

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE DE BATNA**

**FACULTE DES  
SCIENCES**

**DEPARTEMENT DES  
SCIENCES DE LA TERRE**

**FILIERE : DYNAMIQUE DES MILIEUX PHYSIQUES ET RISQUES NATURELS**

**PROTECTION DE LA VILLE DE SKIKDA  
CONTRE L'INONDATION**

**□ ESSAI DE " P.P.R.I " □**

**TRAVAIL PRESENTE EN VUE D'OBTENIR LE DIPLOME DE MAGISTER EN AMENAGEMENT  
MILIEUX PHYSIQUES, OPTION " DYNAMIQUE DES MILIEUX PHYSIQUES ET RISQUES NATURELS "**

**REALISE PAR :**

**BOULGHOBRA Nouar**

**SOUS LA PROMOTION DE :**

**Dr. DRIDI Hadda**

**MEMBRES DU JURY :**

TITRE	NOM ET PRENOM	GRADE	UNIVERSITE D'ORIGINE
PROMOTEUR	DRIDI Hadda	Maître de conférence	Université. Batna
PRESIDENT	MENANI Mohamed Reda	Maître de conférence	Université. Batna
EXAMINATEUR	KALLA Mahdi	Maître de conférence	Université. Batna
EXAMINATEUR	AMIRECHE Hamza	Maître de conférence	Université. Constantine

**mai 2006**

## DEDICACES

À :

- *Mon père et ma mère*
- *Mon frère et Mes sœurs*

*Je dédie ce travail ...*

*BOULGHOBRA Nouar*

## *A vant - propos*

**C**e travail vient pour couronner un parcours de près de 3 ans d'études et de recherches. Malgré les diverses contraintes rencontrées, l'étude est menée à terme grâce à dieu.

*Primo, nous tenons à remercier les membres de jury qui nous honorent de leur présence :*

- ✓ *Madame H. DRIDI, maître de conférences, notre enseignante en post-graduation et promoteur, d'avoir suivi notre travail.*
- ✓ *Monsieur M, KALLA, maître de conférences, notre enseignant en post-graduation et qui nous a toujours éclairé par ses conseils.*
- ✓ *Monsieur M R. MENANI, maître de conférences d'avoir accepté de faire parti du jury.*
- ✓ *Monsieur H.AMIRECHE, maître de conférence, notre enseignant en graduation à qui nous devons beaucoup de gratitude.*

*Secondo, il est de notre devoir de présenter nos remerciements aux services étatiques qui nous ont porté aide :*

- ✓ *L'agence nationale des ressources hydriques : A.N .R.H (Constantine).*
- ✓ *L'agence nationale des barrages : A.N .B (Zardézas).*
- ✓ *Direction de la protection civile (Skikda).*

*Notre reconnaissance à madame la conservatrice de bibliothèque de la faculté des sciences de la terre (Constantine) pour son aide documentaire.*

## INTRODUCTION GENERALE ET PROBLEMATIQUE

Entre les années 1980 et 2000, Les pertes humaines dues aux catastrophes naturelles (événement brutal entraînant des dégâts humains et socio-économiques) ont augmenté de 60 %, cette augmentation est essentiellement attribuée au réchauffement de la planète et la mauvaise gestion des espaces urbains.

Entre 1994 et 2004, les catastrophes naturelles ont touchées 2,5 milliards de personnes et ont causé le décès de 478 100 <sup>(1)</sup> personnes, et des pertes économiques estimées à 690 milliards de dollars. Parmi ces catastrophes, les inondations demeurent l'une des catastrophes naturelles les plus dévastatrices, touchant plusieurs pays à travers le monde :

- 17 février 1962 (Hambourg - Allemagne) : 300 décès.
- 17 août 1995 (Marrakech - Maroc) : 150 décès.
- Septembre 2004 (Haïti) : 1 300 décès, 1 100 disparus et 3 000 blessés.
- 26 décembre 2004 (Malaisie, Thaïlande, Sri Lanka et Inde) : 290 000 décès et 30 000 disparus.
- Juillet 2005 (Maharashtra – Inde) : inondations et glissements de terrains, 969 décès. (944,2 mm de pluies tombées le 24 juillet 2005).
- Août 2005 (Europe) : 70 décès.

Similairement aux autres pays du monde, le passif de l'Algérie a été marqué par de nombreuses inondations. Au cours de la décennie écoulée, les inondations en Algérie sont les plus meurtrières de celles survenues dans les pays du bassin méditerranéen :

- 10-11 novembre 2001 (Bab El Oued – Alger) : pluies diluviennes, 733 victimes, 30 000 de sans abris et importants dégâts matériels.
- 20 octobre 1993 (Ouest algérien) : 22 décès et 14 blessés à Qued Rhiou.
- Octobre 1994 (plusieurs régions du pays) : 60 décès et des dizaines de disparus au cours de dix jours d'inondations.
- 22 octobre 2000 (Ouest algérien) : plus de 24 décès.

---

<sup>(1)</sup> Source : Encyclopédie Wikipédia (<http://fr.Wikipédia.org>).



Photo : Inondation de Bab El Oued (Alger) - novembre 2001.

Identiquement à d'autres villes côtières de l'Algérie nord orientale, et en raison de sa situation bordière des oueds Saf-Saf et Zeramna, la ville de Skikda - sise en extrême aval du bassin versant du Saf-Saf au voisinage de son embouchure -, a été marquée par de nombreuses inondations causant de sérieux dégâts humains et matériels, et touchant les milieux urbains ainsi que ruraux :

► Crue du 4 février 1984 : du 30 janvier 1983 au 4 février 1984, le bassin du Saf-Saf a reçu 190,5 mm de pluies, cette abondance pluviométrique a donné naissance à un débit de pointe de l'ordre de 745,1 m<sup>3</sup>/s, étant le plus important durant toute la période 1974 – 1998. Cette crue a causé :

- 174 maisons démolies et 500 familles sinistrées.
- Altération de 450 ha de produits fourragers), 300 ha d'agrumes, 54 ha de terrains à reboiser et 850 ha de céréales.

► Crue du 30 décembre 1984 : le cumul pluviométrique (401,3 mm) qui a marqué le bassin du 20 au 31 décembre, a généré des inondations de grande abondance. La ville de Skikda a été gravement atteinte :

- Décès de 11 personnes.
- Destruction de routes, ponts et voie ferrée.
- Dévastation de plusieurs équipements économiques : Station d'électricité, centre téléphonique, pompes à Gaz...
- Ruine des édifices suite aux mouvements de masse.
- Enclavement de toute la ville pendant plus de 10 jours.

La survenance des inondations au niveau de la ville de Skikda est fréquente, d'où la nécessité d'une étude analytique de ce risque naturel.

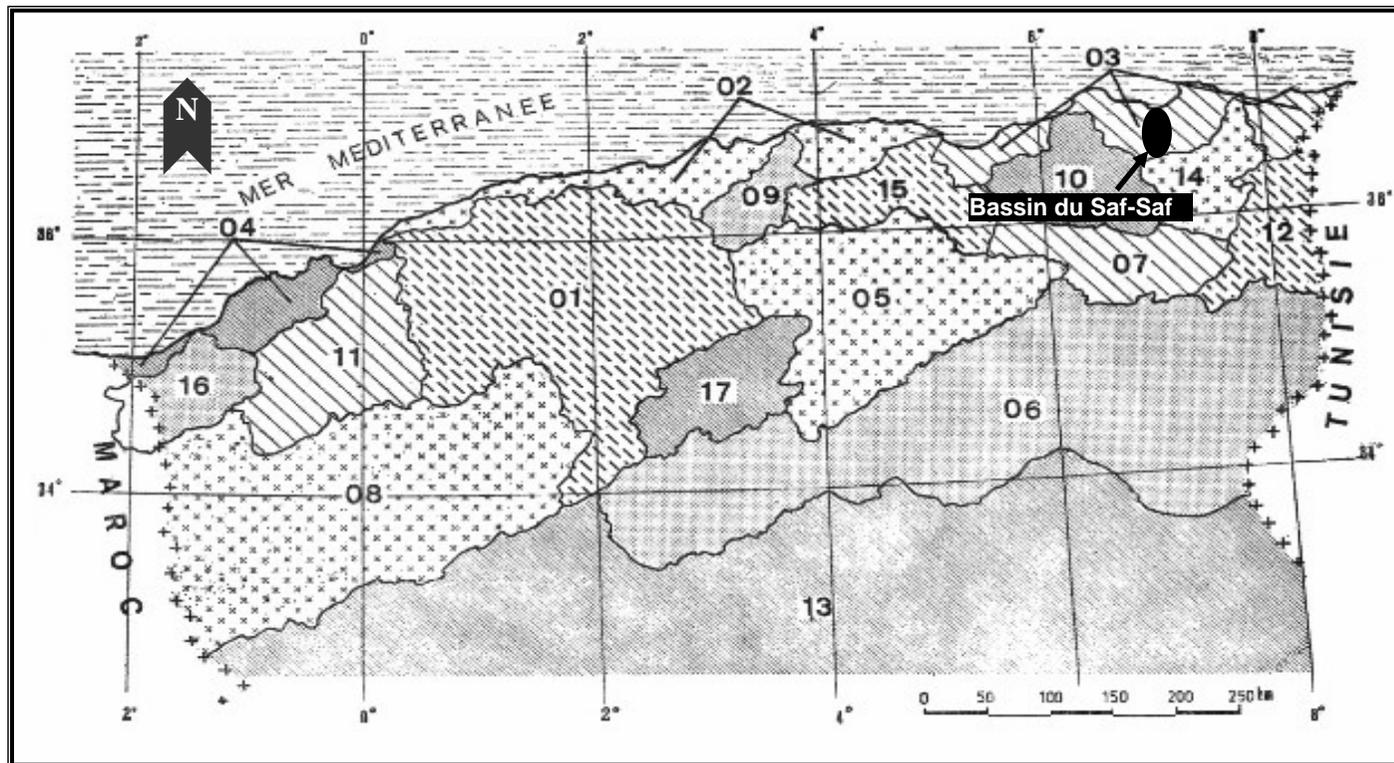
Le présent travail vise à approfondir la connaissance du phénomène en exposant ses : circonstances de genèse, mécanismes d'évolution dans le temps et dans l'espace et ses effets sur l'homme et sur l'espace, afin de faire face à ses préjudices.

Pour se faire, on a procédé à la démarche suivante :

- Évaluation des aptitudes à l'écoulement : détermination des capacités physiques et géographiques du bassin versant du Saf-Saf (entant qu'impluvium générant les crues lors des écarts climatologiques).
- Mise en évidence de l'ampleur du phénomène : en faisant sortir toutes les crues observées dans le bassin de 1974 à 1998, et essayer de les analyser en fonction des pluies à des différents pats de temps (Année – mois – jour).
- Essai de réalisation d'une cartographie du risque : élaboration d'un Plan d'Exposition au Risque d'Inondation (P.E.R.I) en délimitant les zones vulnérables aux inondations, et évaluations du degré d'exposition au risque ainsi que les enjeux.
- Tentative d'élaboration d'un Plan de Prévention du Risque d'Inondation (P.P.R.I) : cette section du travail est orientée vers la prévision, la prévention et la protection contre les inondations en vue de réduction des dommages.

Carte 1

BASSIN VERSANT DU SAF-SAF : SITE



01	CHELIFF	07	H. PLAINES CONSTANTINOISES	13	SAHARA
02	COTIERS ALGEROIS	08	H. PLAINES ORANAISES	14	SEYBOUSE
03	COTIERS CONSTANTINOIS	09	ISSER	15	SOUMMAM
04	COTIERS ORANAIS	10	KEBIR RHUMEL	16	TAFNA
05	CHOTT HODNA	11	MACTA	17	ZAHREZ
06	CHOTT MELGHIR	12	MEDJERDAH		

# **PREMIÈRE PARTIE**

## **BASSIN VERSANT DU SAF-SAF : LES PARAMÈTRES PHYSICO-GÉOGRAPHIQUES DE L'ÉCOULEMENT**

### ➤ **CHAPITRE I**

**LE CONTEXTE MORPHO-STRUCTURAL**

### ➤ **CHAPITRE II**

**LES CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES ET  
HYDROGRAPHIQUES**

### ➤ **CHAPITRE III**

**LES CARACTERISTIQUES LITHOLOGIQUES ET  
BIOGEOGRAPHIQUES**

## **Introduction**

Tout régime hydrologique ne peut être catégoriquement perçu, sans avoir besoin d'effectuer une étude avec le plus possible de minutie des circonstances physico-géographiques du bassin versant, dont l'interaction et la complémentarité de ses éléments déterminent la variabilité et l'intensité du comportement des phénomènes hydrologiques dans le temps et dans l'espace.

De ce fait, la présente partie du travail aura pour but de montrer les caractéristiques du milieu physique, et l'importance relative de chaque facteur d'écoulement, envisagée comme suit :

- L'étude du contexte morpho-structural du bassin permettra d'appréhender le cadre de réception des eaux précipitées.
- La lithologie du bassin versant sera abordée afin de déterminer les possibilités de l'écoulement de surface en fonction de la perméabilité.
- Enfin, la végétation sera également prise en considération car elle peut directement agir sur l'écoulement de surface.

## **CHAPITRE I**

### **LE CONTEXTE MORPHO-STRUCTURAL DU BASSIN VERSANT**

#### **Présentation**

Le passif géologique du bassin versant du Saf-Saf se confond avec l'ensemble de la géologie Alpine de la petite Kabylie.

Sur le plan régional, on doit à J.F.RAOULT (1974), J.P.BOUILLIN (1977) et J.M.VILA (1980) les premières études complètes permettant d'identifier les ensembles structuraux de cette région.

L'immensité de sa taille (1154 Km<sup>2</sup>), et la complexité de sa structure ont fait que le bassin du Saf-Saf présente un grand ensemble morpho-structural comportant plusieurs milieux morphologiques.

Ainsi donc, il s'étend du piedmont sud tellien (au sud), à la mer méditerranée (au nord), il est respectivement limité à l'Est et à l'Ouest par les bassins versants du Seybouse et du Kébir Rhumel.

#### **I. LES MILIEUX STRUCTURAUX :**

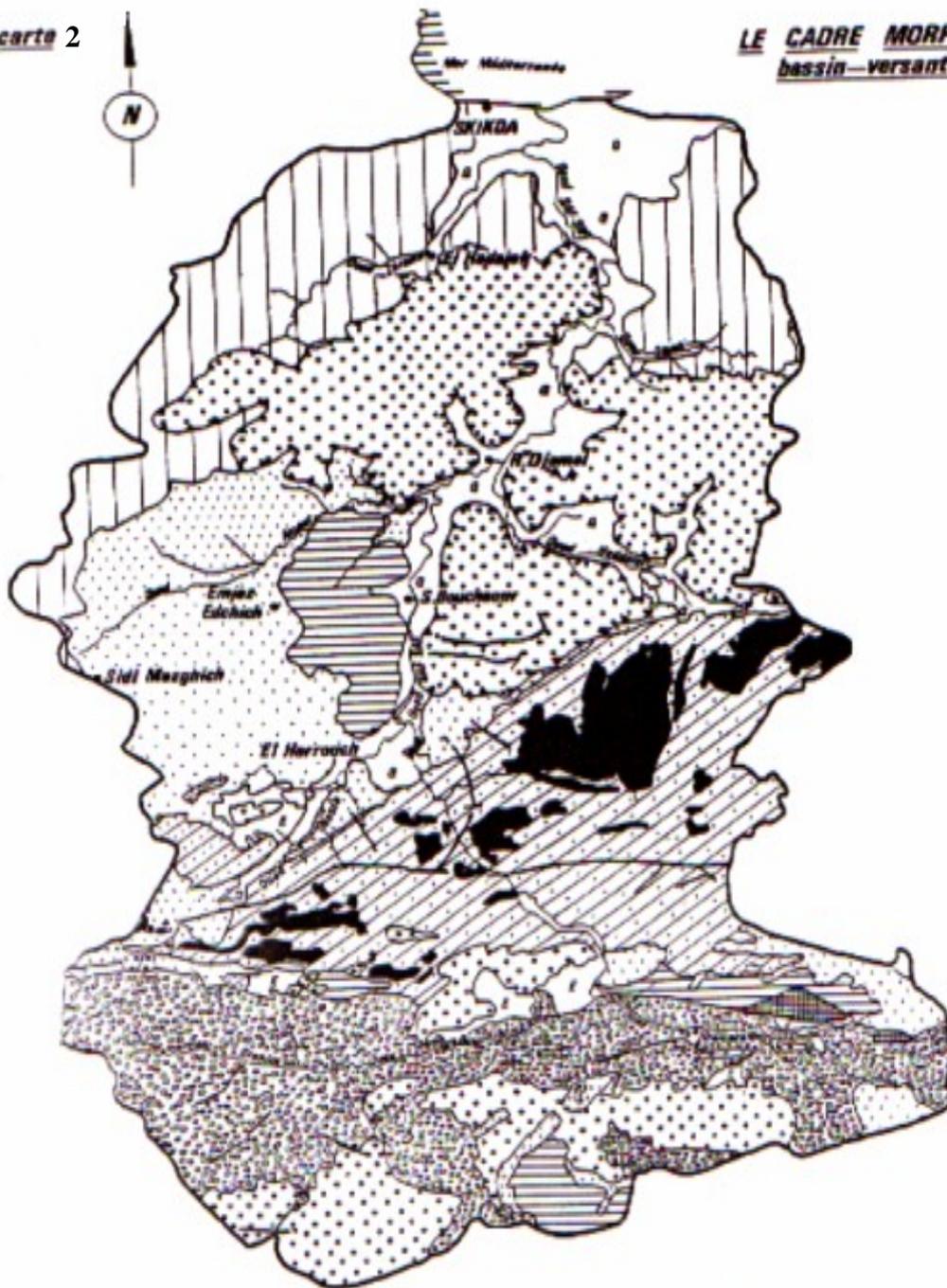
Toutes les études <sup>(1)</sup> ont montré que le domaine tellien avait été débité en vastes nappes de charriages (carte 2).

##### **I.1. Le socle Kabyle au Nord :**

Étant la nappe la plus importante, formée essentiellement de terrains (Marbres, Gneiss et Micaschistes) qui ont subit un métamorphisme anté-silluien, ensuite charriées lors de la tectogenèse alpine.

---

<sup>(1)</sup> M.KIEKEN (1962) – D.DELGA (1969) – M.ROUBAULT (1931) – J.P.BOUILLIN (1977) – J.M.VILA (1980).



**FORMATIONS RECENTES**

1 3 Ebois, Quaternaire

**ZONES INTERNES**

Oligo Miocène kabyle, Nummulitique II

Socle kabyle

Dorsale kabyle

**NAPPES DE FLYSCHS**

Flyschs mauritaniens et messylliens

Flyschs numidiens

**NAPPES TELLIENNES**

Unités telliennes, ultra-telliennes

Môle méridionale de Constantine

**POST-NAPPES**

Miocène supérieur continental de Constantine

Fautes

Chevauchements

Travaux utilisés :

— J. E. RAOULT (1974)

— J. M. VILA (1980)



Source : Mohamed Salah KHERFOUCHI « le bassin du Saf-Saf (Algérie orientale) : Irrigation et Aménagement des ressources en Eau », Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle (Nancy II – 1984)

Ces massifs anciens renferment des lambeaux d'argiles et de grés Oligo-Miocènes et sont traversés par des granites et microgranites miocènes, la vallée du Saf-Saf les entaille dans la partie nord centrale et forme un fond alluvial de quaternaire.

### I.2. Les flyschs au centre :

Par rapport à la chaîne calcaire, ils sont en position nord et sud. Ils sont essentiellement composés de l'alternance : argiles jaunâtres – grés en bancs métriques (albo - Aptien), puis d'argiles verticolores et de bancs de calcaires fins qui sont semblables aux flyschs maurétaniens.

### I.3. La chaîne calcaire au sud :

Située au bord méridional du socle Kabyle, composée d'affleurements de calcaire qui composent la chaîne calcaire et la dorsale Kabyle, cette dernière a été partagée en sous zones (interne, médiane et externe). Le socle kabyle et les lambeaux liasiques de la chaîne calcaire sont fortement tectonisés et présentent l'ensemble charrié lors de la phase Alpine.

Les trois ensembles structuraux sus cités sont marqués par une forte tectonique tangentielle qui a engendré des charriages sur des dizaines de kilomètres lors de la tectogenèse alpine infra miocène.

En matière d'édifice de la structure, nous pouvons différencier deux ensembles séparés par un contact tectonique : l'ensemble nordique comporte le socle kabyle et les terrains directement placés sur et sous lui, et l'ensemble sud composé d'affleurements de terrains telliens. Ainsi, on peut distinguer :

#### **a) Le compartiment structural nord-supérieur :**

Comporte le socle kabyle et tous les terrains qui lui sont superposés particulièrement les nappes à matière de flyschs mauritaniens et massyliens.

