	2,3	0,0	120,0	20,1	0,0	47,1
M	14,6	5,1	1,03	38,3	64,8	26,5	0,7	0,0	120,0	38,3	0,0	26,5
A	16,7	6,2	1,10	53,9	51,3	-2,6	0,0	-2,6	117,4	53,9	0,0	0,0
M	20,9	8,7	1,21	93,9	35,3	-58,6	-0,6	-58,6	58,8	93,9	0,0	0,0
J	25,5	11,8	1,22	142,2	11,8	-130,4	-0,9	-58,8	0,0	70,6	71,5	0,0
J	27,5	13,2	1,24	168,6	3,3	-165,3	-1,0	0,0	0,0	3,3	165,3	0,0
A	28,8	14,2	1,16	173,4	8,3	-165,1	-1,0	0,0	0,0	8,3	165,1	0,0
<b>Annuel</b>	<b>19,3</b>	<b>96,6</b>		<b>967,4</b>	<b>574,4</b>	<b>-393,0</b>				<b>448,0</b>	<b>519,4</b>	<b>126,4</b>

### A.8- Bilan évaporométrique de Thornthwaite (mm) à la station des Zardézas

Période	T <sub>p</sub>	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	24,9	11,4	1,03	114,3	29,9	-84,4	-0,7	0,0	0,0	29,9	84,4	0,0
O	22,4	9,7	0,97	86,7	58,3	-28,4	-0,3	0,0	0,0	58,3	28,4	0,0
N	15,6	5,6	0,86	36,7	69,2	32,5	0,9	32,5	32,5	36,7	0,0	0,0
D	12	3,8	0,81	20,2	98,6	78,4	3,9	78,4	110,9	20,2	0,0	0,0
J	11,3	3,4	0,87	19,2	87,9	68,7	3,6	9,1	120,0	19,2	0,0	59,7
F	11,7	3,6	0,85	20,1	67,8	47,7	2,4	0,0	120,0	20,1	0,0	47,7
M	14,6	5,1	1,03	38,3	60,6	22,3	0,6	0,0	120,0	38,3	0,0	22,3
A	16,7	6,2	1,10	53,9	51,5	-2,4	0,0	-2,4	117,6	53,9	0,0	0,0
M	20,9	8,7	1,21	93,9	32,1	-61,8	-0,7	-61,8	55,8	93,9	0,0	0,0
J	25,5	11,8	1,22	142,2	11,9	-130,3	-0,9	-55,8	0,0	67,7	74,4	0,0
J	27,5	13,2	1,24	168,6	3,7	-164,9	-1,0	0,0	0,0	3,7	164,9	0,0
A	28,8	14,2	1,16	173,4	5,3	-168,1	-1,0	0,0	0,0	5,3	168,1	0,0
<b>Annuel</b>	<b>19,3</b>	<b>96,6</b>		<b>967,4</b>	<b>576,8</b>	<b>-390,6</b>				<b>447,2</b>	<b>520,2</b>	<b>129,6</b>