#### **b) Le compartiment structural nord-inférieur :**

Composé surtout des flyschs mauritaniens et massyliens ainsi que des formations telliennes. Ces formations sont schistosées et parfois métamorphisées présentant les terrains auxquels le socle est tectoniquement superposé.

### **c) Le compartiment structural sud :**

Où l'on rencontre des formations numidiennes et des nappes de flyschs mauritaniens et massyliens superposées aux unités telliennes.

En fin, il faut noter que le bassin du Saf-Saf est marqué par une forte complexité structurale où le relief a été soulevé puis plissé juste avant l'ère Quaternaire, donnant naissance aux chaînes (Horst) et dépressions (Grabens ou bassin d'effondrement) actuels, où les cours d'eau venus du sud, s'enfonçaient en gorges à travers les montagnes donnant l'allure d'une vallée encaissée.

## **II. LES MILIEUX MORPHOLOGIQUES :**

Le bassin du Saf-Saf présente la morphologie suivante (carte 3) :

### ***II.1. Les terrasses Quaternaires :***

Les plus importantes terrasses s'étendent le long du talweg principal de l'Oued Saf-Saf.

a) Le niveau zéro (fond alluvial) : Terrasses constituées surtout de matériaux sablo-limono-graveleux et s'étendent tout au long de l'Oued Saf-Saf, l'Oued Khemakhem (sud) et l'Oued Zeramna (Nord-Ouest). *Elles présentent des zones facilement inondables lors des crues.*

b) Le niveau I : Son extension est très importante en Aval de L'Oued Saf-Saf. Il présente un matériel argilo-limono-sableux à environ deux mètres d'épaisseur.

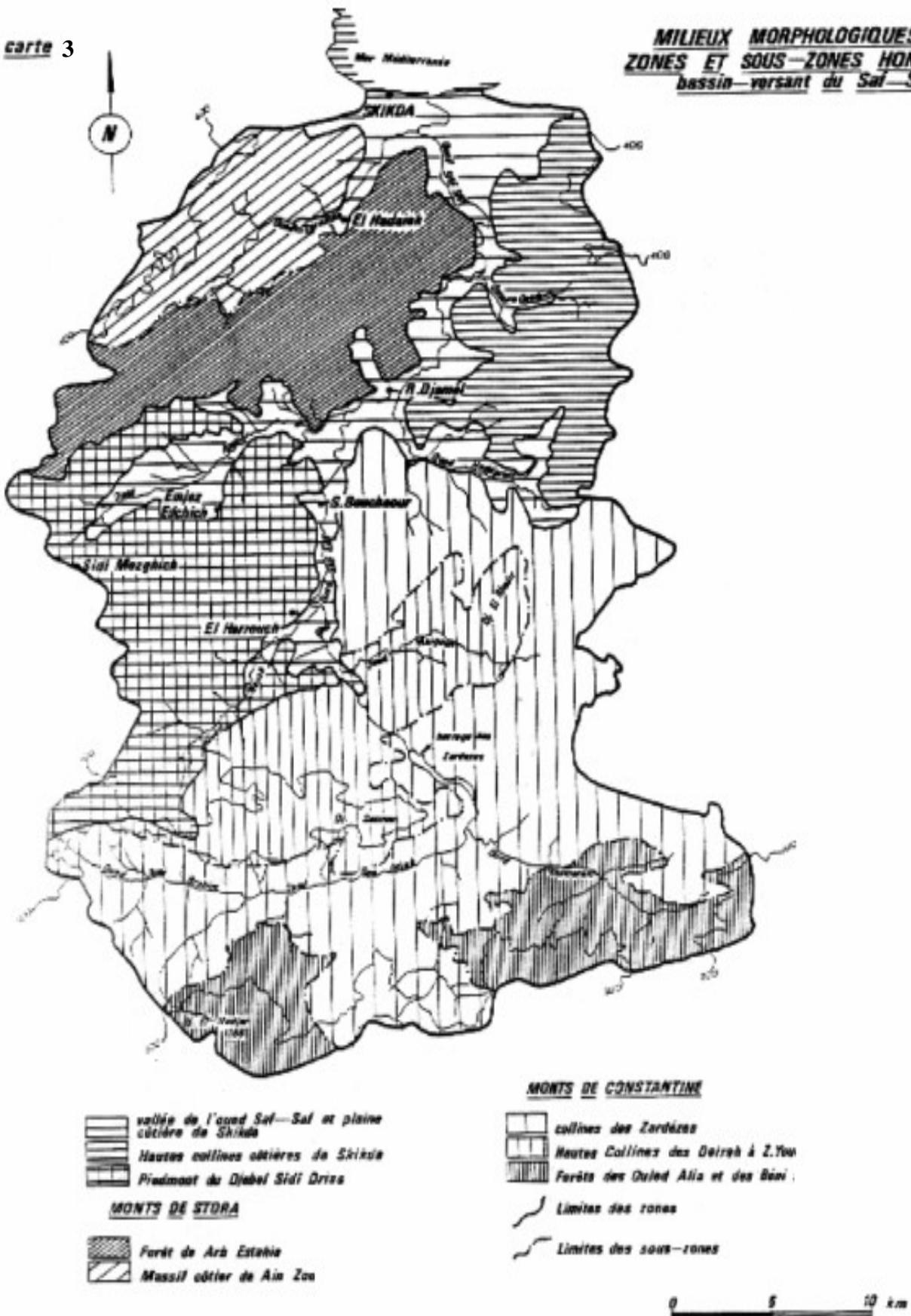
c) Le niveau II : Constitué surtout de matériaux grossiers (galets émoussés), ce niveau étant la phase intermédiaire entre la phase d'ablation et celle de l'accumulation.

d) Le niveau III : Ou glacis-terrasses, c'est le début des hauts niveaux, les glacis - qui sont pour la plupart des formes de dénudation - sont surtout constitués de matériaux grossiers, en raison de leurs rattachement aux plateaux à alluvions caillouteuses.

e) Le niveau IV : Se distingue par des lambeaux de glacis plus ou moins étroits. Est composé surtout de Marnes, marno-calcaire, grés numidiens et croûtes calcaires.

carte 3

**MILIEUX MORPHOLOGIQUES  
ZONES ET SOUS-ZONES HOMOGÈNES  
bassin-versant du Saf-Saf**



Source : Mohamed Salah KHERFOUCHI « le bassin du Saf-Saf (Algérie orientale) : Irrigation et Aménagement des ressources en Eau », Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle (Nancy II – 1984)

f) Le niveau V et le plus haut niveau : Correspond à de petits replats situés à 300 et 350 m d'altitude. Il est formé de croûtes calcaires, grés numidiens et du sol argilo-sableux.

### ***II.2. Les collines :***

Constituées quasi-totalement de marnes et d'argiles, elles forment un relief vulnérable à l'érosion, et cela est lié à la faible cohérence des roches.

Cette zone est sise au sud du bassin, elle est limitée par l'Oued Khemakhem et L'Oued Bou Adjeb de part et d'autre de l'Oued Saf-Saf, elles sont d'une altitude assez élevée (500 à 600 m). Ce milieu physique est exposé à une forte érosion hydrique due à un réseau hydrographique particulièrement dense.

### ***II.3. Le relief compartimenté du Sud :***

Du point de vue topographique, il constitue une barrière aux influences climatiques correspondant particulièrement au mont de Constantine au sud, massif côtier de Ain Zouit (à l'Ouest) et aux hautes collines côtières de Skikda (à l'Est). Il vient d'enserrer les milieux précédents et présente des caractéristiques différentes.

## **CHAPITRE II**

# **LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOMÉTRIQUES ET HYDROGRAPHIQUES GÉNÉRALES DU BASSIN VERSANT**

### **Introduction**

Les divers paramètres morphométriques d'un bassin versant (forme, altitude, pente, relief ...etc.) interviennent le plus souvent de façon combinée, Agissant sur les modalités de l'écoulement. Ils nous offrent la possibilité de réaliser une analyse quantitative, et une comparaison des différentes unités hydrologiques.

Cependant, pour assurer la fiabilité de l'aspect morphométrique, il est nécessaire que cette quantification soit appliquée à de bassins versants de taille réduite et de géologie homogène.

### **I. LE RELIEF :**

#### **I.1. Superficie :**

Avec une superficie planimétrée de 1154 km<sup>2</sup> (1158 km<sup>2</sup> selon les données de l'A.N.R.H, soit un écart de 0,04 %), le bassin versant du Saf-Saf est le plus grand bassin des côtiers Constantinois (10 % de 11570 km<sup>2</sup>). Cette superficie est délimitée par une ligne de partage des eaux de 150 km étant le périmètre du bassin.

#### **I.2. La forme du bassin :**

Cet élément peut être traduit par le paramètre C <sup>(1)</sup> : Indice de compacité de Gravelius ayant une influence certaine sur l'écoulement. La forme du bassin détermine l'allure de l'hydrogramme de crue, où un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée.

---

<sup>(1)</sup> Indice de Compacité de Gravelius :  $C = P / 2 * (A * \pi)^{0.5} = 0,28 * P * (A)^{0.5}$

Pour le bassin du Saf-Saf, l'indice C a été estimé par 1,24 ; Traduisant une compacité faible (bassin allongé) et c'est ce que les dimensions du rectangle équivalent confirment (46,65 – 24,75 km).

### I.3. Les altitudes :

À partir de la carte topographique Skikda 1 / 200 000<sup>e</sup>, on a pu réaliser le tableau n° 1.

*Tableau 1: Bassin versant du Saf-Saf : Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude.*

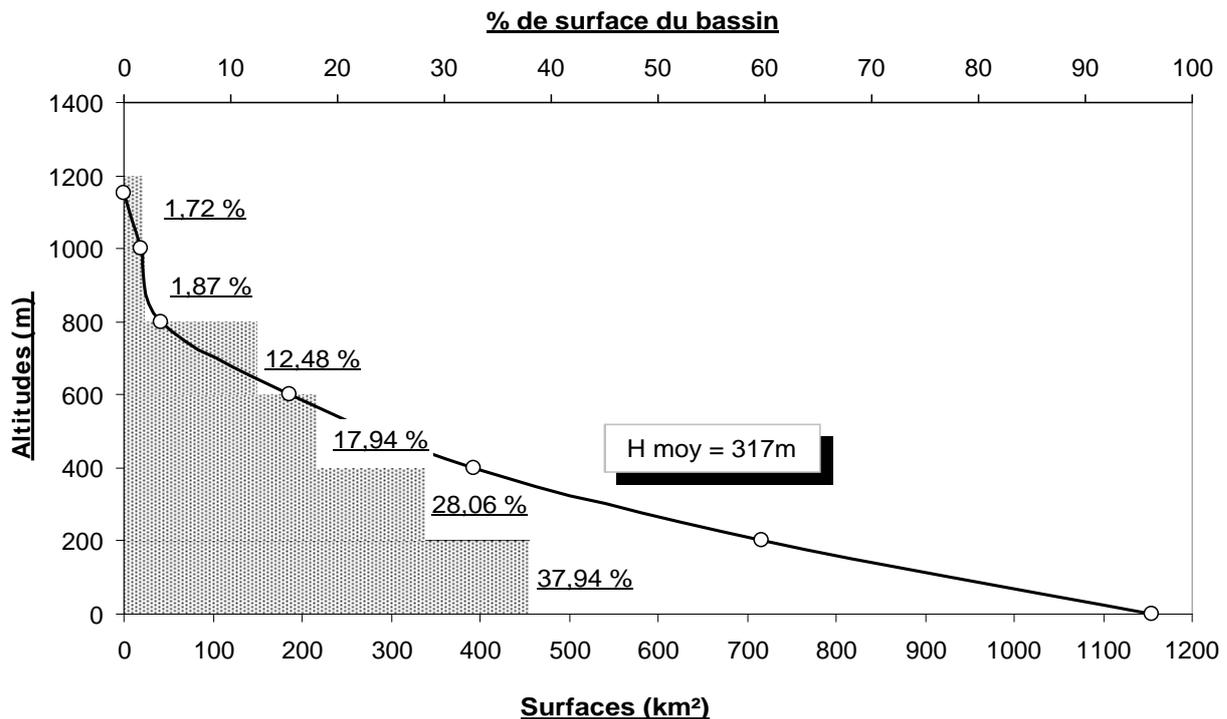
Tranches d'altitude	Hi (m)	Si (km <sup>2</sup> )	Si Cum (km <sup>2</sup> )	Si (%)	Si Cum (%)
≤ 200	100	437,8	1154	37,9	100
200 – 400	300	323,8	716,2	28,1	62,1
400 – 600	500	207	392,4	17,9	34
600 – 800	700	144	184,4	12,5	16,1
800 – 1000	900	21,6	41,4	1,9	3,6
≥ 1000	1100	19,8	19,8	1,7	1,7
Ensemble du bassin	-	1154	-	100	-

Source : Carte topographique Skikda 1 / 200 000<sup>e</sup>

L'altitude moyenne du bassin du Saf-Saf, calculée à partir de la courbe hypsométrique (Fig 1) - réalisée à partir du tableau n° 1 - est de l'ordre de 316,53 m. cette valeur traduit une faiblesse relative de l'altitude, ou le diagramme des fréquences altimétriques fait ressortir la répartition par tranche d'altitude de la superficie du bassin, ainsi donc, Nous pouvons aisément constater les diverses altitudes caractéristiques du bassin.

Fig. 1

**BASSIN DU SAF-SAF: COURBE HYSOMÉTRIQUE ET DIAGRAMME DES  
FRÉQUENCES ALTIMÉTRIQUES**



Les secteurs d'altitude dépassant les 1000 m sont peu étendus dans le bassin (1,2 %) et correspondent aux montagnes situés au sud du bassin : Djebel Hadjar (1166 m), Djebel Oucheni (1028 m) et Kef Hahouner (1023 m). Les zones d'altitudes comprises entre 600 et 1200 m couvrent 185,4 km<sup>2</sup>, soit environ 16 % de la superficie totale et correspondent en majorité à la chaîne numidique.

Par contre, les zones d'altitude allant de 200 à 600 m couvrent une superficie de 530,8 km<sup>2</sup>, soit 46 % de la superficie totale et concernent l'encadrement des cotés de la vallée du Saf-Saf.

Enfin, la tranche d'altitudes inférieures à 200 m concerne largement la vallée du Saf-Saf et ses principaux affluents, et s'étale sur une superficie de 437,8 km<sup>2</sup> (37,93 %).

#### **I.4. Indices de pente et relief :**

Le relief joue un rôle primordial dans la plus ou moins grande aptitude au ruissellement des terrains. Il peut être quantifié à l'aide de quelques indices :

- L'indice de pente global 'Ig<sup>(1)</sup>' est estimé à 17,15 m / km, cela implique que le relief du bassin du Saf-Saf est Moyen (20 > Ig > 10 - Selon O.R.S.T.O.M).

Mais pour classer le relief du bassin du Saf-Saf, il semble plus fiable de se baser sur la dénivelée spécifique (Ds)<sup>(2)</sup> au lieu de Ig, car ce dernier ne peut être significatif qu'en cas des bassins de plus de 25 km<sup>2</sup> de superficie.

- La Ds estimée par 528,71 m traduit bien l'importance du volume montagneux, et de même les importantes dénivelées, et donne au relief du bassin du Saf-Saf la qualification de Relief très fort (Ds > 500 m - Selon O.R.S.T.O.M).

Ce relief fort, est un élément déterminant de la réaction du bassin vis-à-vis les pluies.

## II. CLASSES DES PENTES :

La pente topographique exprime l'inclinaison des versants par rapport à l'horizontal. C'est un facteur essentiel de l'écoulement de surface, car en effet ce dernier a tendance à avoir plus d'énergie cinétique et vive en présence des fortes pentes et dénivelées. Et par conséquent, elle assure une réponse hydrologique rapide et une dynamique érosive agressive.

Selon J.TRICART, l'intensité de l'écoulement est fonction de la pente comme suit :

- Écoulement faible : pente inférieure à 10 %.
- Écoulement fort : pente égale à 10 %.
- Écoulement très fort : pente supérieur à 20 %.

Dans le bassin du Saf-Saf, on a pu faire ressortir quatre classes de pente (carte 4).

- a) Les pentes faibles (moins de 3 %) : coïncident avec une surface réduite et limitée à la vallée du Saf-Saf et la plaine de Skikda. C'est une zone de réception et de cumul hydrologique fortement exposée au risque d'inondation.

---

<sup>(1)</sup>  $Ig = D / L$

- D : Dénivelée simple (m) = H 5% - H 95%
- L : Longueur du rectangle équivalent telle qu'il l'a défini M.ROCHE :
- $L = A^{0,5} * C / 1,128 * [1 + (1 - (1,128 / C)^2)^{0,5}]$

<sup>(2)</sup>  $Ds = Ig * A^{1/2}$



Les pentes moyennes (3 – 12,5 %) : fréquentes et couvrent la moitié du bassin, elles se localisent surtout à la partie méridionale et à l'Ouest du bassin : dépressions de : Sidi Mèzghiche, Ramdane Djamel et El Harrouch.

- b) Les pentes fortes (12,5 – 25 %) : occupent la partie sud du bassin et présentent en général un relief accidenté ou aux piedmonts : piedmont du Djebel El Rhédir, Kef Msouna et Sébargoud.
- c) Les pentes très fortes (plus de 25 %) : correspondent aux montagnes plus ou moins enlevées. Se situent à l'Est et à l'Ouest dans les Gneiss et les schistes du socle kabyle ainsi qu'au sud du bassin : les Toumièttes, Nord et Sud, le Kef Hahouner, le Djebel Sesnou et le Djebel Hadjar (1166 m) point culminant du bassin versant du Saf-Saf.

Cette classe de pente est fortement dominante dans le sous bassin de l'Oued Zeramna au nord du bassin. On peut également noter l'existence des ruptures de pente notamment au niveau des bassins de Ramdane Djamel, Salah Bouchaour et Beni Béchir, et cela peut aboutir à de brusques cumuls hydrologiques.

### **III. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET SES CARACTERES MORPHOMETRIQUES :**

#### **III.1. Constitution du réseau hydrographique :**

La topographie contrastée, l'agressivité du climat et la lithologie tendre (marnes et argiles) ont permis l'installation d'un réseau hydrographique dense.

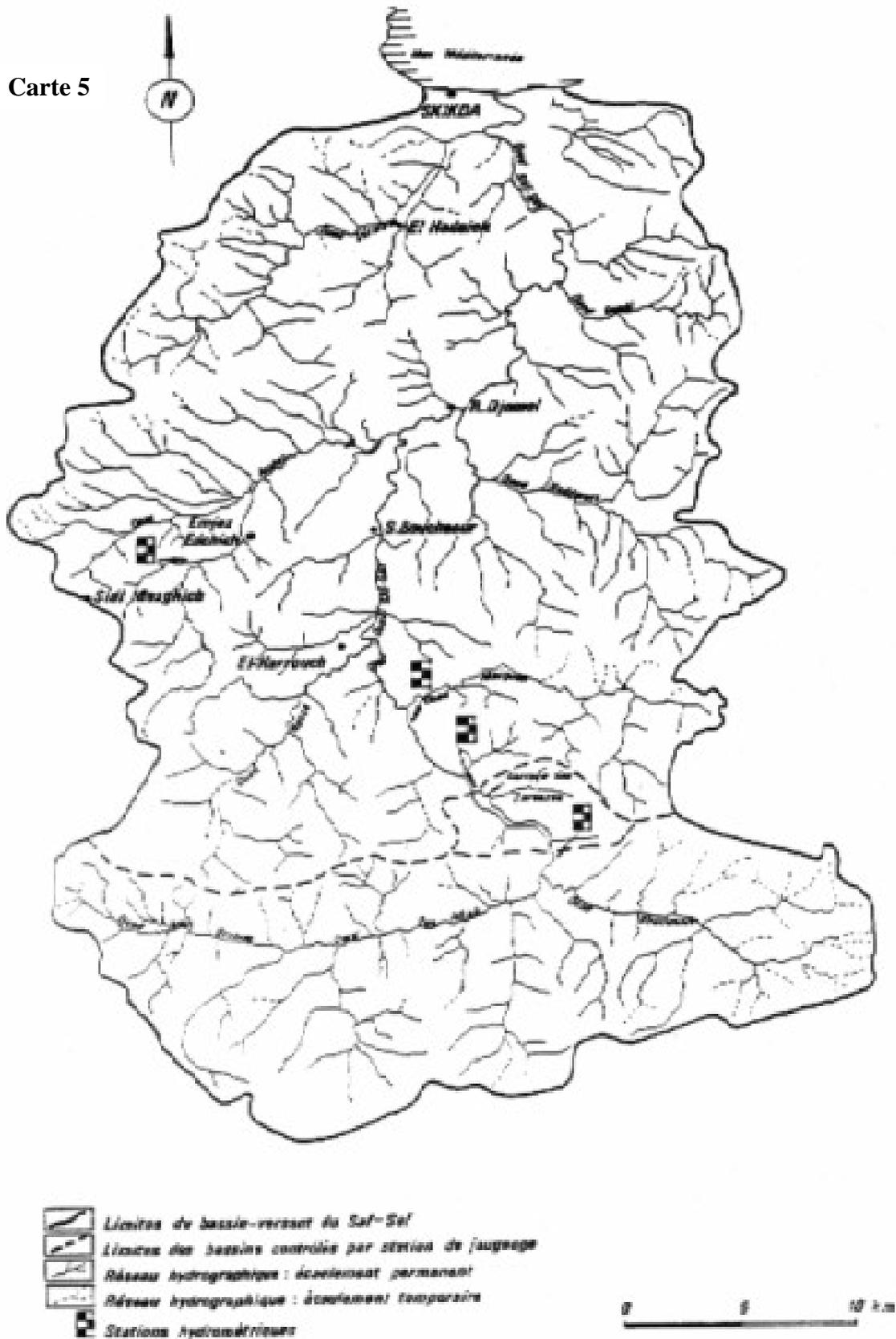
Le bassin du Saf-Saf résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'Oued Bou Adjeb et l'Oued Khemakhem où on a établi le barrage des Zardézas, il franchit la chaîne numidique entre les monts M'souna (620 m) et Sébargoud (609 m), avant de se jeter dans la mer près de Skikda (Carte 5).