### A.9- Débits mensuels et annuels de l'oued Saf-Saf à Khémakhem (m<sup>3</sup>/s)

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	Annuel
<b>1973 - 1974</b>	0,14	0,27			0,09	0,40		0,64	0,14	0,02	0,01	0,01	
<b>1974 - 1975</b>	0,02	0,02	0,05	0,06	0,03	1,93	0,55	0,21	0,25	0,05	0,01	0,00	<b>0,27</b>
<b>1975 - 1976</b>	0,00	0,00	0,02	0,04	0,26	3,24	4,55	0,69	0,41	0,10	0,02	0,01	<b>0,78</b>
<b>1976 - 1977</b>	0,03	0,36	2,90	0,74	1,14	0,41	0,19	0,34	0,23	0,06	0,01	0,00	<b>0,53</b>
<b>1977 - 1978</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,56	2,64	0,40	1,19	0,19	0,05	0,00	0,00	<b>0,42</b>
<b>1978 - 1979</b>	0,00	0,00	0,03	0,06	0,15	1,36	1,83	6,18	7,58	4,84	0,33	0,00	<b>1,86</b>
<b>1979 - 1980</b>	0,05	0,05	0,12	0,09	0,39	0,35	1,63	0,41	0,19	0,04	0,00	0,00	<b>0,28</b>
<b>1980 - 1981</b>	0,02	0,03	0,00	0,89	1,08	0,75	0,28	0,57	0,20	0,02	0,01	0,01	<b>0,32</b>
<b>1981 - 1982</b>	0,00	0,00	0,01	0,03	0,47	2,34	3,92	0,71	0,65	0,05	0,00	0,00	<b>0,68</b>
<b>1982 - 1983</b>	0,03	0,22	2,91	4,31	1,67	0,43	1,01	0,25	0,12	0,03	0,00	0,00	<b>0,91</b>
<b>1983 - 1984</b>	0,00	0,01	0,29	0,13	3,18	14,11	0,85	1,64	0,16	0,04	0,03	0,01	<b>1,70</b>
<b>1984 - 1985</b>	0,05	0,18	0,05	19,18	10,21	3,20	14,67	1,00	0,56	0,07	0,05	0,03	<b>4,10</b>
<b>1985 - 1986</b>	0,03	0,08	0,03	0,04	0,41	0,49	1,36	0,26	0,14	0,09	0,05	0,04	<b>0,25</b>
<b>1986 - 1987</b>	0,01	0,25	0,98	3,02	3,52	10,08	2,67	3,60	0,54	0,16	0,07	0,04	<b>2,08</b>
<b>1987 - 1988</b>	0,00	0,01	0,12	0,07	0,28	0,39	1,02	0,13	0,10	0,08	0,02	0,01	<b>0,19</b>
<b>1988 - 1989</b>	0,07	0,01	0,01	2,80	1,26	1,39	0,79	0,37	0,14	0,00	0,00	0,00	<b>0,57</b>
<b>1989 - 1990</b>	0,00	0,04	0,02	0,07	1,51	0,18	0,13	0,08	0,11	0,01	0,01	0,09	<b>0,19</b>
<b>1990 - 1991</b>	0,00	0,00	1,10	3,83	1,66	4,28	5,28	2,83	0,42	0,22	0,04	0,01	<b>1,64</b>
<b>1991 - 1992</b>	0,02	0,19	0,07	0,05	0,28	1,24	1,67	4,18	2,29	0,30	0,12	0,04	<b>0,87</b>
<b>1992 - 1993</b>	0,02	0,01	0,61	6,50	11,72	1,21	1,60	0,20	0,32	0,03	0,01	0,00	<b>1,85</b>
<b>1993 - 1994</b>	0,00	0,00	0,00	1,18	1,79	5,39	0,64	0,89	0,16	0,04	0,01	0,00	<b>0,84</b>
<b>1994 - 1995</b>	0,00	0,55	0,02	0,42	10,22	0,21	4,18	0,55	0,09	0,02	0,01	0,00	<b>1,36</b>
<b>1995 - 1996</b>	0,01	1,38	0,07	0,09	0,67	8,80	3,73	1,40	1,55	0,08	0,03	0,01	<b>1,49</b>
<b>1996 - 1997</b>	0,01	0,02	0,01	0,10	0,10	0,06	0,11	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	<b>0,04</b>
<b>1997 - 1998</b>	0,27	0,27	0,49	4,71	1,02	2,10	0,74	0,55	0,90	0,05	0,02	0,00	<b>0,93</b>
<b>1998 - 1999</b>	0,01	0,02	3,74	1,75	4,15	12,40	1,46	0,67	0,16	0,05	0,01	0,00	<b>2,04</b>
<b>1999 - 2000</b>	0,00	0,00	0,01	3,96	0,70	0,16	0,10	0,07	0,51	0,05	0,02	0,00	<b>0,47</b>
<b>2000 - 2001</b>	0,00	0,04	0,01	0,01	2,69	4,90	0,16	0,16	0,12	0,04	0,00	0,00	<b>0,68</b>
<b>2001 - 2002</b>	0,00	0,00	0,23	0,07	0,09	0,62	0,04	0,49	0,01	0,00	0,00	0,17	<b>0,14</b>

**A.10- Débits extrêmes de l'oued Saf-Saf à Khémakhem (m<sup>3</sup>/s)**

<b>Année</b>	<b>Q<sub>max</sub></b>	<b>Q<sub>jmax</sub></b>	<b>Année</b>	<b>Q<sub>max</sub></b>	<b>Q<sub>jmax</sub></b>	<b>Année</b>	<b>Q<sub>max</sub></b>	<b>Q<sub>jmax</sub></b>
<b>1968/69</b>	24,730		<b>1979/80</b>	27,500	40,32	<b>1990/91</b>	120,100	47,79
<b>1969/70</b>	452,6		<b>1980/81</b>	17,500	9,87	<b>1991/92</b>	75,000	23,31
<b>1970/72</b>	102,2		<b>1981/82</b>	23,980	16,5	<b>1992/93</b>	284,600	114,8
<b>1971/72</b>	76,1		<b>1982/83</b>	82,770	40	<b>1993/94</b>	103,200	56,48
<b>1972/73</b>	216,3		<b>1983/84</b>	745,000	280,5	<b>1994/95</b>	284,000	136,4
<b>1973/74</b>	16,4		<b>1984/85</b>	558,000	559,4	<b>1995/96</b>	188,600	57,9
<b>1974/75</b>	78,020	25,6	<b>1985/86</b>	12,170	4,945	<b>1996/97</b>	5,480	2,012
<b>1975/76</b>	52,880	25,8	<b>1986/87</b>	123,600	74,69	<b>1997/98</b>	127,000	34,01
<b>1976/77</b>	54,380	51,9	<b>1987/88</b>	10,300	6,436	<b>1998/99</b>	136,300	53,11
<b>1977/78</b>	9,716	8,75	<b>1988/89</b>	127,000	38,07			
<b>1978/79</b>	68,350	76,8	<b>1989/90</b>	38,250	11,92			

**A.11- Caractéristiques des crues simples de l'oued Saf-Saf à Khémakhem**

Mois	Date	Qp (m <sup>3</sup> /s)	Tp (h)	V (Hm <sup>3</sup> )	V <sub>25%</sub>	V <sub>50%</sub>	V <sub>75%</sub>	t <sub>b</sub> (h)	t <sub>p</sub> /T	V <sub>tp</sub>	L <sub>e</sub> (mm)
<b>OCT</b>	16/10/1994	13,6	2	0,26	40	75,5	94	15	0,13	0,14	0,8
	01/10/1994	25,6	5	0,39	62	91,5	98,5	25	0,02	0,41	1,2
	07/10/1994	5,92	6	0,19	19	68,5	94,3	21	0,29	0,27	0,6
	13/10/1984	9,49	6	0,15	12	73,5	98	15	0,40	0,49	0,5
	13/10/1994	10,7	6	0,27	15	68	93,5	20	0,30	0,25	0,8
	15/10/1984	18,3	2	0,13	24,5	81,6	95,5	8	0,25	0,25	0,4
	07/10/1995	188	2	3,07	49	87	98	15	0,13	0,16	9,5
	<b>moyenne</b>	<b>38,8</b>	<b>4,1</b>	<b>0,6</b>	<b>31,64</b>	<b>77,94</b>	<b>96,38</b>	<b>17,0</b>	<b>0,22</b>	<b>0,28</b>	<b>2,0</b>
<b>NOV</b>	15/11/1990	91,1	5	1,74	27	68,2	89	10	0,50	0,68	5,4
	05/11/1987	6,88	4	0,13	28	84,6	97,2	16	0,25	0,28	0,4
	04/11/1992	22,1	10	0,78	9,9	31,5	77	20	0,50	0,31	2,4
	<b>moyenne</b>	<b>40,0</b>	<b>6,3</b>	<b>0,9</b>	<b>21,63</b>	<b>61,43</b>	<b>87,73</b>	<b>15,3</b>	<b>0,42</b>	<b>0,43</b>	<b>2,7</b>
<b>DEC</b>	23/12/1990	113	6	5,15	34	78,5	90,5	32	0,19	0,18	16,0
	29/12/1993	284	8	10,78	22	75,2	92	28	0,29	0,30	33,5
	02/12/1993	98,8	4	2,35	41,5	80	94,5	19	0,21	0,31	7,3
	28/12/1984	558	16	47,73	23	71,5	94	49	0,33	0,37	148,2
	22/12/1984	32,1	17	1,15	5	29,7	78	30	0,57	0,46	3,6
	27/12/1996	21,2	4	0,54	23	54,7	80	10	0,40	0,42	1,7
	26/12/1993	8,24	2	0,07	30	75	92	9	0,22	0,22	0,2
	23/12/1994	23	10	0,61	7,3	73,5	96	28	0,36	0,38	1,9
	<b>moyenne</b>	<b>142,3</b>	<b>8,4</b>	<b>8,5</b>	<b>23,23</b>	<b>67,26</b>	<b>89,63</b>	<b>25,6</b>	<b>0,32</b>	<b>0,33</b>	<b>26,5</b>
<b>JANV</b>	08/01/1988	3,13	8	0,11	14	59	90,5	18	0,44	0,48	0,3
	08/01/1994	30,8	14	1,04	2,9	51,8	84	32	0,44	0,36	3,2
	09/01/1990	4,6	2	0,06	28,5	77,8	95,3	8	0,25	0,29	0,2
	<b>moyenne</b>	<b>12,8</b>	<b>8,0</b>	<b>0,4</b>	<b>15,13</b>	<b>62,87</b>	<b>89,93</b>	<b>19,3</b>	<b>0,38</b>	<b>0,37</b>	<b>1,3</b>
<b>FEVR</b>	17/02/1994	103	7	7,12	46	74	89	56	0,13	0,17	22,1
	21/02/1991	41,5	6	1,06	18,7	63,6	85,3	16	0,38	0,43	3,3
	21/02/1992	68,1	14	2,37	2	24,8	83	28	0,50	0,25	7,4
	<b>moyenne</b>	<b>70,9</b>	<b>9,0</b>	<b>3,5</b>	<b>22,23</b>	<b>54,13</b>	<b>85,77</b>	<b>33,3</b>	<b>0,33</b>	<b>0,28</b>	<b>10,9</b>
<b>MARS</b>	10/03/1987	33,6	5	0,31	13	32,6	84,1	8	0,63	0,59	1,0
	15/03/1991	48	21	1,7	3	18,2	61,5	28	0,75	0,62	5,3
	31/03/1991	51	10	3	28	57,4	80	40	0,25	0,28	9,3
	02/03/1995	24	6	0,65	22	68,5	90	16	0,38	0,47	2,0
	<b>moyenne</b>	<b>39,2</b>	<b>10,5</b>	<b>1,4</b>	<b>16,50</b>	<b>44,18</b>	<b>78,90</b>	<b>23,0</b>	<b>0,50</b>	<b>0,49</b>	<b>4,4</b>
<b>AVR</b>	13/04/1987	115	12	2,51	8	19	59	15	0,80	0,72	7,8
	20/04/1994	23	7	0,58	10	63,5	89	21	0,03	0,25	1,8
	<b>moyenne</b>	<b>69</b>	<b>9,5</b>	<b>1,5</b>	<b>9,0</b>	<b>41,3</b>	<b>74,0</b>	<b>18</b>	<b>0,41</b>	<b>0,48</b>	<b>4,8</b>
<b>MAI</b>	05/05/1985	10,4	18	0,46	22	67	90	26	0,69	0,87	1,4