Le sous-bassin versant des Zardézas, constitue l'unité principale dans l'alimentation du barrage. Il couvre une surface de 322 km<sup>2</sup> et est essentiellement drainé par trois principaux affluents :

- l'Oued Khemakhem qui draine la partie Est.
- l'Ouest Khorfane qui draine la partie Sud.
- l'Oued Bou Adjeb qui draine la partie Ouest étant de plus grande surface.

## Bassin du Saf-Saf : chevelu hydrographique

Carte 5



Source : Mohamed Salah KHERFOUCHI « le bassin du Saf-Saf (Algérie orientale) : Irrigation et Aménagement des ressources en Eau », Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle (Nancy II – 1984)

Dans la partie infra Zardézas, l'Oued Saf-Saf traverse le bassin versant de Ramdane Djamel dans une direction SE-NW jusqu'à l'agglomération de Ramdane Djamel, puis suivant une orientation NW-NE avant de se jeter dans la mer méditerranée.

Ainsi, l'Oued Saf-Saf reçoit en rive droite et gauche les principaux Oueds suivants :

- En rive gauche : l'Oued Zeramna, l'Oued Ameur et l'Oued N'ssa.
- En rive droite : l'Oued Goudi, l'Oued Haddaratz et l'Oued Maiguen.

Généralement, nous pouvons distinguer :

- ✓ Le bassin supérieur correspondant à l'Oued Bou Adjeb et Khemakhem jusqu'à leur jonction au barrage des Zardézas.
- ✓ Le bassin inférieur qui coïncide avec l'Aval du barrage des Zardézas.

### **III.2. Morphométrie du réseau hydrographique :**

L'interaction du climat, lithologie et relief ont généré un chevelu hydrographique particulièrement dense, cela est traduit par une densité de drainage  $Dd^1$  assez élevée (0,92 km / km<sup>2</sup>). Certes, cette importance de drainage hydrologique n'a rien d'étonnant quand on sait que le temps de concentration du bassin, calculé à une loi de Giandotti<sup>2</sup> ne dépasse pas les 16 heures.

Ces valeurs indiquent que les pluies précipitées vont être transformées en écoulement, et atteindre l'exutoire (plaine et ville de Skikda) au bout d'environ 16 heures. Et vu la surface étendue du bassin (1154 km<sup>2</sup>), cette vitesse de mobilisation hydrique paraît assez rapide, et cela est dû aux caractères physiques du bassin précédemment discutés qui favorisent la réponse hydrologique.

---

<sup>1</sup>  $Dd = L / A$

Étant :           • L (km) : Longueur totale des drains permanents et temporaires.  
                      • A (km) : Surface du bassin.

<sup>2</sup>  $Tc \text{ (Giandotti)} = (4 A^{0,5} + 1,5 Lp) / (0,8 (H_{moy} - H_{min})^{0,5})$

Étant :           • A : superficie (km<sup>2</sup>).  
                      • Lp : Longueur du talweg principale (km).  
                      • H<sub>min</sub> : Altitude minimale du bassin (m).  
                      • H<sub>moy</sub> : Altitude moyenne du bassin (m).

## **CHAPITRE III**

# **LES CARACTÈRES LITHOLOGIQUES ET BIOGÉOGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT**

### **I. CARACTERES LITHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT ET PERMEABILITE**

La lithologie influe sur l'écoulement de surface ainsi que l'écoulement souterrain, où la nature des formations superficielles et des sols déterminent l'importance du premier et les capacités de stockage pour le deuxième.

En matière de crues, il est important de connaître et de classer les niveaux de perméabilité des formations lithologiques du bassin, afin de mieux comprendre le mécanisme aboutissant à la genèse des crues.

#### **I.1. Les grands ensembles lithologiques et leurs perméabilités**

La lithologie du bassin du Saf-Saf est résumée comme suit (carte 6) :

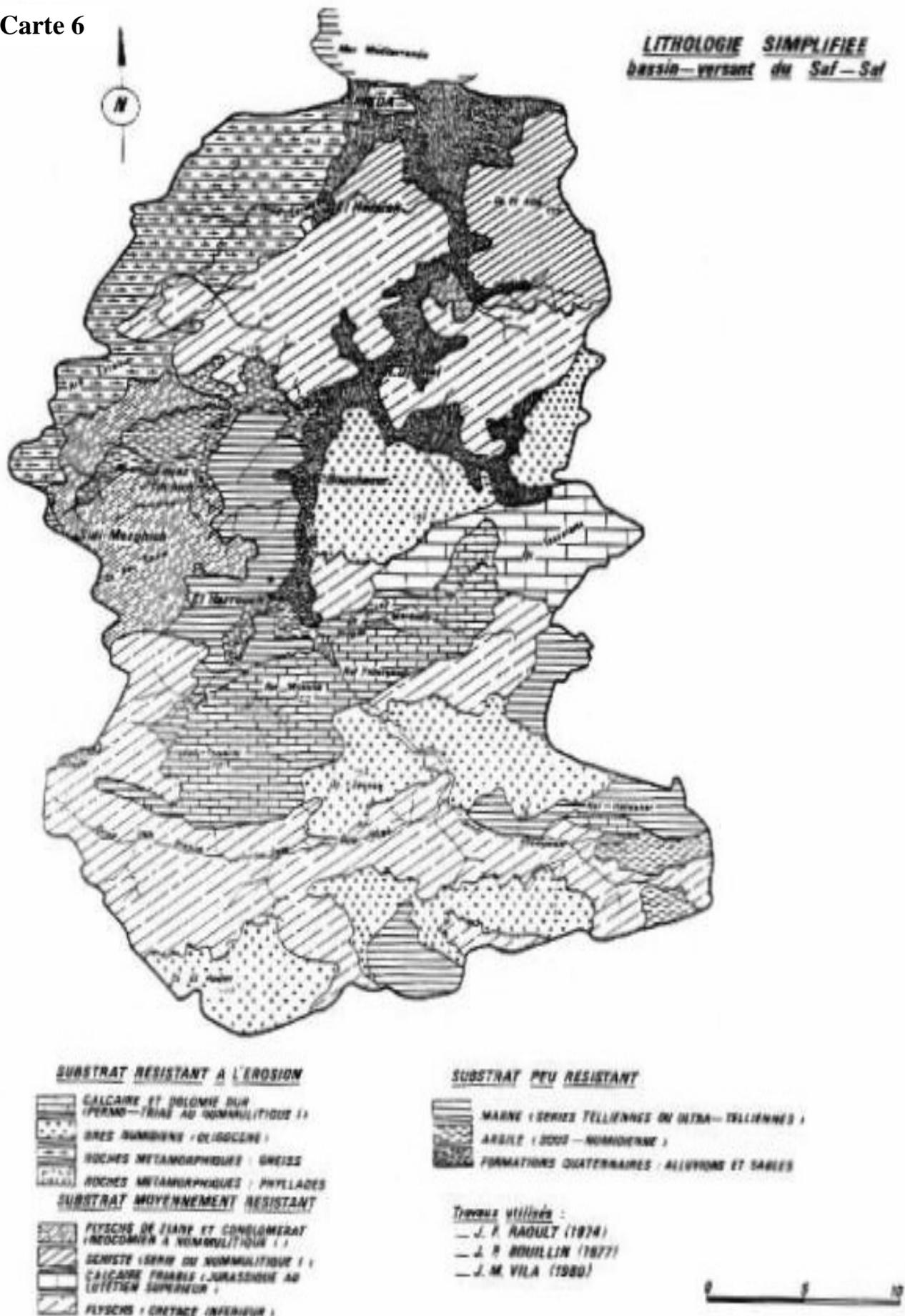
##### **a. Le massif côtier de Ain Zouit :**

Formé essentiellement d'un sous-sol de Gneiss : roche métamorphique imperméable appartenant au socle kabyle.

##### **b. Le massif de Radjeta (Djebel Filfila, Djebel El Alia) :**

Le massif côtier de Filfila (Est de Skikda) représente l'accident orographique le plus remarquable des massifs de Radjeta. Il est constitué dans sa partie axiale par des marbres, et plus au sud Djebel El Alia est composé des schistes paléozoïques.

Carte 6



Source : Mohamed Salah KHERFOUCHI « le bassin du Saf-Saf (Algérie orientale) : Irrigation et Aménagement des ressources en Eau », Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle (Nancy II – 1984)

### **c. La vallée du Zeramna :**

Le bassin de réception de Zeramna est relativement étendu. Sa vallée est disposée en un couloir très resserré entre : la masse montagneuse de Koudiat Ras El Merdj et celle de Koudiat El Mezzaoudj, la vallée s'élargit à partir du village El Hadaik et atteint une largeur de 2 km juste avant sa confluence avec l'Oued Saf-Saf.

La lithologie de cette vallée est complètement formée de Gneiss paléozoïques : Roche hautement imperméable.

### **d. Basse vallée du Saf-Saf (plaine et ville de Skikda) :**

Dans sa plus grande partie, la Basse vallée du Saf-Saf se compose de terrains imperméables : Marnes, argiles, schistes et alluvions argileuses.

### **e. Moyenne vallée du Saf-Saf (dépression de Ramdane Djamel) :**

La dépression de Ramdane Djamel est encadrée par les massifs de Ain Zouit au Nord-Ouest, celui de Radjeta au Nord-Est et la chaîne numidique au Sud. Où l'Oued Saf-Saf tranche la dépression et draine la plus grande partie des eaux du bassin.

Cette dépression et ses abords immédiats déterminent quatre terrains perméables : Alluvions Quaternaires – Formations gréseuses – Conglomérats – formations liasiques.

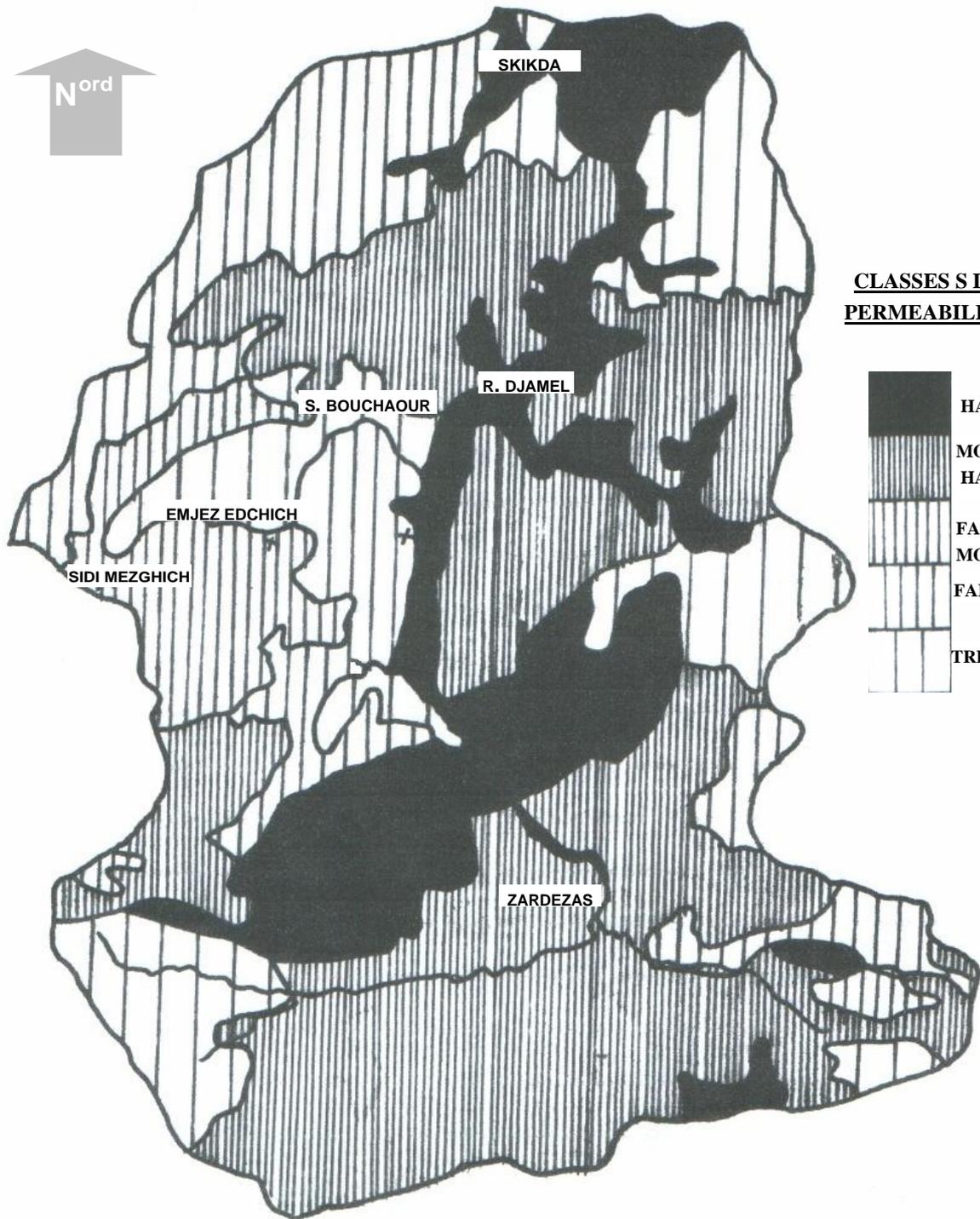
### **f. La chaîne numidique (Djebel El Rhédir, Sidi Driss ...) :**

La chaîne numidique est de direction W-E. Elle s'étend parallèlement au littoral depuis le massif des Babors jusqu'au nord de Guelma ; le bassin du Saf-Saf renferme la partie médiane et orientale de cette chaîne à environ 30 à 50 km au nord de Constantine.

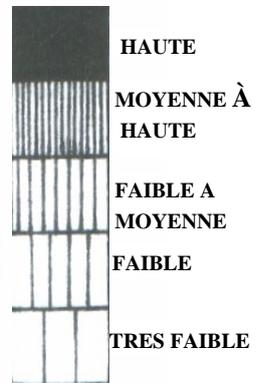
Sur la rive gauche de l'Oued Bou Adjeb, se termine la crête gréseuse W-E dénommée le Djebel Sesnou, elle aboutit au Djebel Bou Adèd et se prolonge vers le Djebel Chéraga et le Draa El-Youdi.

Au Sud du Bou Aded, la Koudiat Cherchar est un dôme calcaire analogue à celui de Kef Hahouner. Le Djebel Sidi Driss au S-E est couronné par un massif calcaire et est fortement tectonisé.

BASSIN VERSANT DU SAF-SAF : LA PERMEABILITE



CLASSES S DE PERMEABILITE



## **I.2. Perméabilité :**

La perméabilité des roches est un facteur déterminant des possibilités d'infiltration des eaux superficielles, lui-même étant étroitement lié à la structure physique des roches (pores, fissures et interstices), et c'est à travers cette dernière que nous avons classé les formations lithologiques du bassin en fonction de leurs perméabilités.

La carte n° 7 nous a permis de dégager 5 niveaux de perméabilité classés comme suit :

- a) Formations à haute perméabilité : situées le long du talweg principal de l'Oued Saf-Saf et ses principaux affluents (l'Oued N'ssa, Zeramna, Aneur...), correspondent aux alluvions Quaternaires et aux dépôts fluviaux.
- b) Formations de moyenne à haute perméabilité : représentées surtout par les grés numidiens (sud) et les sables argileux (cotés d'Emdjez Edchich), elles couvrent un territoire assez important.
- c) Formations de faible à moyenne perméabilité (Ère tertiaire) : concordent aux grés et aux conglomérats peu abondants dans le bassin sauf des bandes près de Salah Bouchaour.
- d) Formations de faible perméabilité : elles peuvent être des formations de l'Ère secondaire (calcaire et calcaire liasique) ou de l'Ère tertiaire (argiles, calcaire gréseux, argile gréseuse).
- e) Formations de très faible perméabilité (Ère primaire) : principalement des roches métamorphiques telles que les Micaschistes et les schistes (mont de Gueribssa et le passage entre Kef Toumièttes), outre les schistes micassés étant phase intermédiaire des schistes argileux.

Nous pouvons ainsi constater l'extension plus ou moins importantes des formations lithologiques à perméabilité faible et très faible, couvrant plus d'un quart du bassin : 292 km<sup>2</sup>, soit 25,5 % de la superficie totale du bassin.

## **II. LE COUVERT VEGETAL ET SA DISCONTINUITÉ SPATIALE DANS LE BASSIN :**

La végétation est la résultante des facteurs physico-géographiques antérieurement étudiés : relief, lithologie et climat, auxquels s'ajoute le facteur anthropique via le défrichement et la mise en culture ainsi le reboisement. Son influence sur l'écoulement de

surface autant que souterrain ne peut être négligé, d'une part on diminue la force vive des eaux pluviales, et d'une autre on favorise l'infiltration ce qui aboutit à la régularisation des écoulements par :

- l'Atténuation des valeurs des débits de pointes des crues.
- l'Alimentation des débits de base, ce qui donne – en cas de crue – l'allure d'un hydrogramme étalé dans le temps.

## **II.1. Classification de la végétation selon le degré de couverture des sols :**

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.

Pour cela, il a semblé bien efficace de classer les types de végétation en fonction de son efficacité de couverture proposée par J.TRICART (1963, 1968)<sup>1</sup>, son application au bassin du Saf-Saf a permis de distinguer les grandes catégories suivantes :

### **a) Surfaces bien protégées en permanence :**

Correspond aux forêts (souvent dégradées), prairies naturelles ou artificielles permanentes.

Pour une surface d'occupation estimée par environ 28700 ha, soit 25 % de la superficie totale du bassin, le taux de couverture en forêts paraît insuffisant surtout que cette formation est en croissante dégradation à cause des incendies en premier lieu.

Le long du bassin versant du Saf-Saf, s'éparpillent les principales forêts suivantes (carte 8) :

- **Forêt de Stora (380 m d'altitude) :** localisée à l'Est du massif de Ain Zouit et est en croissante dégradation.

---

<sup>1</sup> Cette classification est plus adaptée aux régions ' tempérées ' océaniques à couverture végétale relativement dense.

Carte 8

**COUVERTURE VEGETALE**  
bassin-versant du Saf-Saf



Source : Mohamed Salah KHERFOUCHI « le bassin du Saf-Saf (Algérie orientale) : Irrigation et Aménagement des ressources en Eau », Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle (Nancy II – 1984)

- **Forêt de l'Oued Saf-Saf (200 – 600 m)** : située à l'Est d'El Harrouch au Nord du barrage des Zardézas, couvrant le Djebel El Rhédir, essentiellement occupée par les maquis.
- **Forêt de Bissy (100 – 530 m)** : située au S-E de Skikda, entièrement composée de maquis de chêne liège et est en régression suite aux feux répétés.
- **Forêt de Arb Staiha (570 m)** : sise à l'ouest du bassin et au N-W de Sidi Mèzghiche. Se constitue par des maquis denses abordés à chêne liège, cette forêt est aussi fréquemment exposée aux feux.
- **La forêt de Beni Mejaled (400 – 1060 m)** : se trouve à l'extrémité S-E du bassin, limitée par l'Oued Khorfane à l'Ouest, et l'Oued Khemakhem au Nord, elle regroupe surtout les formations suivantes : des subéraies denses, formations denses à chêne liège mélangé avec du chêne Zeen et des maquis denses abordés à chêne liège.

b) Surfaces incomplètement protégées :

On peut distinguer :

- ✓ La couverture végétale laissant 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 (céréales, cultures maraîchères).

Ce type de culture est le plus dominant dans le bassin versant du Saf-Saf.

c) Surfaces mal protégées ou nues :

Où le ruissellement et l'érosion hydrique sont largement favorisés : terrains dénudés, broussailles à faible densité...

## **II.2. Dégradation de la forêt :**

Les forêts du bassin du Saf-Saf sont en exponentielle régression, cela est lié à des facteurs multiples : surexploitation des richesses forestières, surpâturage et dilapidation des espaces forestiers en faveur des terres agricoles et parcours, mais les incendies demeurent la principale cause aboutissant à l'abaissement de la forêt.