**A. 12- Fréquence des apports en eau de l'oued Saf-Saf à Zardezas (Hautes Eaux)**

T (Ans)	Nombre de jours consécutifs					
	1j	10j	30j	60j	90j	365j
<b>Loi des valeurs extrêmes de Gumbel (EVI)</b>						
2	5.2	13.866	19.443	26.094	31.676	40.03
5	14.9	31.438	39.938	49.599	61.416	80.79
10	21.3	43	53.423	65.066	80.984	107.608
20	27.5	54.343	66.652	80.239	100.181	133.919
25	29.51	57.925	70.83	85.031	106.244	142.228
50	35.4	68.671	83.364	99.405	124.431	167.154
100	41.5	79.616	96.129	114.046	142.955	192.542
<b>Loi Log-Pearson III</b>						
2	3.28	10	16	22	26	32
5	9	24	34	47	57	71
10	16	38	51	67	83	106
20	26	56	71	90	111	147
25	30	63	80	95	120	161
50	46	87	104	123	153	210
100	67.5	117	133	150	189	266
<b>Loi de Pearson III ou Loi Gamma</b>						
2	2.83	10	16	23	28	33.8
5	13.43	28	37	48	59	76.2
10	27.1	42	53	66	82	108
20	28.6	57	69	83	104	140
25	32	63	75	89	111	150
50	41.5	77	91	106	133	181
100	52	92	107	123	155	212
<b>Loi Normale</b>						
2	7.0	17	23.25	30	37	47.6
5	16.84	34	43.0	53	65	86.44
10	21.1	43	53	65	80	106.75
20	25.1	50	61.4	74	92	123.5
25	26.2	52	64	77	96	128.4
50	30	58	71	85	106	142.4
100	32.5	63	77	92	115	155.0
<b>Loi de Galton</b>						
2	3.5	11	16	21	25	31.7
5	16.24	25	34	46	56	71
10	21.1	38	51	69	85	108
20	25.1	56	71	97	120	153
25	26.2	62	79	107	133	169
50	30	84	104	142	177	226
100	32.5	112	134	183	229	293

### **A.13- Caractéristiques des épisodes pluvieux enregistrés entre le 28 et le 31/12/1984 à la station des Zardézas.**

#### **Identification de l'averse du 28/12/1984**

Année Hydrologique: 1984 / 1985

Poste pluviométrique: ZARDEZAS

Service gestionnaire: ANRH

Date et heure de début de l'averse: 28/12/1984 à 02:45

Date et heure de fin de l'averse: 29/12/1984 à 05:58

Qualité de l'enregistrement: 7

#### **Données de l'averse**

Date	Heure Deb.	Heure Fin	Pluie (mm)
28/12/1984	02:45	03:36	2,00
28/12/1984	03:36	04:01	0,50
28/12/1984	04:01	04:53	0,50
28/12/1984	07:00	07:06	1,00
28/12/1984	07:06	07:24	1,00
28/12/1984	07:30	07:50	2,00
28/12/1984	07:50	08:05	1,00
28/12/1984	08:05	08:32	3,00
28/12/1984	08:32	08:42	0,50
28/12/1984	08:51	09:08	1,00
28/12/1984	09:23	09:36	1,00
28/12/1984	09:36	09:45	0,50
28/12/1984	09:45	10:09	1,50
28/12/1984	10:09	10:36	1,00
28/12/1984	10:36	11:00	0,50
28/12/1984	11:02	11:15	1,50
28/12/1984	11:15	11:28	1,50
28/12/1984	11:28	11:31	0,50
28/12/1984	11:39	12:09	2,00
28/12/1984	12:09	12:24	1,00
28/12/1984	12:24	12:35	1,00
28/12/1984	12:35	12:50	0,50
28/12/1984	12:50	13:40	0,50
28/12/1984	13:40	13:46	2,50

28/12/1984	13:46	14:00	0,50
28/12/1984	14:00	14:20	1,00
28/12/1984	14:20	14:44	1,50
28/12/1984	14:44	14:59	0,50
28/12/1984	14:59	15:07	0,50
28/12/1984	15:07	15:20	1,50
28/12/1984	15:20	15:24	0,50
28/12/1984	15:24	15:36	0,50
28/12/1984	15:36	15:50	0,50
28/12/1984	15:50	17:06	0,50
28/12/1984	17:06	17:45	0,50
28/12/1984	17:45	18:06	0,50
28/12/1984	18:06	18:24	1,00
28/12/1984	18:24	18:38	0,50
28/12/1984	19:06	19:15	1,00
28/12/1984	19:15	19:22	0,50
28/12/1984	19:22	20:52	0,50
28/12/1984	20:52	21:09	1,50
28/12/1984	21:09	21:15	0,50
28/12/1984	21:15	21:30	1,00
28/12/1984	21:30	21:36	0,50
28/12/1984	21:36	21:50	3,00
28/12/1984	21:50	22:00	1,00
28/12/1984	22:00	22:07	0,50
28/12/1984	22:14	22:46	1,50
28/12/1984	22:46	22:55	0,50
28/12/1984	22:55	23:10	0,50
28/12/1984	23:56	24:22	1,00
29/12/1984	00:37	00:40	2,00
29/12/1984	00:40	00:45	0,50
29/12/1984	00:45	00:52	0,50
29/12/1984	00:52	00:59	2,00
29/12/1984	00:59	01:01	0,50
29/12/1984	01:01	01:06	0,50
29/12/1984	01:15	01:36	1,50
29/12/1984	03:55	04:01	2,50
29/12/1984	04:01	05:00	0,50
29/12/1984	05:28	05:58	1,00

---

## Intensités maximales des pluies

Durée totale de l'averse (mn): 1633

Durée de référence maxi (mn) de l'averse (mn): 1440

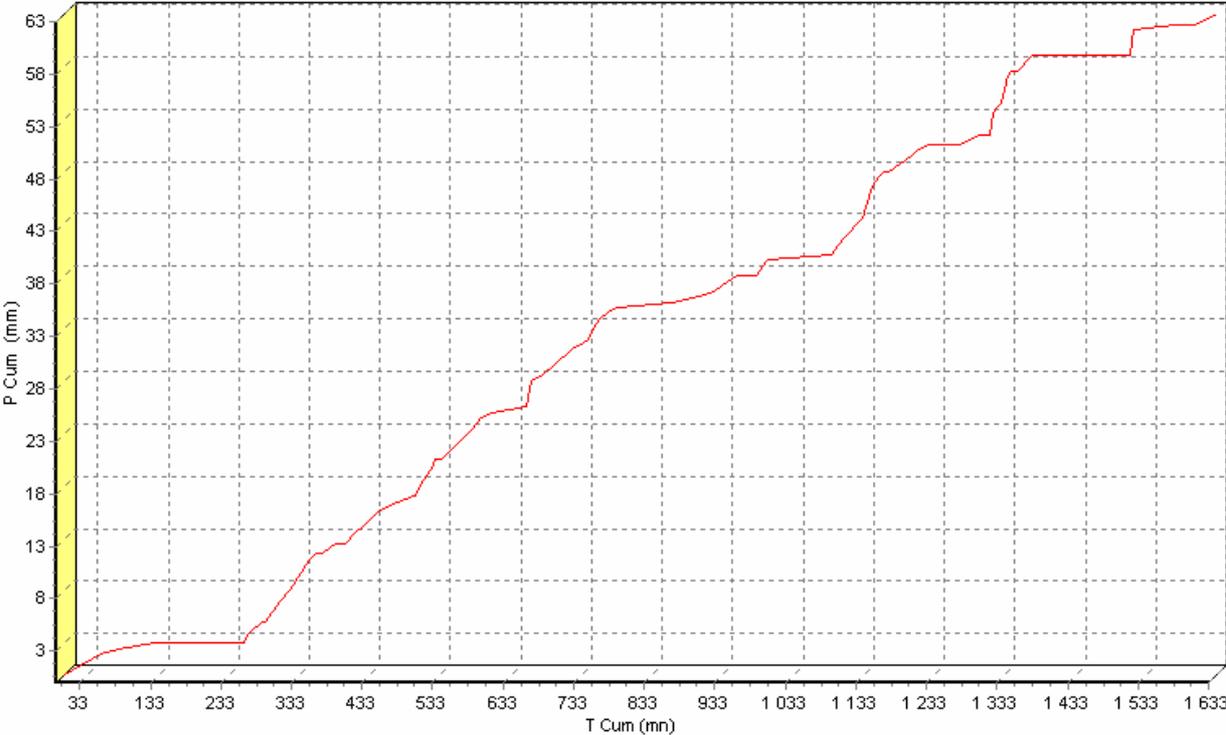
T (mn)	Hmax (mm)	max (mm/h)
5	2.200	26.400
10	2.643	15.857
15	3.100	12.400
20	4.429	13.286
30	6.000	12.000
45	6.500	8.667
60	7.500	7.500
90	8.375	5.583
120	9.833	4.917
180	11.938	3.979
240	16.265	4.066
360	22.100	3.683
540	32.066	3.563
720	35.000	2.917
900	44.500	2.967
1080	53.833	2.991
1440	60.000	2.500

## Hyétogramme de l'averse

Durée de référence (mn): 360

Durée de référence	H (mm)	I (mm/h)
0 - 360	11.50	1.92
360 - 720	19.53	3.26
720 - 1080	8.93	1.49
1080 - 1440	19.04	3.17
1440 - 1633	4.00	0.67