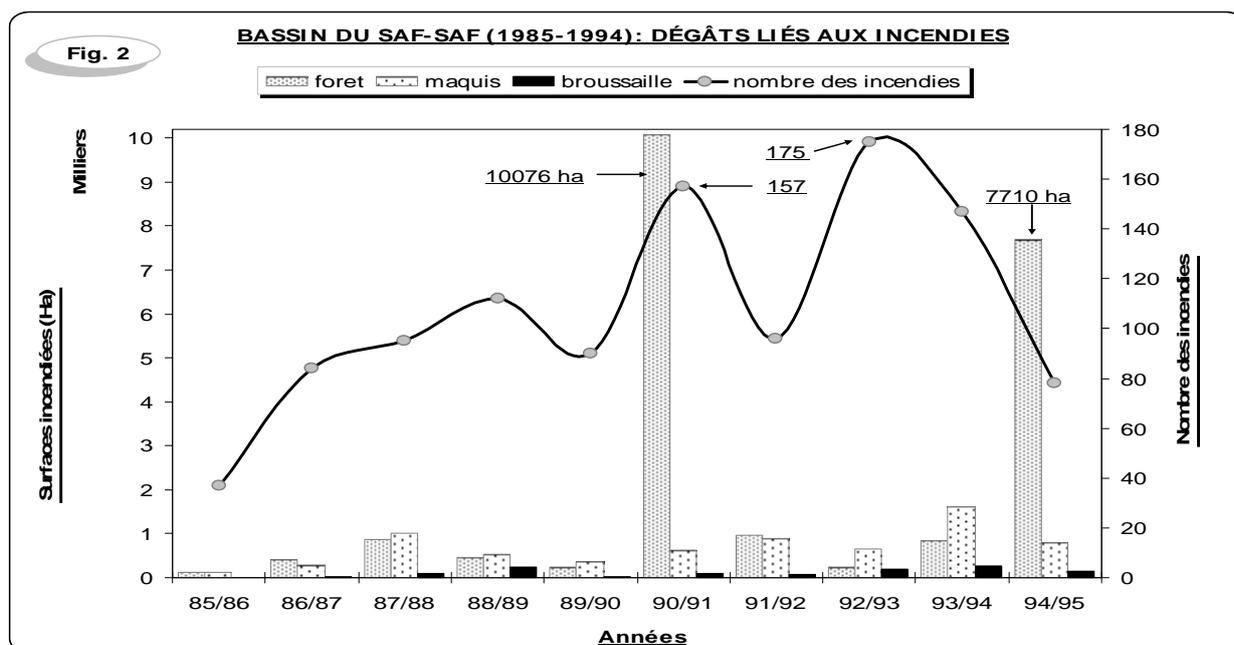
Le tableau n° 2 nous donne un aperçu sur les dégâts liés au feu au niveau du bassin du Saf-Saf de 1985 à 1994<sup>1</sup>.

Tableau 2, Bassin versant du Saf-Saf (1985 – 1994) : Bilan des incendies (En ha)

Années	Nombre des incendies	Dégâts (ha)			Total (ha)
		Forêt	Maquis	Broussaille	
1985	37	118,05	118,77	0,3	237,12
1986	84	412,06	300,5	29	741,56
1987	95	865,34	1009	100	1974,34
1988	112	451,32	523,56	236,77	1211,65
1989	90	246,56	360	20,86	627,42
<b>1990</b>	<b>157</b>	<b>10075,63</b>	<b>621,68</b>	<b>106</b>	<b>10 803,31</b>
1991	96	957	892,5	84,01	1933,51
1992	175	245,68	651,31	185,05	1082,04
1993	147	851	1611,06	273,75	2735,81
<b>1994</b>	<b>78</b>	<b>7709,5</b>	<b>804,75</b>	<b>145</b>	<b>8659,25</b>
1985 - 1994	1071	21932,14	6893,13	1180,74	30 006,01

Source : direction de la protection civile Skikda

De 1985 à 1994, le bassin versant du Saf-Saf a perdu 30 006 ha de sa couverture végétale naturelle, dont 73 % des forêts. Cette formation a été la plus endommagée en 1990 avec 10 076 ha de pertes soit 34 % des dégâts pendant toute cette période. Ainsi que l'année 1994 qui a enregistré 7 710 ha (26 %) du total des altérations (Fig 2).



<sup>1</sup> La période 1985 – 1994 est la seule période récente et disponible chez les directions des forêts et de la protection civile (Skikda).

Il est à noter que les avaries liés aux feu ne sont pas forcément fonction du nombre d'incendies enregistré par années, à titre indicatif l'année 1992 était marquée par un nombre record des incendies (175) alors qu'elle n'a recensé que 1 082,04 ha de dégâts, à l'opposée de l'année 1994 qui – avec moins d'incendies étant 78 – a compté plus de dommages (8 659,25 ha). Et par conséquent, la végétation du bassin est en ascendant abaissement.

*Tableau 3, tableau synthétique de la première partie*

Paramètres	Symbole ou formule	Unité	Bassin du Saf-Saf	Bassin des Zardézas
<b>Surface</b>	A	Km <sup>2</sup>	1154	322
<b>Périmètre</b>	P	Km	150	81
<b>Pluies (1970 – 2003)</b>	P moy	mm	599	659,8
<b>Altitudes &gt; 400m</b>	-	%	34	97,15
<b>Indice de compacité</b>	$C = 0,28 * (P/A^{0,5})$	-	1,24	1,26
<b>Longueur de rectangle équivalent</b>	$L = (A^{0,5} * C) / 1,12 * [1 + (1 - (1,12/C)^2)^{0,5}]$	Km	46,65	29,6
<b>Largueur de rectangle équivalent</b>	$L = A / L$	Km	24,75	10,87
<b>Indice de pente globale</b>	$I_g = D / L$	M / km	17,15	22,30
<b>Dénivelée spécifique</b>	$D_s = I_g * A^{0,5}$	M	528,71	400,17
<b>Altitude maximale</b>	H max	M	1220	1220
<b>Altitude moyenne</b>	H moy	M	316,53	628
<b>Altitude médiane</b>	H <sub>50%</sub>	M	286,6	580
<b>Altitude minimale</b>	H min	M	26	206
<b>Longueur du talweg principal</b>	Lp	Km	55	24
<b>Densité de drainage</b>	$D_d = L / A$	Km/km <sup>2</sup>	0,92	3,39
<b>Coefficient de torrentialité</b>	$C_t = D_d * (N_1 / A)$	-	0,22	22,1
<b>Temps de concentration 'Giandotti'</b>	$T_c = (4A^{0,5} + 1,5 L_p) / (0,8 (H_{moy} - H_{min})^{0,5})$	H	14,57	6,56
<b>Perméabilité</b>	Faible à très faible	%	25,5	51,82
<b>Couverture végétale pérenne</b>	Forets – Maquis - Broussailles	%	25	31

## CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

L'étude des paramètres physico géographiques du bassin versant du Saf-Saf a permis de faire ressortir deux ensembles de natures contrastées :

- Zone d'alimentation en écoulement (Partie amont du bassin versant du Saf-Saf ou sous-bassin des Zardézas) :

Le bassin du Saf-Saf est bien encadré par un relief accidenté d'une altitude assez considérable (plus de 400 m), et qualifié de *fort* ( $D_s = 400,15$  m), la dominance des formations lithologiques de faible à très faible perméabilité (51,82 %), favorise l'écoulement de surface compte tenu que la couverture végétale pérenne n'occupe que 31 % de sa superficie et est en ascendante dégradation, outre l'importance des terrains de fortes pentes dépassant 12 % (68,62 %), tout cela a engendré la genèse d'un réseau hydrographique dense ( $D_d = 3,39$  km / km<sup>2</sup>) et surtout d'une grande capacité de mobilisation des eaux ruisselées ( $T_c = 6,56$  h).

- Zone de réception de l'écoulement (plaine et ville de Skikda) :

Cette partie est marquée par la régression des pentes (moins de 5 %) ainsi que par sa très faible perméabilité (formations quaternaires) représentant des circonstances hautement favorables à la genèse et la propagation des inondations.

De ce fait, et au niveau de l'ensemble du bassin versant du Saf-Saf, les précipitations (659,8 mm)<sup>1</sup> se traduisent en ruissellement et s'écoulent à partir des altitudes considérables, sur des terrains de : relief très fort ( $D_s = 528,71$  m) et de pentes importantes, perméabilité faible à très faible (25,5 %), faible couverture végétale permanente (25 %), et cela s'effectue via un chevelu hydrographique dense ( $D_d = 0,92$  km / km<sup>2</sup>) aboutissant à une rapide mobilisation des eaux de surface ( $T_c = 14,57$  h) pour atteindre enfin la partie aval du bassin (plaine et la ville de Skikda) aboutissant à une difficulté de drainage où le cours d'eau demeure incapable d'évacuer les lames d'eaux étendues sur des terrains de faible pente et de très faible perméabilité.

---

<sup>1</sup> Module interannuel de 34 ans (station des Zardézas).

Donc, le bassin supérieur présente des conditions favorables à la formation des crues alors que la partie aval constitue un environnement propice à la genèse et la propagation des inondations.

---

## **DEUXIEME PARTIE**

# **LES CONDITIONS HYDRO-PLUVIOMETRIQUES ET LEUR VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLES**

### ➤ **CHAPITRE I**

**CRITIQUE DES DONNEES HYDRO-PLUVIOMETRIQUES**

### ➤ **CHAPITRE II**

**LES ECOULEMENTS MOYENS ET MAXIMAUX ET LEURS VARIABILITES**

### ➤ **CHAPITRE III**

**LES PRECIPITATIONS, LEURS VARIATIONS ET INFLUENCES SUR  
L'ECOULEMENT ANNUEL ET MENSUEL**

## **Introduction**

Outre les facteurs oro-hydrographiques, morphologiques, lithologiques et biogéographique, les conditions climatiques et pluviométriques en premier lieu jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique. Les précipitations interviennent par :

- leur hauteur totale annuelle qui détermine l'abondance pluviale.
- Leur répartition mensuelle et saisonnière qui distingue les régimes hydrologiques.
- Leurs totaux journaliers et surtout les averses : facteur générateur des crues.

La présente section du travail aura pour objectif d'étudier les écoulements extrêmes des crues et leurs places dans les écoulements moyens pour une série d'observation requise de 24 ans (1974-1998). Afin d'avoir une information historique des plus importantes crues, on va tenter d'extraire les rapports relatifs et potentiels entre les pluies (entant que facteur fondamental et générateur des crues), et l'écoulement à des niveaux temporels décroissants : échelle annuelle, mensuelle et journalière, pour essayer de comprendre le mécanisme du phénomène extrême et le comportement hydrologique du bassin versant.

Cela sera abordé en mettant plus de lumière sur les valeurs extrêmes que se soient des pluies ou des écoulements de surface, compte tenu de l'exceptionnalité du phénomène dénommé : Risque d'inondation

Outre, nous consacrerons une réflexion exclusive pour l'année 1984 / 1985 s'agissant d'une année nettement remarquable et historiquement exceptionnelle.

## CHAPITRE I

### **CRITIQUE DES DONNEES HYDRO-PLUVIOMETRIQUES**

#### **I.1. Equipement hydro-pluviométrique du bassin :**

Le bassin du Saf-Saf disposait de 15 stations pluviométriques dont 10 fonctionnent à l'heure actuelle. Parmi ces dernières, nous avons retenu 7 stations pour l'étude (Tableau 4), et une station appartient au bassin de O. Guèbli (situé à l'Ouest du bassin de O. Saf-Saf) pour des raisons de méthodologie (carte 9).

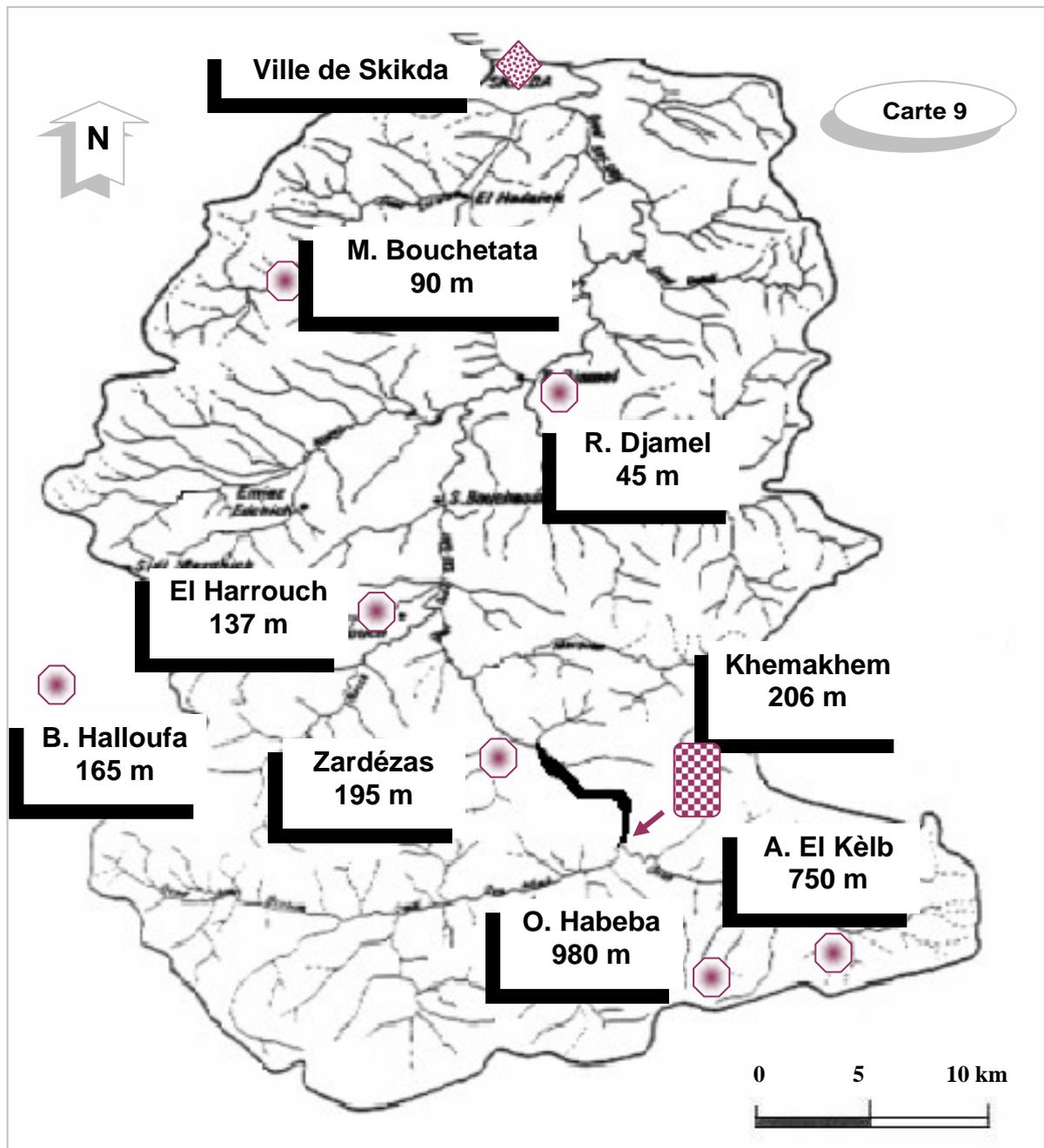
La répartition géographique des postes pluviométriques paraît plus ou moins homogène, excepté le sous bassin des Zardézas qui comporte 3 postes dont 2 très rapprochés (Ain El Kèlb et Ouled Habeba) à l'Est pour une superficie de 323 km<sup>2</sup>, donc région sous équipée. Ces deux dernières stations mesurent les pluies qui vont être transformées en écoulement de surface et allant à la station hydrométrique de Khemakhem qui est implantée à 206 m juste après la confluence de O. Bou Adjeb et O. Khemakhem avant le barrage des Zardézas.

La plupart de ces stations ont été installées dans des sites choisis à l'abri des obstacles pour la simple raison de commodité. L'ensemble des postes est géré par l'A.N.R.H, très peu sont gérés par l'O.N.M<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> (O.N.M) : L'office National de Météorologie.

# BASSIN DU SAF-SAF : RESEAU HYDRO - PLUVIOMETRIQUE



  
R. Djamel  
45 m

Station pluviométrique (retenue dans l'étude) : Nom et altitude (m)



Station hydrométrique

Tableau 4: Bassin versant de O. Saf-Saf, stations retenues dans l'étude

Code Mécano-graphique	Nom de la station	Coordonnées				Altitude	Période disponible
		X	Y	Longitude	Latitude		
030901	Khemakhem <sup>1</sup>	878.96	370.3	-	-	206	1973 – 98
030903	Zardézas	875.3	374.6	6.53.48E	36.35.59	195	1970 – 03
030904	Ain El Kèlb	888.15	363.4	7.2.2 E	36.29.37	750	1970 – 90
030905	Ouled Habeba	882.1	362.95	6.58.4 E	36.29.32	980	1970 – 03
030906	El Harrouch	869.85	380.2	6.50.19E	36.39.9	137	1970 – 03
030908	Emdjez Edchich	866.6	386.1	6.48.21E	36.42.23	100	1970 – 03
030909	Ramdane Djamel	874.95	389.85	6.54.1 E	36.47.43	45	1970 – 03
030911	Bouchetata	866.05	395.85	6.48.14 E	36.47.43	90	1970 – 03
030705	Bou Halloufa (BV de O.Guebli)	856.35	382.25	6.41.18 E	36.40.35	165	1970 - 03

Source : Annuaire pluviométrique de l'Algérie

## I.2. CRITIQUE ET HOMOGENEISATION DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES :

Avant d'exploiter les informations statistiques des pluies fournies par les services gestionnaires, il est plus prudent de tester leur qualité et combler les lacunes d'observation, le cas échéant.

### A) Contrôle de fiabilité des séries (METHODES DES DOUBLES CUMULS) :

On a établi par le moyen de la méthode des « Doubles Cumuls » une vérification de l'homogénéité des totaux annuels.

A l'échelle du bassin du Saf-Saf, deux stations de référence (El Harrouch et Zardézas), ont été choisies au titre d'une série de 34 ans (1970/71 – 2003/04) pour la raison de leur continuité, fiabilité et longueur relative des observations. Chacune d'entre elles servira de base de comparaison des postes voisins.

Les graphiques des doubles cumuls (Figs : 3-1, 3-2, 3-3, 3-4), ont permis de déceler quelques anomalies au niveau de quelques stations.

À titre d'exemple, le graphique des doubles cumuls de comparaison de la série d'El Harrouch avec celle de Bouchetata a montré une nette cassure au niveau de l'année 1976/1977, la même opération a été effectuée pour les autres postes.

<sup>1</sup> Station de jaugeage.