Courbes des pluies cumulées



## Identification de l'averse 29/12/1984

Année Hydrologique: 1984 / 1985

Poste pluviométrique: ZARDEZAS

Service gestionnaire: ANRH

Date et heure de début de l'averse: 29/12/1984 à 11:52

Date et heure de fin de l'averse: 01/01/1985 à 00:05

Qualité de l'enregistrement: 7

## Données de l'averse

Date	Heure Deb.	Heure Fin	Pluie (mm)
29/12/1984	11:52	12:05	1,00
29/12/1984	12:05	12:24	0,50
29/12/1984	12:24	12:40	0,50
29/12/1984	12:40	12:53	1,00
29/12/1984	12:53	13:00	0,50
29/12/1984	13:00	13:14	0,50
29/12/1984	13:14	13:31	1,00
29/12/1984	13:31	13:52	1,50
29/12/1984	13:52	14:01	0,50
29/12/1984	14:08	14:21	1,00
29/12/1984	14:21	14:44	1,00
29/12/1984	14:44	14:53	0,50
29/12/1984	14:55	15:07	2,50
29/12/1984	15:07	15:09	0,50
29/12/1984	15:09	15:15	1,00
29/12/1984	15:15	15:21	1,00
29/12/1984	15:21	15:23	0,50
29/12/1984	15:39	15:54	2,00
29/12/1984	16:00	16:07	1,00
29/12/1984	16:07	16:16	1,00
29/12/1984	16:16	16:31	1,50
29/12/1984	16:31	16:45	2,00
29/12/1984	16:45	16:51	0,50
29/12/1984	16:51	17:00	0,50
29/12/1984	17:00	17:10	0,50
29/12/1984	17:10	17:25	0,50

29/12/1984	17:25	17:34	0,50
29/12/1984	17:37	17:46	2,00
29/12/1984	17:51	18:51	13,00
29/12/1984	18:51	19:09	3,00
29/12/1984	19:09	19:15	0,50
29/12/1984	19:21	19:31	1,00
29/12/1984	19:31	19:41	0,50
29/12/1984	19:45	19:59	3,00
29/12/1984	19:59	20:10	1,00
29/12/1984	20:24	20:35	1,50
29/12/1984	20:40	20:50	1,00
29/12/1984	20:50	20:59	0,50
29/12/1984	20:59	21:10	0,50
29/12/1984	21:10	21:25	0,50
29/12/1984	21:25	21:45	0,50
29/12/1984	21:55	22:16	6,00
29/12/1984	22:16	22:29	1,50
29/12/1984	22:29	22:36	1,00
29/12/1984	22:37	22:54	5,50
29/12/1984	22:54	23:15	3,50
29/12/1984	23:15	23:21	0,50
29/12/1984	23:21	23:29	1,50
29/12/1984	23:33	23:40	3,00
29/12/1984	23:40	23:45	0,50
29/12/1984	23:45	23:53	0,50
30/12/1984	00:11	00:31	1,00
30/12/1984	00:31	00:59	0,50
30/12/1984	01:07	01:09	1,00
30/12/1984	01:09	01:20	1,50
30/12/1984	01:20	01:31	0,50
30/12/1984	01:31	01:37	1,00
30/12/1984	01:37	01:46	1,00
30/12/1984	01:52	02:24	5,00
30/12/1984	02:31	02:36	1,00
30/12/1984	02:36	02:38	0,50
30/12/1984	02:38	02:44	0,50
30/12/1984	02:50	02:59	1,50
30/12/1984	02:59	03:09	1,00

30/12/1984	03:14	03:21	1,50
30/12/1984	03:21	03:30	1,00
30/12/1984	03:30	03:35	0,50
30/12/1984	03:35	03:52	1,50
30/12/1984	03:52	04:00	1,00
30/12/1984	04:07	04:47	6,50
30/12/1984	04:47	05:00	1,00
30/12/1984	05:07	05:20	1,00
30/12/1984	05:20	05:29	0,50
30/12/1984	05:29	05:37	2,00
30/12/1984	05:37	05:43	0,50
30/12/1984	05:47	06:00	1,00
30/12/1984	06:00	06:09	1,00
30/12/1984	06:09	06:21	4,00
30/12/1984	06:21	06:44	4,00
30/12/1984	06:44	06:51	1,50
30/12/1984	06:51	07:00	1,00
30/12/1984	07:13	07:17	1,50
30/12/1984	07:23	07:29	2,00
30/12/1984	07:32	07:43	2,50
30/12/1984	07:45	07:53	4,50
30/12/1984	07:53	07:59	0,50
30/12/1984	08:00	08:01	0,50
30/12/1984	08:01	08:02	1,00
30/12/1984	08:02	08:05	0,50
30/12/1984	08:05	08:10	1,00
30/12/1984	08:15	08:22	3,50
30/12/1984	08:22	08:24	0,50
30/12/1984	08:46	08:51	1,00
30/12/1984	08:59	09:17	1,00
30/12/1984	09:44	09:51	1,50
30/12/1984	09:51	09:57	0,50
30/12/1984	09:57	10:55	0,50
30/12/1984	10:55	12:01	0,50
30/12/1984	12:07	12:10	1,00
30/12/1984	12:10	12:34	0,50
30/12/1984	13:04	13:09	1,00
30/12/1984	13:09	13:21	0,50
30/12/1984	13:21	14:22	0,50