Fig. 3-1

**doubles- cumuls / El Harrouch - Ramdane Djamel**

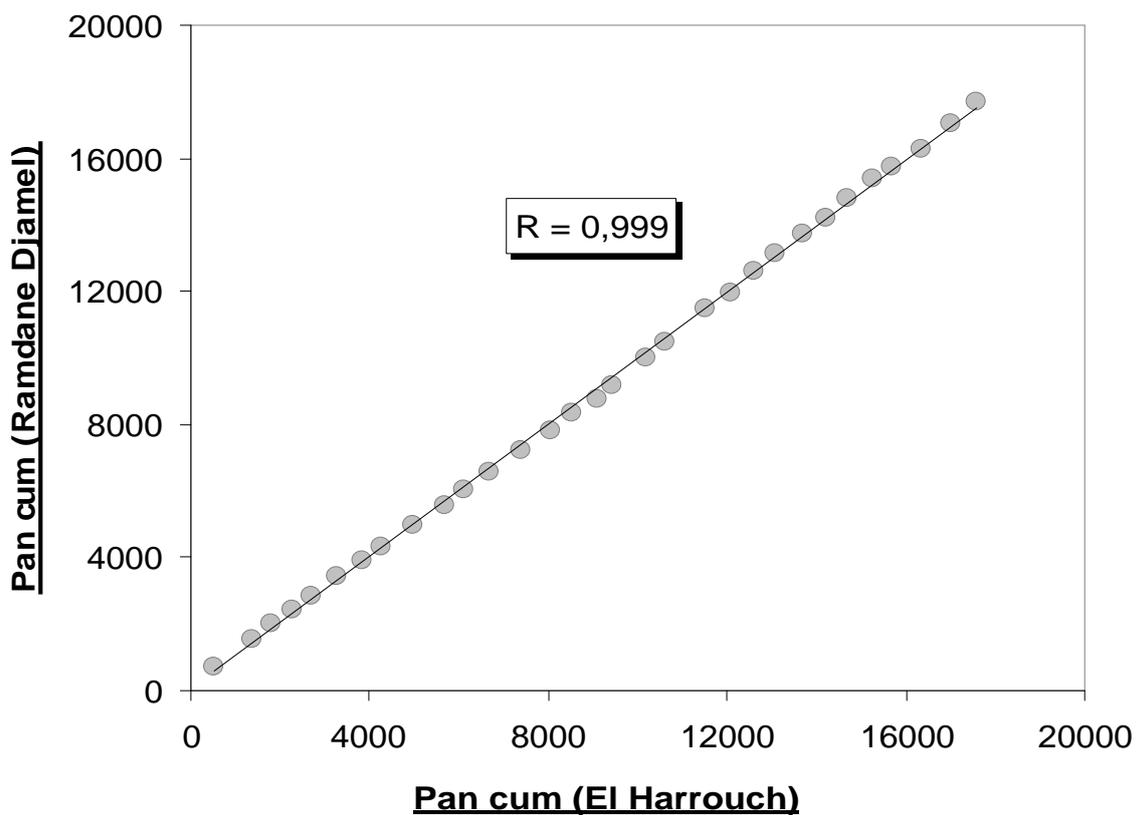
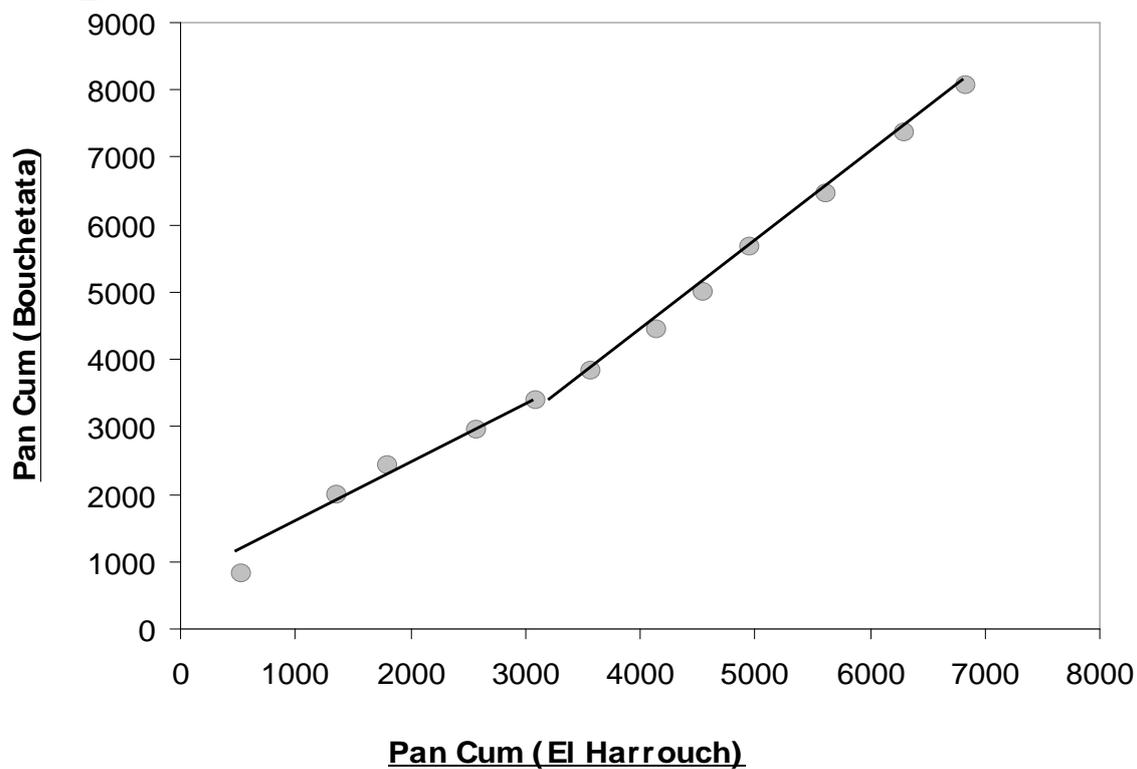


Fig. 3-2

**Doubles Cumuls: El Harrouch - Bouchetata**



Pour corriger les séries des pluies, nous avons procédé à deux démarches différentes, selon le cas qui se présente :

- ✓ Tantôt en corrigeant pour surestimer les valeurs douteuses afin de tomber en adéquation avec l'objectif du travail (valeurs extrêmes) comme par exemple correction de la période 1977-2003 au poste de Bouchetata.
- ✓ Tantôt en sous-estimant les valeurs de pluies ayant recours à des périodes plus longues ou plus récentes. Par exemple, on a sous-estimé les valeurs de pluies pendant la période 1970-1984 en se basant sur la période 1985-2003 étant la plus longue et la plus récente.

Les coefficients correctifs correspondants figurent dans le tableau suivant :

*Tableau 5 : Les coefficients correctifs des doubles cumuls.*

Poste pluviométrique	Période corrigée	Coefficient correctif	Poste référentiel
Bouchetata	1977 – 2003	1,3	El Harrouch
Ouled Habeba	1970 – 1984	0,86	El Harrouch
Emdjez Edchich	1987 – 1997	0,73	El Harrouch
Ain El Kèlb	1977 – 1987	1,24	El Harrouch

**B) Comblement des lacunes d'observation (METHODE DE LA REGRESSION LINEAIRE) :**

Le but de cette méthode consiste à estimer les variables pluviométriques inconnues de certaines stations à partir des observations d'autres stations voisines prises pour référence et au préalable, il faut que la linéarité de la régression soit satisfaite.

L'estimation de la variable inconnue Y à partir de la variable observée X se réalise à partir de la droite de régression de Y en X, ayant pour équation :

$$Y'_j = R_k (K_{oy}/K_{ox}) * (X_j - X_{moyk}) + Y_{moyk}$$

- Y'<sub>j</sub>: moyenne des valeurs possibles de la hauteur précipitée au poste B pour l'année ou le mois concerné j.
- Y<sub>moyk</sub> : moyenne de la série incomplète, calculée pour la même période k que celle de la série de base.

Fig. 3-3

**doubles cumuls: El Harrouch-Emdjez Edchich  
(Avant la correction)**

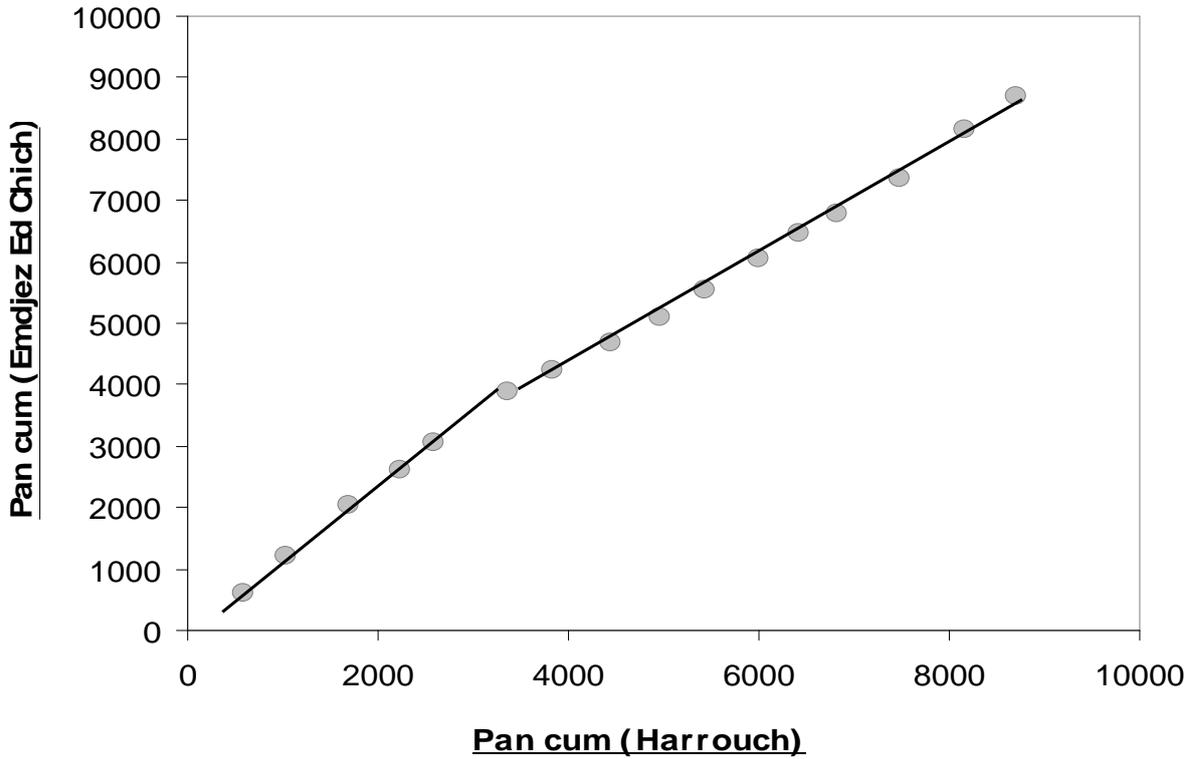
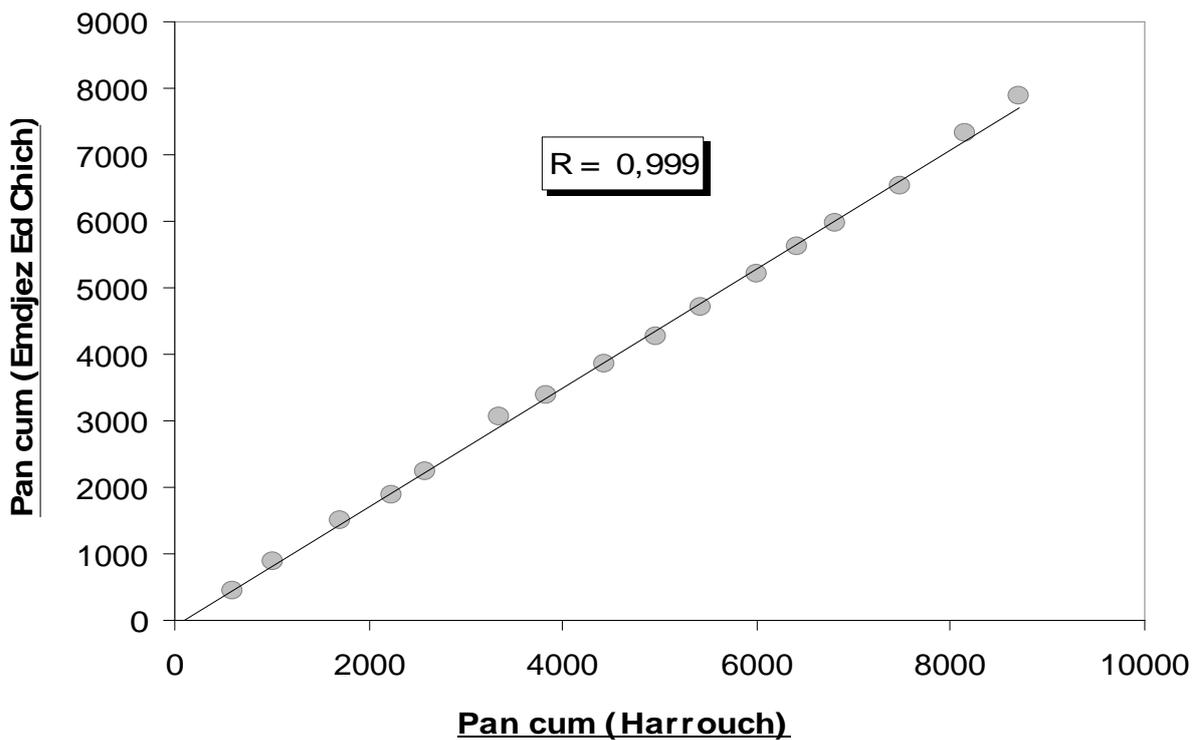


Fig. 3-4

**doubles cumuls: El Harrouch-Emdjez Edchich (Après la correction)**



- $X_{moyk}$  : moyenne de la série b'observation de base correspondante a la période k.
- $R_k$  : coefficient de corrélation entre les données Y et X, estimé à partir de k couples de X et Y simultanés.

$$R_k = \frac{(\sum X_i - X_{moyk})(Y_i - Y_{moyk})}{(k-1) \cdot K_{oy}}$$

- $K_{oy}$  et  $K_{ox}$  : écart types de Y et X.
- $X_j$  : variable connue de la station de base à partir de laquelle est estimée la variable inconnue de la station lacunaire.

Les résultats finaux du contrôle de fiabilité et de comblement des données pluviométriques sont rassemblés dans le tableau n°6.

*Tableau 6, Bassin du Saf-Saf (1970 – 2003) : Résultats d'homogénéisation des données pluviométriques.*

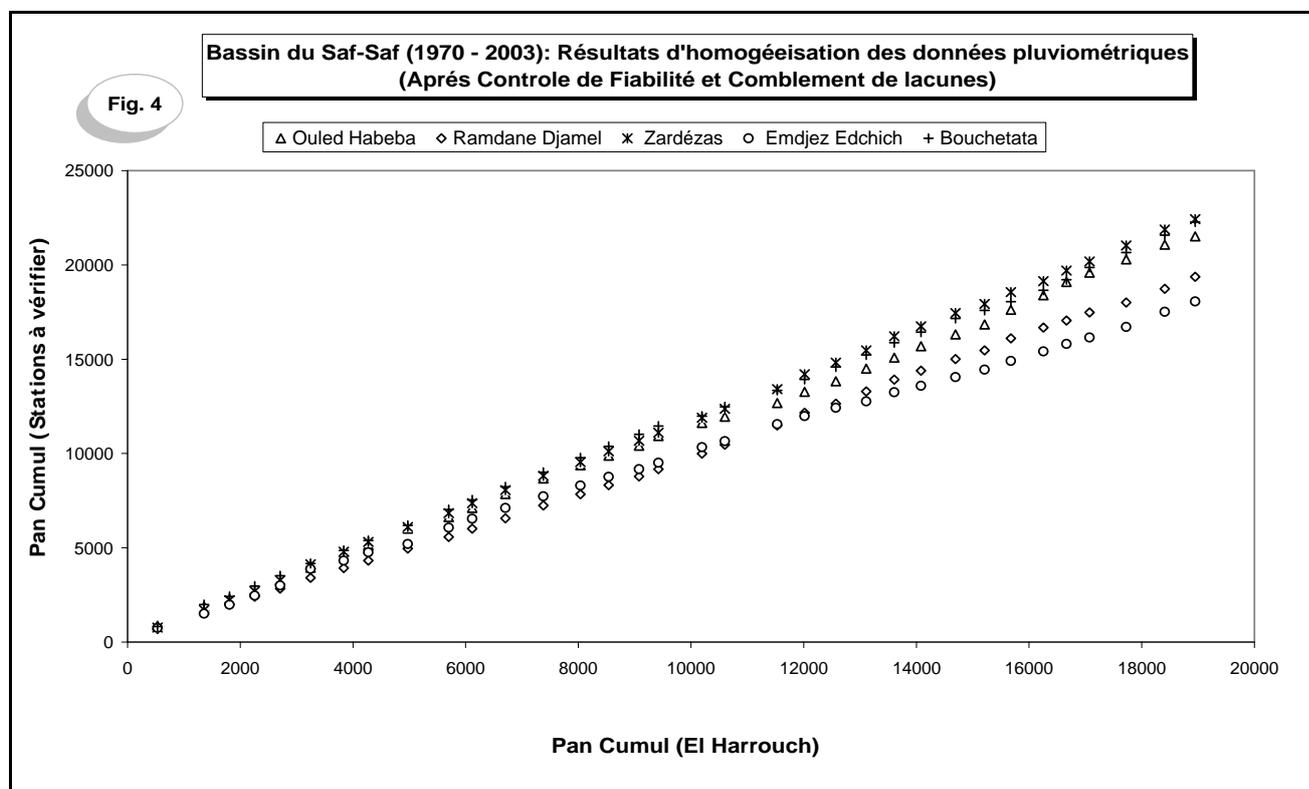
Années	El Harrouch		Ouled Habeba		Ramdane Djamel		Zardézas		Emdjez Edchich		Bouchetata	
	Pan	Pan (Cum)	Pan	Pan (Cum)	Pan	Pan (Cum)	Pan	Pan (Cum)	Pan	Pan (Cum)	Pan	Pan (Cum)
2003	530,7	530,7	864,8	864,8	695,3	695,3	764,8	764,8	749,4	749,4	819,5	819,5
2002	826,1	1356,8	1012,6	1877,4	868,8	1564,1	938,4	1703,2	759,7	1509,1	1172,3	1991,8
2001	454,6	1811,4	407	2284,4	440,7	2004,8	515,6	2218,8	467,9	1977	432,2	2424
2000	445,3	2256,7	482,8	2767,2	400,7	2405,5	477,7	2696,5	484,6	2461,6	545,3	2969,3
1999	451,1	2707,8	525,1	3292,3	431,5	2837,0	576,7	3273,2	536,1	2997,7	551,2	3520,5
1998	540,8	3248,6	652,1	3944,4	569,2	3406,2	852,7	4126	886,9	3884,6	642,3	4162,7
1997	590,1	3838,7	843,8	4788,2	520,4	3926,6	662,6	4788,6	432,7	4317,3	692,3	4855,1
1996	434,9	4273,6	351	5139,2	396,6	4323,2	522	5310,7	439,2	4756,5	534,7	5389,8
1995	697,9	4971,5	873,4	6012,6	630,1	4953,3	791,2	6101,8	440,3	5196,7	801,8	6191,6
1994	726,7	5698,2	618,1	6630,7	625,4	5578,7	733,3	6835,1	868,8	6065,6	831	7022,6
1993	417,5	6115,7	480	7110,7	438,1	6016,8	529,3	7364,4	476,7	6542,2	517,1	7539,6
1992	588,6	6704,3	736,1	7846,8	545,5	6562,3	694,5	8058,9	573	7115,2	690,8	8230,4
1991	675,1	7379,4	832,6	8679,4	680,4	7242,7	755,8	8814,7	614,7	7729,9	778,6	9009
1990	657,2	8036,6	699,3	9378,7	593,6	7836,3	724,8	9539,5	573,1	8303	760,4	9769,5
1989	502,4	8539	508,7	9887,4	491,2	8327,5	577	10116,5	459	8762	603,3	10372,7
1988	539,8	9078,8	526,3	10413,7	456,8	8784,3	562,1	10678,6	410	9172	641,2	11014
1987	343,1	9421,9	515,7	10929,4	388,6	9172,9	421,8	11100,4	341,5	9513,5	441,5	11455,5
1986	774,9	10196,8	688,7	11618,1	825,9	9998,8	799	11899,4	820,8	10334,3	526,3	11981,8
1985	402,3	10599,1	331,2	11949,3	464,8	10463,6	468,5	12367,9	322,4	10656,8	501,6	12483,5
1984	932,2	11531,3	728,7	12678,0	1028,0	11491,6	1039,4	13407,3	901,6	11558,3	859,5	13342,9
1983	483,3	12014,6	595,0	13273,1	664,6	12156,2	795,4	14202,7	428,1	11986,5	583,9	13926,8
1982	556,6	12571,2	556,0	13829,0	484,6	12640,8	619,4	14822,1	432,0	12418,5	658,3	14585,1
1981	539,3	13110,5	673,2	14502,2	656,1	13296,9	646,1	15468,2	347,2	12765,7	640,7	15225,9
1980	496,5	13607,0	586,0	15088,2	624	13920,9	748,5	16216,7	481,5	13247,2	648,7	15874,6
1979	473,5	14080,5	602,8	15691,1	475,0	14395,9	527,7	16744,4	336,8	13584,0	566,0	16440,5
1978	613,5	14694,0	618,5	16309,6	615,2	15011,1	697,9	17442,3	463,5	14047,5	716,1	17156,6

1977	517,0	15211,0	533,7	16843,3	458,0	15469,1	489,2	17931,5	394,1	14441,6	428,1	17584,7
1976	464,3	15675,3	778,7	17622,0	637,2	16106,3	626,0	18557,5	462,5	14904,1	463,2	18047,9
1975	579,7	16255,0	770,6	18392,6	569,3	16675,6	588,1	19145,6	504,8	15408,9	603,5	18651,4
1974	409,3	16664,3	708,8	19101,4	378,8	17054,4	557,7	19703,3	403,5	15812,4	563,8	19215,2
1973	408,3	17072,6	491,9	19593,3	422,8	17477,2	482,1	20185,4	342,3	16154,7	653,6	19868,8
1972	650,5	17723,1	703,5	20296,8	526,5	18003,7	842,7	21028,1	557,3	16712,0	787,8	20656,6
1971	685,7	18408,8	778,9	21075,7	725,3	18729,0	847,0	21875,1	799,9	17511,9	921,8	21578,4
1970	539,8	18948,6	440,1	21515,8	647,1	19376,1	556,8	22431,9	546,6	18058,5	691,9	22270,3

Comblement mensuel
  Comblement annuel

La figure n° 4 représente la représentation des hauteurs pluviométriques annuelles des stations retenues dans l'étude, après contrôle de fiabilité (Doubles cumuls) et homogénéisation (Régression linéaire).

En terme de fiabilité des données pluviométriques, la plupart des postes pluviométriques ont présenté une bonne crédibilité et très peu de lacunes, excepté la station de Bouchetata qui est marquée par une anomalie remarquable. Outre l'absence d'enregistrement aux niveaux : mensuel et annuel.



## **CHAPITRE II**

### **LES ECOULEMENTS MOYENS ET MAXIMAUX ET LEURS VARIABILITES**

Dans un premier temps, nous allons essayer de faire ressortir les crues annuelles qui ont marqué le bassin et observées à Khemakhem entre 1973 et 1998, connaître leur variabilité temporelle et la place qu'occupent les débits de pointes vis-à-vis les écoulements moyens tant au niveau annuel qu'au mensuel.

Après avoir réalisé une tâche pareille avec les pluies (régime annuel et mensuel), nous allons tenter de comprendre l'évolution des écoulements moyens et extrêmes en fonction des pluies qui leur sont temporellement associées.

On a jugé plus rationnel sur le plan méthodologique de commencer ce chapitre par l'étude de l'écoulement pour bien montrer l'amplitude du phénomène des crues dans le bassin puis, aborder l'analyse des pluies entant que facteur explicatif de l'écoulement.

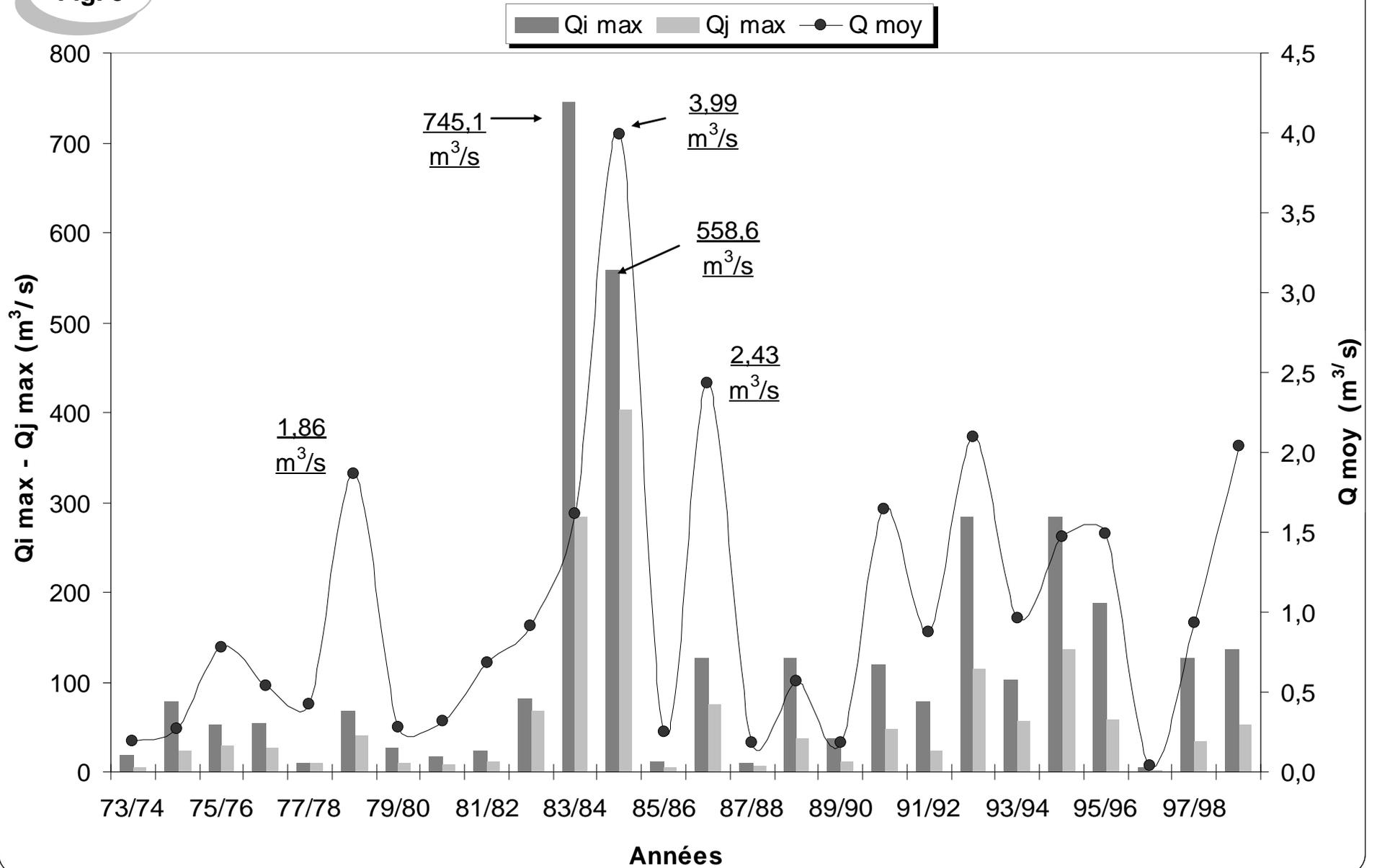
## I. VARIATIONS INTERANNUELLES DES ECOULEMENTS MOYENS ET EXTREMES :

*Tableau 7, Khemakhem 1973 -1998 : Variations interannuelles des débits moyens et maximaux*

Année	Qi max (m <sup>3</sup> /s)	Date	Qj max (m <sup>3</sup> /s)	Date	Q moy (m <sup>3</sup> /s)
<b>73/74</b>	19,00	25-sept.	5,66	27-oct.	0,19
<b>74/75</b>	78,02	17-févr.	23,51	17-févr.	0,27
<b>75/76</b>	52,88	14-mars	29,68	14-mars	0,78
<b>76/77</b>	54,38	18-nov.	27,25	18-nov.	0,53
<b>77/78</b>	9,72	7-févr.	9,72	7-févr.	0,42
<b>78/79</b>	68,35	16-avr.	40,70	16-avr.	1,86
<b>79/80</b>	27,50	6-mars	10,76	6-mars	0,28
<b>80/81</b>	17,50	31-déc.	8,56	31-déc.	0,32
<b>81/82</b>	23,98	7-mars	11,34	7-mars	0,68
<b>82/83</b>	82,77	11-nov.	68,35	11-nov.	0,91
<b>83/84</b>	<b>745,10</b>	3-févr.	<b>283,20</b>	3-févr.	1,62
<b>84/85</b>	<b>558,60</b>	30-déc.	<b>404,00</b>	30-déc.	<b>3,99</b>
<b>85/86</b>	12,17	9-mars	4,95	9-mars	0,25
<b>86/87</b>	<b>127,00</b>	1-avr.	<b>74,69</b>	1-avr.	<b>2,43</b>
<b>87/88</b>	10,30	9-mars	6,44	9-mars	0,19
<b>88/89</b>	127,00	21-déc.	38,07	21-déc.	0,57
<b>89/90</b>	38,25	5-janv.	11,92	5-janv.	0,19
<b>90/91</b>	120,10	24-déc.	47,79	24-déc.	1,64
<b>91/92</b>	78,30	10-avr.	23,31	10-avr.	0,87
<b>92/93</b>	284,50	31-déc.	114,80	31-déc.	2,10
<b>93/94</b>	103,20	19-févr.	56,48	19-févr.	0,97
<b>94/95</b>	<b>284,00</b>	8-janv.	<b>136,40</b>	8-janv.	1,47
<b>95/96</b>	188,60	7-oct.	57,90	28-févr.	1,49
<b>96/97</b>	5,48	26-déc.	2,01	11-janv.	0,04
<b>97/98</b>	127,00	6-déc.	34,01	6-déc.	0,93
<b>98/99</b>	<b>136,30</b>	28-nov.	53,11	28-nov.	<b>2,04</b>
<b>Moy 73/98</b>	130,00	-	60,95	-	1,04
<b>Ecart type 73/98</b>	173,25	-	91,25	-	0,92
<b>CV % 73/98</b>	133,27	-	149,72	-	88,44
<b>Max 73/98</b>	<b>745,10</b>	-	<b>404,00</b>	-	<b>3,99</b>
<b>Ratio : max/moy</b>	6	-	7	-	4

Fig. 5

**KHÉMAKHEM 1973 / 1998 : VARIATIONS INTERANNUELLES DES MODULES**



À partir des données hydrométriques journalières de Khemakhem pour une période disponible de 18 ans : 73/74 – 98/99<sup>1</sup>, nous avons réalisé l'inventaire de toutes les crues annuelles (valeurs des débits maximaux journaliers et instantanés de l'année) afin de détecter les crues exceptionnelles et leur rapport avec les écoulements moyens par :

- ✓ Les valeurs observées annuelles et mensuelles.
- ✓ Les valeurs récurrentielles des écoulements.

### **I.1. Les débits moyens annuels : variabilité et durée de récurrence :**

#### **a) Les fluctuations interannuelles :**

La figure n° 5 est élaborée à partir du tableau n° 7, elle représente les variations interannuelles des débits annuels : moyens, maximaux journaliers et maximaux instantanés (Khemakhem 1973 – 1998).

Avec une nette irrégularité interannuelle des débits moyens absolus ( $CV = 88,44 \%$ )<sup>2</sup>, Le module interannuel est de l'ordre de  $1,04 \text{ m}^3/\text{s}$ , valeur dépassée seulement 9 fois pendant toute la période. Où l'année 1984 / 1985 a battu le record avec  $3,99 \text{ m}^3/\text{s}$  de débit moyen annuel soit un ratio  $Q_{84/85} / Q_{73/98} = 4$ , ainsi que l'année 86/87 avec  $2,43 \text{ m}^3/\text{s}$  soit un ratio d'environ 2.

Par ailleurs, ce module a dépassé les valeurs annuelles 17 fois dont l'année 96/97 qui était la moins abondante en écoulement moyen ( $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ ) avec un ratio  $Q_{73/98} / Q_{96/97} = 27$ .

#### **b) Durées de récurrence :**

L'étude de la variabilité interannuelle des débits moyens normaux mérite d'être complétée par l'étude fréquentielle, c'est-à-dire l'estimation des valeurs limites atteintes ou dépassées pendant une période donnée, ceci exige de rechercher la loi d'ajustement la mieux adéquate à la distribution des débits moyens annuels pour ensuite, estimer les paramètres d'ajustement (moyenne et écart type), ainsi que la variable réduite servant au calcul des quantiles.

---

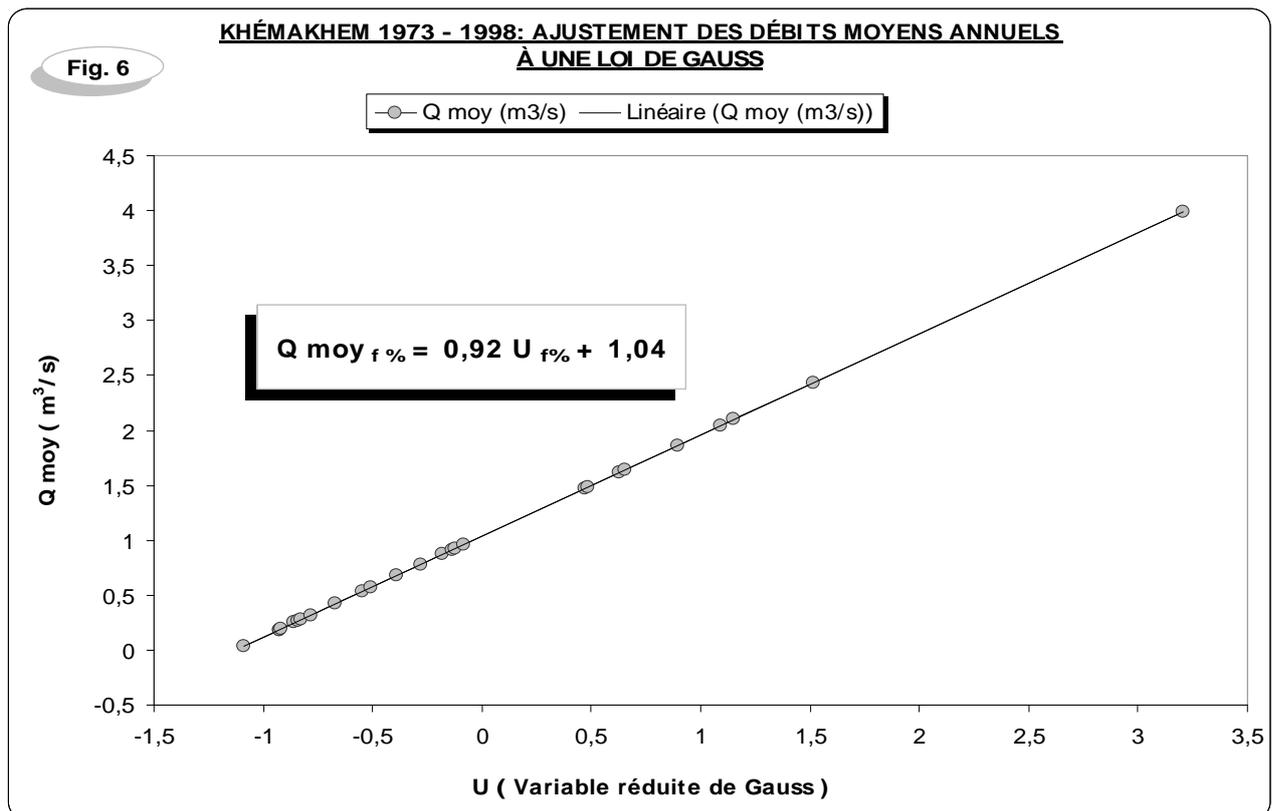
<sup>1</sup> A.N.R.H (Constantine)

<sup>2</sup> (Coefficient de Variation)  $CV = (Q' / dQ) * 100$  : -  $Q'$  : moyenne des débits moyens absolus  
-  $dQ$  : écart type

Pour ce faire, on procède à l'arrangement des débits par ordre croissant (ou décroissant) en attribuant à chaque variable son rang dans la série normale, compté à partir de 1, puis on calcule les fréquences expérimentales correspondantes suivant la formule :

$$f = (i - 0,5) / n. \quad \text{Où : (i : rang ; n : taille de l'échantillon).}$$

En faisant la corrélation débit – fréquence, il apparaît que les débits moyens annuels de Khemakhem (73 / 98) s'ajustent à la loi normale (Fig 6).



L'estimation des débits moyens fréquentiels se fait en appliquant l'équation de la variable réduite de Gauss :

$$U_f = (Q_{\text{moy}} - Q_f) / dQ \quad \text{d'où :} \quad Q_f = Q_{\text{moy}} + U_f \cdot dQ.$$

On a obtenu l'équation de la droite de Henry comme suit :

$$Q_f = 1,04 + U_f \cdot 0,92$$

À partir de laquelle on a estimé les quantiles : Médiane, décennale et centennale (Tableau 8) et les valeurs des variables réduites correspondant aux fréquences retenues (0,5 – 0,9 – 0,98 – 0,99) sont données par la table de Gauss (Annexe 1).

Pour évaluer l'erreur type sur l'estimation des quantiles, on calcule l'intervalle de confiance à 95 % de chance :

$$Ic_{a\%} = (sQ / (2n)^{0,5}) * (U^2_f + 2)^{0,5} * U_{a\%} \quad \text{où:}$$

$U_{a\%}$  représente la variable réduite de Gauss correspondante à la fréquence :

$$F = 1 - (1 - a) / 2.$$

*Tableau 8: Khemakhem, estimation des débits moyens annuels fréquents (à 95 % de chance)*

Réurrence T (ans)	Fréquence (F %)	Variable réduite de Gauss U	$Q_{f\%}$ ( $m^3/s$ )	$Ic_{95\%}$ ( $U_{f95\%} = 1,96$ )
Médiane 2 ans	0,5	0	1,04	+/- 0,35 0,69 < 1,04 < 1,39
Décennale 10 ans	0,9	1,28	2,22	+/- 0,48 1,74 < 2,22 < 2,7
Quinquennale 50 ans	0,98	2,05	2,93	+/- 0,63 2,3 < 2,93 < 3,56
Centennale 100 ans	0,99	2,32	3,17	+/- 0,69 2,48 < 3,17 < 3,86

Ainsi on a calculé le temps de retour pour les débits moyens annuels des années record.

*Tableau 9: Khemakhem, récurrence des débits moyens annuels record.*

Année	$Q_{moy}$ ( $m^3/s$ )	U	f %	T (ans) = 1 / f
84 / 85	3,99	3,2	0,0006	<b>1667</b>
86 / 87	2,43	1,5	0,06	15
92 / 93	2,1	1,2	0,11	9
98 / 99	2,04	1,1	0,13	8

L'année 84 / 85 était marquée par un débit moyen de très grande période de retour (plus de 1500 ans) d'où la spécificité de cette année de part son écoulement.

## **I.2. Les débits maximaux annuels et leur variabilité :**

Pendant la période allant de 1973 à 1998, le bassin du Saf-Saf a été marqué par des crues de grande amplitude. Elles ont provoqué d'importants dégâts au bassin inférieur du Saf-Saf et la basse ville de Skikda en particulier, parmi lesquels nous citons :

- Crue du 3 février 1984 :

Lors de cette crue, le débit maximal instantané a été de l'ordre de 745,1 m<sup>3</sup>/s (Ratio  $Q_i_{3/2/84} / Q_i_{73-98} = 6$ ), tant au journalier il a atteint 283,2 m<sup>3</sup>/s. (Ratio  $Q_j_{3/2/84} / Q_j_{73-98} = 7$ ).

- Crue du 30 décembre 1984 :

L'année 84/85 a été marquée par cette crue qui a pu atteindre respectivement les débits instantané et journalier de 558,6 et 404 m<sup>3</sup>/s.

- Crue du 8 mars 1985 :

Avait les débits de 266,5 m<sup>3</sup>/s et 132,1 m<sup>3</sup>/s, et c'est par ces deux dernières crues que l'année 84/85 a été de telle abondance en écoulement moyen.

Ces crues et autres -sont caractérisées par la coïncidence de date entre le débit de pointe et le débit maximal journalier, cela nous fait penser qu'elles étaient étalées dans le temps.

Le phénomène des crues est un incident exceptionnel d'une grande irrégularité interannuelle, et cela est nettement justifié par les coefficients de variations qui ont largement dépassé les 100 % (133,27 et 149,72 %).

L'année 83/84 se place en 1<sup>er</sup> rang par son débit instantané 745,1 m<sup>3</sup>/s, et en 2<sup>e</sup> position par son débit journalier. L'année 84/85 est sans doute l'année à débit journalier leader pendant toute la période (404 m<sup>3</sup>/s).

## **II. Variations mensuelles des écoulements moyens et maximaux :**

L'analyse des débits mensuels permet de mettre en lumière les régimes des cours d'eau, et leurs variations interannuelles ou intersaisonniers.

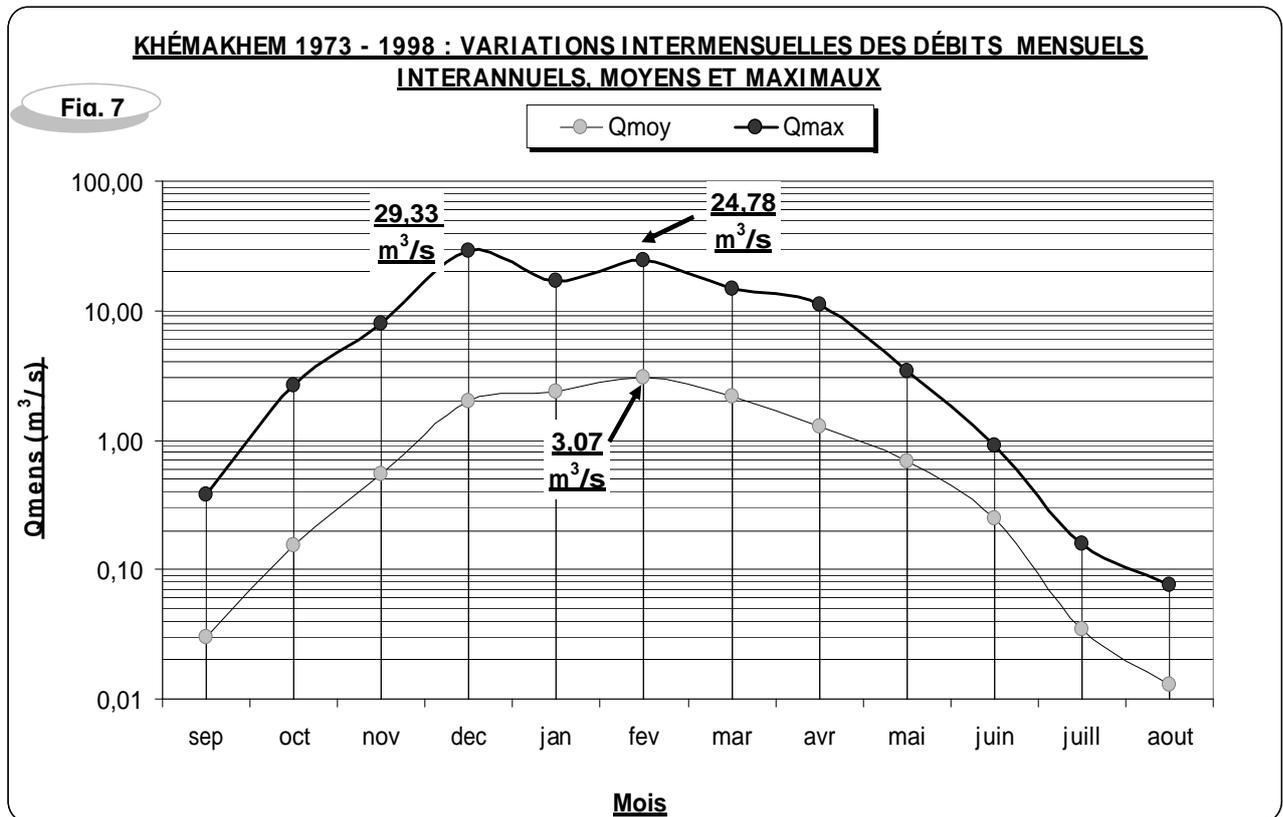
Pour répondre au but envisagé, nous essayerons de faire ressortir les mois les plus abondants en écoulement de surface de part ses valeurs moyennes et maximales (débits de pointe), en vue de comprendre les régimes : moyen et maximal de l'écoulement.