30/12/1984	14:22	14:59	0,50
30/12/1984	15:30	15:43	1,00
30/12/1984	15:43	15:51	1,00
30/12/1984	16:38	16:47	1,00
30/12/1984	17:08	17:10	1,00
30/12/1984	17:10	17:20	1,50
30/12/1984	17:20	17:22	0,50
30/12/1984	17:22	17:30	0,50
30/12/1984	17:30	17:37	1,00
30/12/1984	17:59	18:07	2,00
30/12/1984	18:07	18:09	0,50
30/12/1984	18:09	18:14	0,50
30/12/1984	18:14	18:23	0,50
30/12/1984	19:47	19:59	2,50
30/12/1984	20:04	20:16	5,00
30/12/1984	20:16	20:26	1,50
30/12/1984	20:26	20:31	0,50
30/12/1984	20:31	21:14	0,50
30/12/1984	21:14	21:39	0,50
30/12/1984	21:39	21:59	0,50
30/12/1984	21:59	22:56	0,50
30/12/1984	23:21	23:25	1,00
30/12/1984	23:25	23:30	0,50
30/12/1984	23:30	23:50	1,00
30/12/1984	23:50	23:55	0,50
30/12/1984	23:55	24:05	1,00

---

### **Intensités maximales des pluies**

Durée totale de l'averse (mn): 2173

Durée de référence maxi (mn) de l'averse (mn): 2160

---

T (mn)	Hmax (mm)	max (mm/h)
5	2.813	33.750
10	4.667	28.000
15	5.636	22.545
20	7.000	21.000

30	9.000	18.000
45	12.909	17.212
60	16.250	16.250
90	18.750	12.500
120	24.300	12.150
180	33.278	11.093
240	39.237	9.809
360	52.000	8.667
540	68.444	7.605
720	91.500	7.625
900	116.033	7.736
1080	132.370	7.354
1440	145.432	6.060
1800	161.565	5.386
2160	175.000	4.861
2173	176.000	4.859

---

### **Hyétogramme de l'averse**

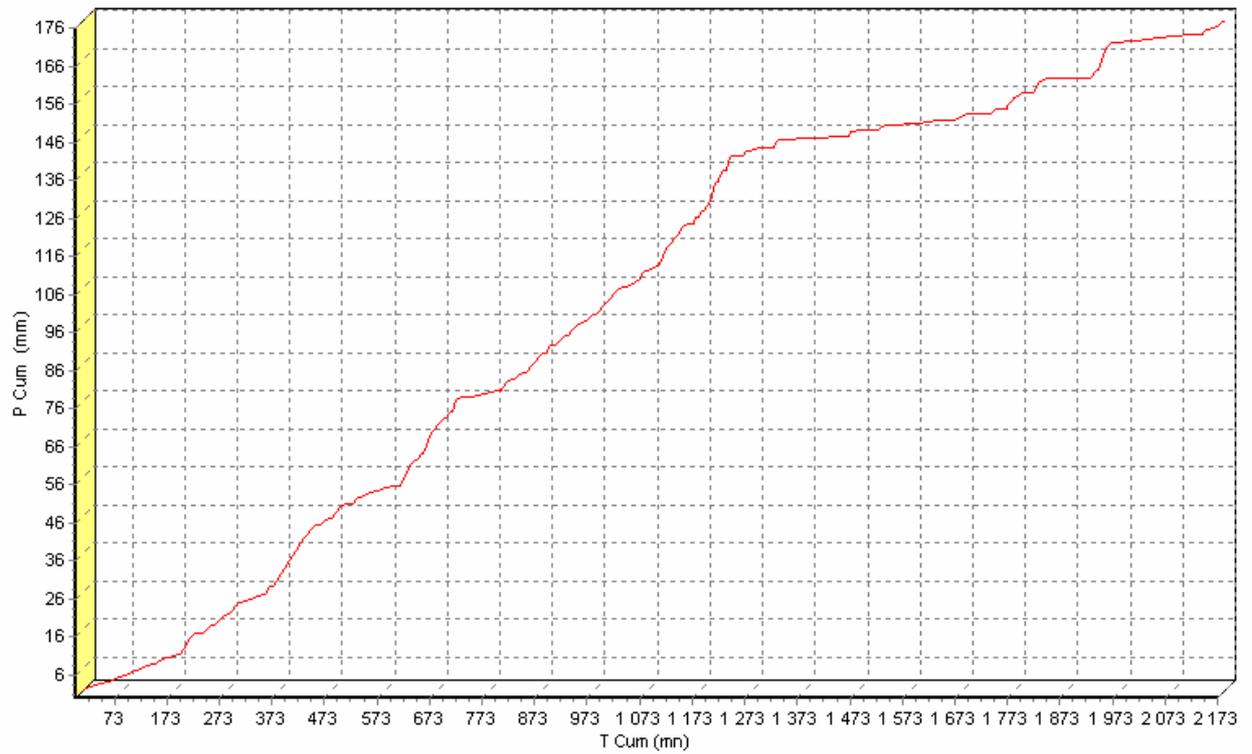
Durée de référence (mn): 360

---

Durée de référence			H (mm)	I (mm/h)
0	-	360	27.22	4.54
360	-	720	49.72	8.29
720	-	1080	33.45	5.57
1080	-	1440	35.05	5.84
1440	-	1800	11.57	1.93
1800	-	2160	17.70	2.95
<u>2160</u>	-	<u>2173</u>	<u>1.30</u>	<u>0.22</u>