La figure n° 7 - réalisée à partir du tableau n° 10 - représente les variations intermensuelles des débits mensuels interannuels : moyens et maximaux (Khemakhem 1973 – 1998).

Tableau 10, (Khemakhem 73 – 98), les débits mensuels interannuels : Moyens et maximaux.

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juill	août
<b>Qmoy</b> 73-98	0,03	0,15	0,55	<u>2,02</u>	2,39	<u>3,07</u>	<u>2,18</u>	1,26	0,68	0,25	0,03	0,01
<b>Le max interannuel</b>	0,27	1,38	3,81	<u>19,18</u>	14,56	<u>13,07</u>	<u>13,25</u>	6,84	7,58	4,84	0,33	0,09
<b>Année du max</b>	97/98	95/96	98/99	<u>84/85</u>	92/93	<u>83/84</u>	<u>84/85</u>	86/87	78/79	78/79	78/79	89/90
<b>Qmax</b> 73-98	0,38	2,68	7,92	<u>29,33</u>	17,13	<u>24,78</u>	<u>14,63</u>	11,18	3,38	0,9	0,16	0,08
<b>Le max interannuel</b>	3,86	28,88	54,38	<u>404</u>	136,4	<u>283,2</u>	<u>132,1</u>	74,69	21,55	12,54	1,58	1,47
<b>Année du max</b>	97/98	95/96	82/83	<u>84/85</u>	94/95	<u>83/84</u>	<u>84/85</u>	86/87	91/92	82/83	82/83	89/90
<b>Ratio Q<sub>max</sub>/Q<sub>moy</sub></b>	13	<u>17</u>	14	<u>15</u>	7	8	7	9	5	4	5	6

En effet, la saison humide (hiver et printemps) allant de décembre à avril est la plus abondante en écoulement moyen maximal, le régime moyen du bassin du Saf-Saf – d’une alimentation essentiellement pluviale – présente un maximum au mois de février (3,068 m<sup>3</sup>/s), avec un maximal de série observé au février 1984 (13,075 m<sup>3</sup>/s), suivi de près par janvier (2,389 m<sup>3</sup>/s) et sa valeur maximale était au mois de janvier 1993 (14,56 m<sup>3</sup>/s).



Cependant, les écoulements moyens ne correspondent pas forcément aux écoulements maximaux, où on trouve la concentration des écoulements de pointe en deux mois pics : décembre en premier lieu ( $29,327 \text{ m}^3/\text{s}$ ) avec un maximum interannuel observé en décembre 1984, suivi du mois de février ( $24,776 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et son maximum était en 83/84 ( $283,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ), qui est en revanche le mois le plus abondant en écoulement moyen.

Le ratio  $Q_{\text{max}}_{73-98} / Q_{\text{moy}}_{73-98}$  exprime la participation des écoulements de pointes dans les écoulements moyens mensuels, il est de l'ordre de 17 pour le mois d'octobre qui correspond à l'automne, caractérisé surtout par les pluies dites battantes : spatio-temporellement limitées, outre la structure dégradée du sol après une longue saison d'aridité donc, aboutissant à des crues de grands débits mais de très courtes durées.

En définitif, nous pouvons considérer que le bassin du Saf-Saf est de :

- ✓ Régime hydrologique moyen *monomodal* (février).
- ✓ Régime hydrologique de crue *bimodal* (décembre et février).

## **CHAPITRE III**

### **LES PRECIPITATIONS, LEURS VARIATIONS ET INFLUENCES SUR L'ÉCOULEMENT ANNUEL EN MENSUEL**

Ce chapitre s'intéresse en particulier aux pluies, facteur climatique primordial et déterminant de l'amplitude et du régime de l'écoulement par :

- ❖ Les hauteurs annuelles des pluies et ses fluctuations temporelles.
- ❖ La répartition saisonnière et mensuelle qui détermine le régime de l'écoulement.
- ❖ Les pluies journalières maximales entant que facteur déclanchant des crues.

## I. Les précipitations annuelles et leurs effets sur l'écoulement annuel :

Le bassin du Saf-Saf reçoit annuellement une tranche d'eau allant de 520 à 660 mm voir plus dans certains sites bien isolés. La pluviométrie du bassin est surtout caractérisée par une irrégularité :

- Temporelle : Annuelle et interannuelle.
- Spatiale : Aval – Intérieur du bassin – Amont.

### I.1. Les précipitations annuelles : Estimation de la lame d'eau précipitée (1970/71-2003/04) :

L'estimation de la lame d'eau précipitée a été effectuée par la méthode des isoyèthes (Carte 10). Moins rapide mais plus précise que celle de Thiessen. Elle consiste à calculer une moyenne compensée par planimètrage des zones comprises entre les diverses Isoyèthes, et affectée de la moyenne arithmétique des valeurs de ces deux isoyèthes ( $P_n$ ), il suffit donc d'additionner les volumes d'eaux précipités pour chaque aire et de diviser l'ensemble par la superficie totale du bassin versant ( $S$ ) :  $P_{\text{moy}} \text{ (mm)} = \sum P_n * S_n / S$

Pour se faire, on a exploité les données pluviométriques de 7 stations appartenantes au bassin du Saf-Saf pour la période 1970/71-2003/04 (excepté la station de Ain El Kèlb : 1970-1988), outre la station dénommée Bou Halloufa (pour la même période), qui appartient au Bassin versant de l'Oued Guèbli (Sud-Ouest du bassin du Saf-Saf), pour balancer le sous-équipement du sous-bassin des Zardézas.

Les résultats des calculs ainsi effectués sont illustrés dans le tableau suivant :

*Tableau 11, Estimation de la lame d'eau précipitée moyenne annuelle.*

Tranches des pluies	Pn (mm) (Moyenne arithmétique)	S <sub>n</sub> (Surfaces partielles)		Volumes partiels P <sub>n</sub> · S <sub>n</sub> (mm * km <sup>2</sup> )
		Km <sup>2</sup>	%	
520 – 540	530	39	3,38	20 670
540 – 560	550	73,3	6,35	40 315
560 – 580	570	126,8	10,99	72 276
580 – 600	590	424,7	36,08	250 573
600 – 620	610	208,4	18,06	127 124
620 – 640	630	134	11,61	84 420

640 – 660	650	147,8	12,81	95 550
Ensemble du bassin du Saf-Saf	-	1154	100	690 928

$$P_{\text{moy } 70/71-03/04} = (\sum P_n \cdot S_n) / S = \mathbf{599 \text{ mm.}}$$

À partir de la carte de l'esquisse pluviométrique annuelle, on peut constater que la diminution pluviométrique se fait selon un axe de sens S.E – N.O où, la station d'Emdjez Edchich est un centre d'augmentation pluviométrique vers le Nord-Ouest (chaîne numidique), le Nord (littoral) et vers le Nord-Est (massif de Radjeta) où l'effet de l'altitude est net.

La tranche d'eau moyenne annuelle reçue par l'ensemble du bassin (599 mm) est relativement faible. En revanche, elle peut assurer un volume annuel de 691 millions de m<sup>3</sup>, elle appartient à la classe 580 – 600 mm qui est la classe dominante, et qui correspond à une superficie de 424,7 km<sup>2</sup>, soit 36,08 % de la superficie totale du bassin.

Le module pluviométrique moyen interannuel de la série normale de 34 ans (1970 – 2003)<sup>1</sup> pour les sept stations est de l'ordre de 609 mm, soit 1,64 % plus fort que la lame d'eau précipitée pour la même période donc, un écart plus ou moins faible, et cela peut être du à la répartition relativement homogène des postes pluviométriques à travers le bassin.

## **I.2. Précipitations interannuelles : Variabilité et durée de récurrence :**

L'irrégularité est le caractère des précipitations annuelles au niveau du bassin du Saf-Saf, cette irrégularité peut être enregistrée à deux niveaux :

### a) L'échelle locale (Au niveau de la même station):

Le phénomène de variabilité interannuelle des modules pluviométriques peut être exprimé à l'aide du coefficient de variation CV, qui traduit la dispersion relative des pluies, il est de l'ordre de 23,74 % (El Harrouch), avec une hauteur maximale enregistrée en 1984/85 égale à 932,2 mm, soit un ratio  $P_{84/85} / P_{70-03} = 1,7$  (Fig 8).

<sup>1</sup> Excepté la station de Ain El Kèlb qui a une série normale de 19 ans (1970 – 1988).



b) L'échelle régionale (Inter-stationnaire) :

Ainsi, on peut exprimer cette variabilité interannuelle des pluies d'un poste à l'autre, et caractériser la pluviosité propre à chaque année par l'écart à la normale ( $e_i$  %)<sup>1</sup>, correspondant à l'excédent ou au déficit des précipitations de l'année considérée rapportée à la moyenne de 34 ans (tableau 12).

Tableau 12, écart à la moyenne des pluies annuelles (1970/71 – 2003/04).

Station	Année sèche extrême 1970 - 2003		Année humide extrême 1970 - 2003		Module (mm)
	$e_i$ (%)	Année homologue	$e_i$ (%)	Année homologue	
Bouchetata	-31	77/78	+89	2002/03	553,7
Ramdane Djamel	-32	74/75	+86	84/85	510,8
El Harrouch	-36	87/88	+74	84/85	536,6
Emdjez Edchich	-37	85/86	+77	84/85	630,5
Zardézas	-33	87/88	+65	84/85	604,5
Ouled Habeba	-45	85/86	+68	2002/03	627,7
Ain El Kèlb	-45	85/86	+81	84/85	620,2

Il s'avère que les deux années extrêmes (humide et sèche) communes à la majorité des postes, correspondent respectivement à 1984/85 et 1985/86 ; le tableau précédent montre que pour l'année de plus forte pluviosité, l'écart à la moyenne varie de +65 % (Zardézas) à +89 % (Bouchetata), alors qu'il oscille pour l'année de la plus faible pluviosité entre – 45 % (Ain El Kèlb et Ouled Habeba) et –31 % (Bouchetata).

Ainsi, l'année 2002/03 était la plus pluvieuse à Ouled Habeba et Bouchetata (+68 % et +89 %), à l'opposée de l'année 1987/88 qui a connu un déficit prononcé.

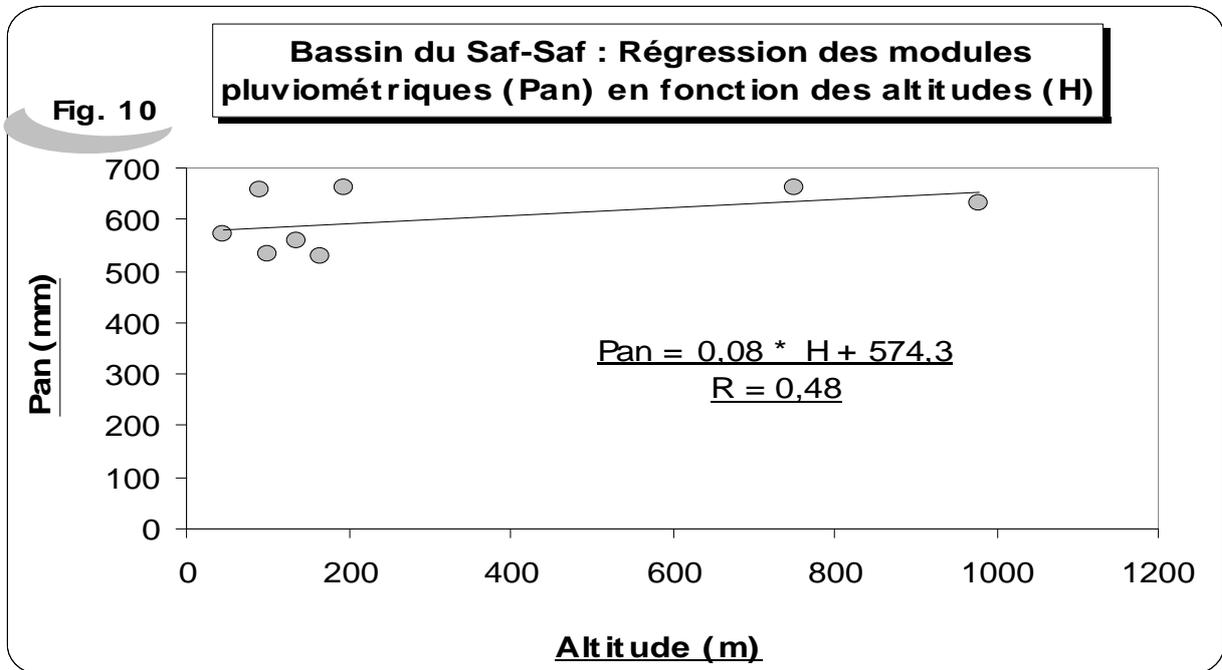
Par ailleurs, l'irrégularité interannuelle peut se traduire au niveau spatial, où on peut distinguer un effet de double nature :

- ✓ **Effet de l'altitude** : d'une part, les postes sis à l'amont du bassin (Ain El Kèlb – Zardézas – Ouled Habeba) reçoivent sûrement des hauteurs annuelles de pluies (627,7 – 630,5 – 604,5 mm) plus que les postes sis à des altitudes

<sup>1</sup>  $Ei_{( \% )} = [(Pi - Pn) / Pn] \cdot 100$

○  $e_i$  : écart à la normale  
 ○  $P_i$  : totale de l'année considérée  
 ○  $P_n$  : module pluviométrique moyen

inférieures, telles Emdjez Edchich ou El Harrouch (510,8 – 536,6 mm). Mais d'une autre part, le coefficient de corrélation de  $Pan$  (module pluviométrique de 34 ans) en fonction de  $H$  (altitude du poste pluviométrique par rapport au niveau de la mer) n'a pas dépassé la valeur de 0,48 (Fig 10).

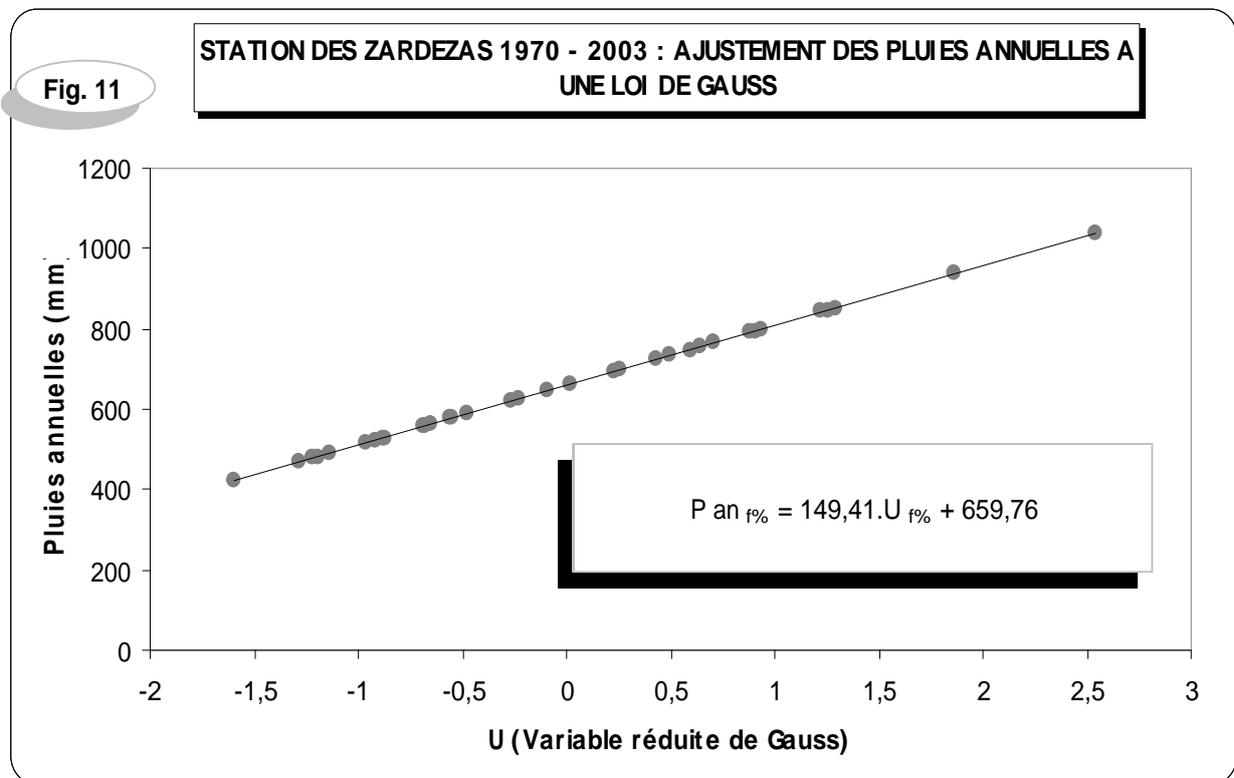


- ✓ **Effet de la mer** : grâce à sa proximité de la mer, la station de Bouchetata - sise seulement à 90 m d'altitude - reçoit annuellement une pluviométrie de 655 mm, valeur bien supérieur à celle reçue par la station de Ouled Habeba (632,8 mm) qui est sise à une altitude largement supérieur (980 m), et c'est pareil pour la station de Ramdane Djamel ( $H = 45$  m ;  $Pan = 569,9$  mm) par rapport à la celle d'El Harrouch ( $H = 137$  m ;  $Pan = 557,3$ ).

En gros, et grâce à leurs altitudes (Chaîne numidique au sud), les stations de l'amont du bassin sont plus pluvieuses que celles de son aval. Mais à leur tour, ces dernières reçoivent plus de pluies par rapport aux stations sises à l'intérieur du bassin.

Par ailleurs, il est complémentaire d'aborder l'étude fréquentielle des pluies annuelles, afin d'estimer les hauteurs pluviométriques probables d'avoir lieu dans certains nombre d'année.

Pour se faire, on a appliqué la loi d'ajustement de la variable réduite de Gauss à l'échantillon des pluies annuelles enregistrées à la station des Zardézas entre 1970/71 et 2003/04 (Fig 11).



Après avoir calculé les paramètres d'ajustement (moyenne = 659,76 mm\_écartype = 149,4 mm<sup>1</sup>), et à partir de l'équation de la droite de Henry donnée comme suit :

**Pan<sub>f%</sub> = 149,4 \* U<sub>f%</sub> + 659,76** ; on a estimé les quantiles pour les récurrences (médiane, décennale, quinquennale et centennale).

Tableau 13, station des Zardézas, estimation des pluies annuelles fréquentielles à 95 % de chance.

Récurrence T (ans)	Fréquence (F %)	Variable réduite de Gauss U	Pan <sub>f%</sub> (mm)	Ic <sub>95%</sub> (U <sub>f95%</sub> = 1,96)
Médiane 2 ans	50	0	660	+/- 50 mm 610 < 660 < 710
Décennale 10 ans	90	1,28	851	+/- 68 mm 783 < 851 < 919
Quinquennale 50 ans	98	2,05	966	+/- 88 mm 878 < 966 < 1054

<sup>1</sup> Station pluviométrique des Zardézas (Série de 34 ans : 1970/71 – 2003/04).

Centennale 100 ans	99	2,32	1006	+/- 96 mm 910 < 1006 < 1102
-----------------------	----	------	------	--------------------------------

De même, on a calculé le temps de retour pour les hauteurs des pluies annuelles des années record.

*Tableau 14, station des Zardézas, récurrence des pluies annuelles record.*

Année	P <sub>an</sub> (mm)	U	f %	T (ans) = 1 / f
1984/85	1039,4	2,54	0,005	200
2002/03	938,4	1,86	0,031	32
1998/99	852,7	1,29	0,098	10
1971/72	847,0	1,25	0,105	9

Semblablement aux écoulements moyens et maximaux, la hauteur de pluie enregistrée pendant l'année 84 / 85 était de telle importance que sa récurrence a pu atteindre 200 ans, ainsi l'année 2002/03 avec un temps de retour estimé à 32 ans.