---

## Courbe des pluies cumulées



## **Identification de l'averse 31/12/1984**

Année Hydrologique: 1984 / 1985

Poste pluviométrique: ZARDEZAS

Service gestionnaire: ANRH

Date et heure de début de l'averse: 31/12/1984 à 00:05

Date et heure de fin de l'averse: 01/01/1985 à 12:11

Qualité de l'enregistrement: 7

## **Données de l'averse**

Date	Heure Deb.	Heure Fin	Pluie (mm)
31/12/1984	00:05	00:15	1,00
31/12/1984	00:15	00:39	1,00
31/12/1984	00:39	01:00	2,00
31/12/1984	01:00	01:13	1,00
31/12/1984	01:13	01:29	1,00
31/12/1984	01:29	02:30	8,00
31/12/1984	02:30	03:30	7,00
31/12/1984	03:30	03:38	1,00
31/12/1984	03:38	03:51	1,00
31/12/1984	03:51	04:04	1,50
31/12/1984	04:04	04:09	1,50
31/12/1984	04:09	04:25	2,00
31/12/1984	04:25	04:56	4,00
31/12/1984	04:56	06:51	9,00
31/12/1984	06:51	07:00	1,00
31/12/1984	07:00	07:15	1,00
31/12/1984	07:15	07:37	1,00
31/12/1984	07:37	07:50	0,50
31/12/1984	08:21	08:30	1,00
31/12/1984	08:37	08:54	1,00
31/12/1984	08:54	13:16	0,50
31/12/1984	13:34	13:49	2,50
31/12/1984	13:49	17:37	0,50
31/12/1984	17:37	18:02	0,50
31/12/1984	18:02	19:23	0,50
31/12/1984	19:23	19:32	0,50
31/12/1984	19:32	19:37	0,50

31/12/1984	19:37	20:07	2,00
31/12/1984	20:39	21:07	2,00
31/12/1984	21:07	21:22	1,00
31/12/1984	21:22	21:37	1,00
31/12/1984	22:37	22:52	1,00
31/12/1984	22:52	23:08	1,00
31/12/1984	23:20	23:37	1,50
31/12/1984	23:37	23:54	0,50
31/12/1984	23:54	24:53	0,50
01/01/1985	00:53	01:09	0,50
01/01/1985	01:14	01:31	1,00
01/01/1985	05:15	05:30	1,00
01/01/1985	05:30	05:45	0,50
01/01/1985	05:45	06:07	0,50
01/01/1985	06:13	06:23	1,00
01/01/1985	06:23	06:39	1,00
01/01/1985	06:39	07:14	1,50
01/01/1985	07:14	07:43	1,50
01/01/1985	07:43	08:00	1,00
01/01/1985	08:00	08:14	1,00
01/01/1985	08:21	08:22	1,00
01/01/1985	08:25	08:40	2,50
01/01/1985	08:40	08:58	0,50
01/01/1985	09:00	09:03	1,00
01/01/1985	09:03	09:08	0,50
01/01/1985	09:08	09:20	0,50
01/01/1985	09:22	09:45	1,50
01/01/1985	09:45	10:01	0,50
01/01/1985	10:01	10:39	0,50
01/01/1985	10:41	10:54	1,50
01/01/1985	10:54	11:22	0,50
01/01/1985	11:35	11:50	1,00
01/01/1985	11:50	12:10	0,50

---

## Intensités maximales des pluies

Durée totale de l'averse (mn): 2165

Durée de référence maxi (mn) de l'averse (mn): 2160

---

T (mn)	Hmax (mm)	max (mm/h)
5	1.500	18.000
10	2.125	12.750
15	2.833	11.333
20	3.528	10.583
30	4.661	9.323
45	6.597	8.796
60	8.423	8.423
90	11.467	7.644
120	14.967	7.483
180	22.516	7.505
240	28.583	7.146
360	38.061	6.343
540	46.521	5.169
720	46.865	3.905
900	49.667	3.311
1080	50.519	2.807
1440	62.093	2.587
1800	66.000	2.200
2160	84.875	2.358

---

## Hyétogramme de l'averse

Durée de référence (mn): 360

---

Durée de référence	H (mm)	I (mm/h)
0 - 360	37.40	6.23
360 - 720	9.46	1.58
720 - 1080	3.65	0.61
1080 - 1440	11.57	1.93
1440 - 1800	3.86	0.64
1800 - 2160	18.92	3.15
2160 - 2165	0.13	0.02

---

**Courbes des pluies cumulées**