### **I.3. La relation interannuelle des pluies et débits annuels :**

Les figures n° 12 et 13 illustrent l'évolution interannuelle des lames d'eaux écoulées moyennes annuelles <sup>1</sup> pour la superficie de 322 km<sup>2</sup> (aire contrôlée par la station de Khemakhem), en fonction des pluies annuelles respectivement observées à El Harrouch et Ramdane Djamel (1973 – 1998). Généralement, l'écoulement est fonction des pluies : Les années les plus pluvieuses sont les plus abondantes en écoulement.

Avec 390 mm d'écoulement et 932 mm de précipitations, l'année 1984/85 avait le plus grand coefficient d'écoulement pendant toute la période, suivie de près par l'année 1986/87 avec une lame écoulée de l'ordre de 238 mm représentant 31 % des pluies.

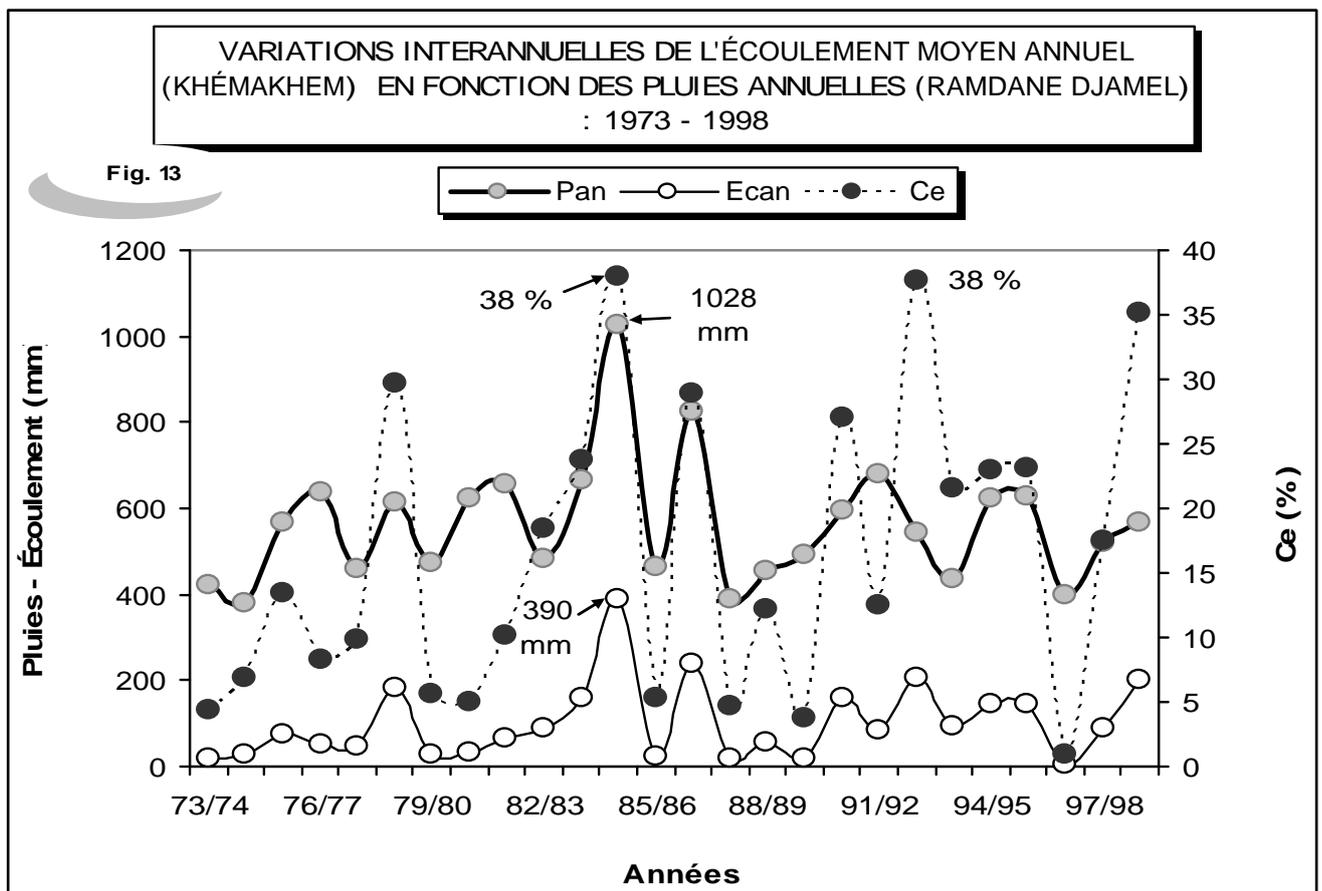
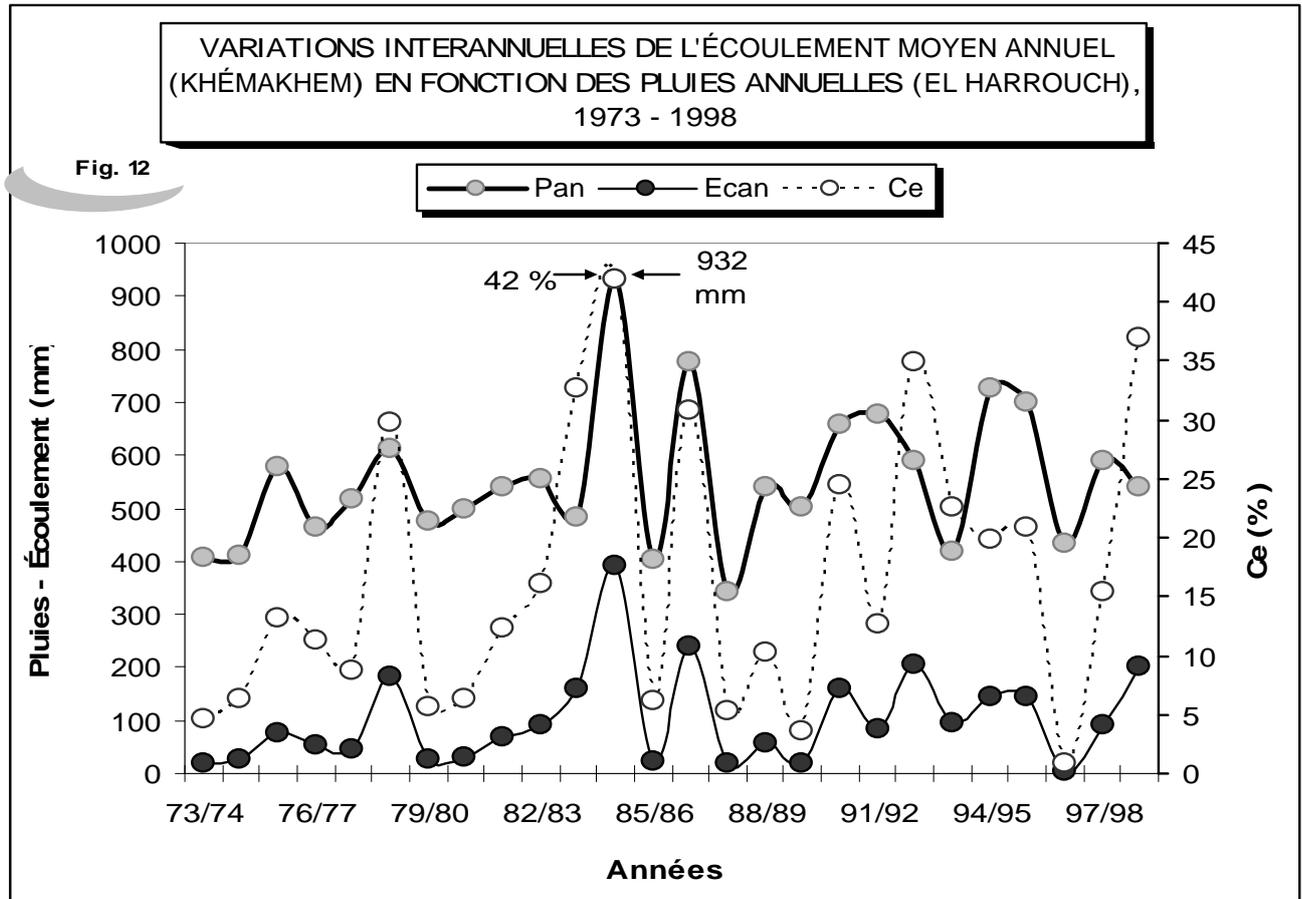
Toutefois, cette concordance n'est pas évidente, on trouve des années moins pluvieuses et ayant plus d'écoulement annuel que d'autres années de pluviosité supérieur, à titre d'exemple, malgré sa pluviosité (675,1 mm) supérieur à celle de l'année 1992/93 (588,6 mm), l'année 1991/92 était marquée par un écoulement de 85,26 mm, étant inférieur

<sup>1</sup> Lame d'eau écoulée (mm) :  $Ec = (Q / S) * 31536$ .

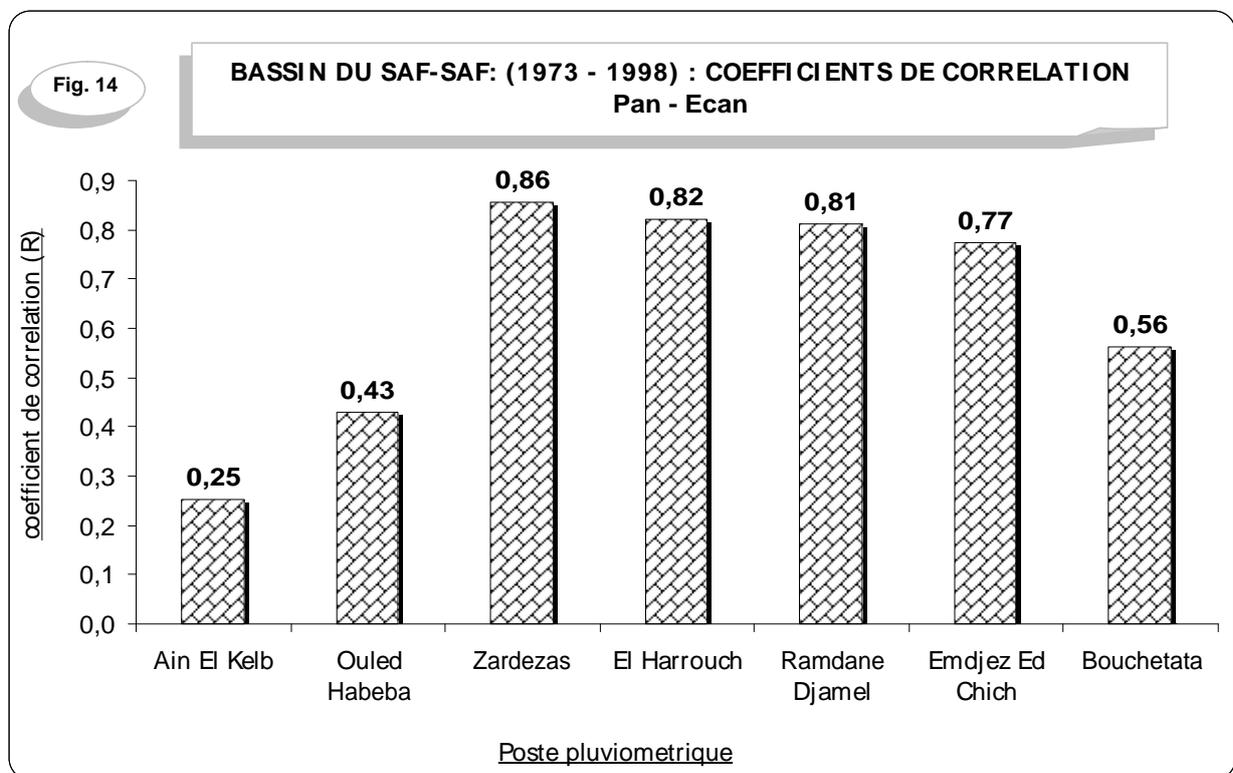
○ Q : débit moyen absolu (m<sup>3</sup>/s)

○ S : superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)

à celui de l'année 1992/93 estimée par 205,48 mm. Par conséquent, la pluviométrie annuelle n'est pas un facteur suffisant pour expliquer l'écoulement notamment celui de pointe.



Cette dépendance relativement faible de l'écoulement moyen annuel des précipitations annuelles se traduit par les faibles valeurs des coefficients de corrélation R, exprimant la régression de l'écoulement en fonction des pluies annuelles, à travers tous les postes pluviométriques qui couvrent le bassin versant, ce coefficient varie suivant une courbe en cloche asymétrique vers l'Aval du bassin (coté droit du graphique), il varie de 0,25 (Ain El Kèlb) à 0,56 (Bouchetata) en passant par 0,86 à la station des Zardézas, où l'emplacement géographique des postes est le facteur décisif puisque la valeur de R s'accroît tout en allant de l'Amont ou de l'Aval vers la station des Zardézas, qui est en position centrale par sa valeur de R ou par sa situation géographique dans le bassin, on peut de ce fait déduire qu'elle représente l'écoulement du bassin supérieur d'une meilleur façon que les autres postes pluviométriques, au moins au niveau annuel (Fig 14).



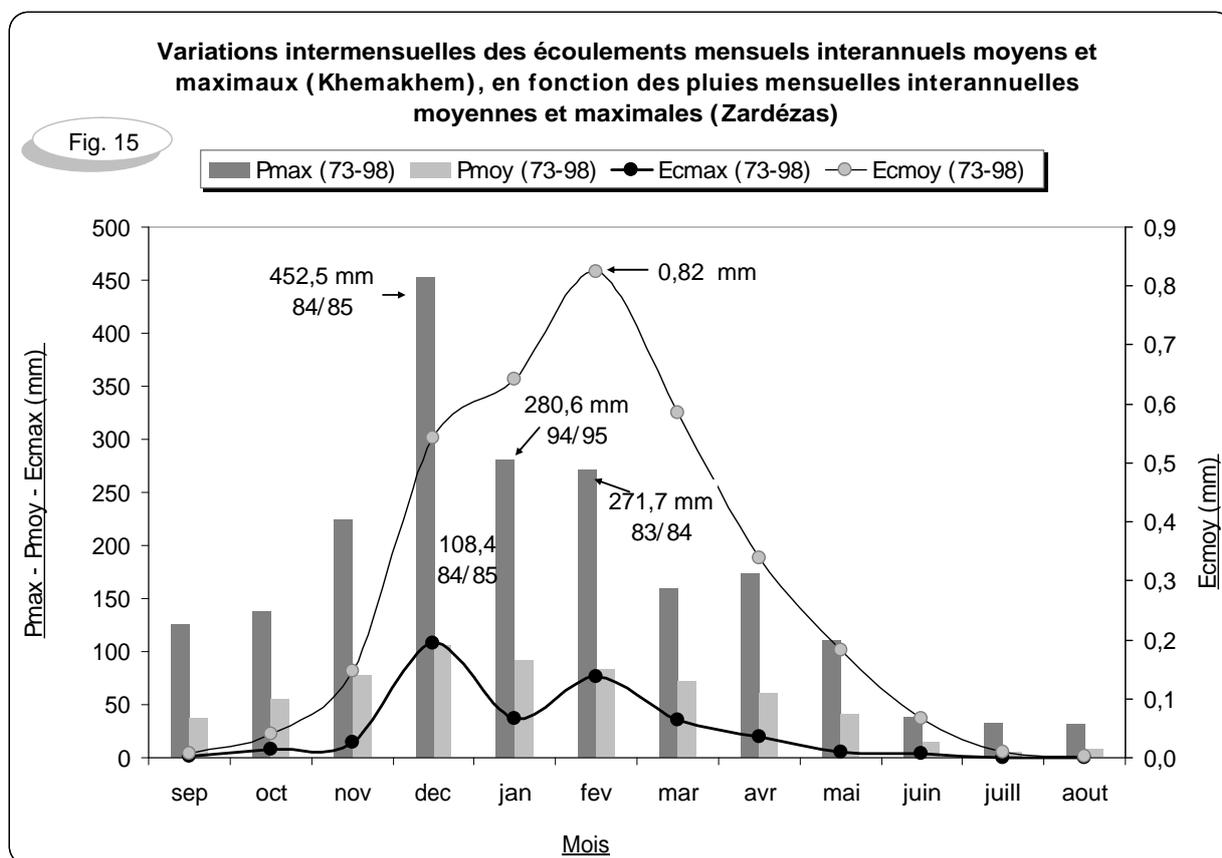
## II. La relation mensuelle des pluies et écoulements mensuels, moyens et maximaux :

La figure n° 15 est faite à partir des données pluviométriques mensuelles de la station des Zardézas (1973 – 1998), et des données hydrométriques de Khemakhem pour la même période.

Tableau 15, Variations intermensuelles des pluies et écoulements mensuels interannuels, moyens et maximaux.

mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juill	août
Pmoy 73-98	36,2	55,2	78,2	<b>104,9</b>	92,16	82,4	71,7	60,4	40,7	14,8	5,4	7,9
Pmax 73-98	124	138	223	<b>452,5</b>	<b>280,6</b>	<b>271,7</b>	<b>159</b>	174,3	<b>110,2</b>	38	32,6	31,4
Année du max	80	82	98	<b>84</b>	<b>95</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	79	<b>92</b>	88	76	81
Ec moy 73-98	0,2	1,2	4,4	<b>16,2</b>	<b>19,2</b>	<b>24,7</b>	17,5	10,1	5,4	2,0	0,3	0,1
Ec max 73-98	3,1	21,5	63,7	<b>236</b>	<b>137,8</b>	<b>199,4</b>	117,8	89,9	27,2	7,2	1,3	0,6
Année du max	97	95	82	<b>84</b>	<b>95</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	87	<b>92</b>	83	83	90

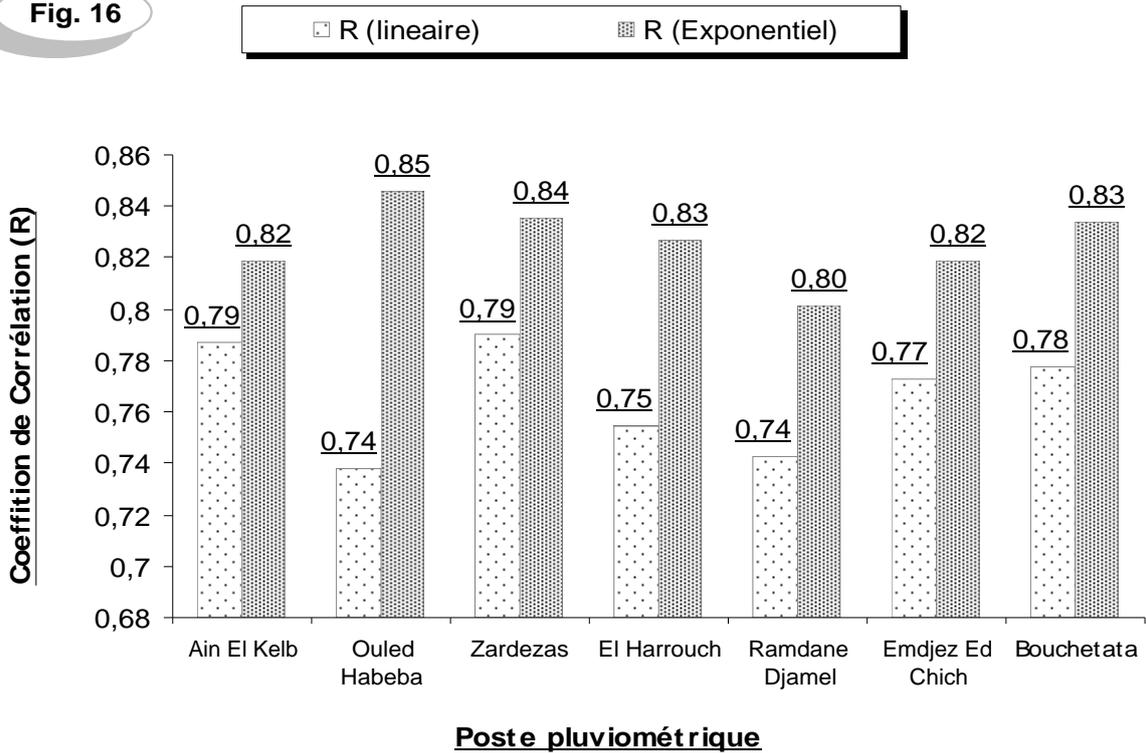
Le régime pluviométrique est *monomodal* où le mois de décembre est en premier grade par ses pluies : Moyenne (104,9 mm) et maximale. La plus importante hauteur mensuelle a été observée au mois de décembre de l'année 84/85 par 452,5 mm : valeur plafond pendant toute la période.



Le rapport pluie - débit en valeurs maximales présente une bonne convenance en mois de : décembre, janvier et février. Où les lames écoulées maximales sont directement dues aux pluies mensuelles maximales qui les ont parfaitement synchronisé (déc 1984 – jan 1995 – fév 1984).

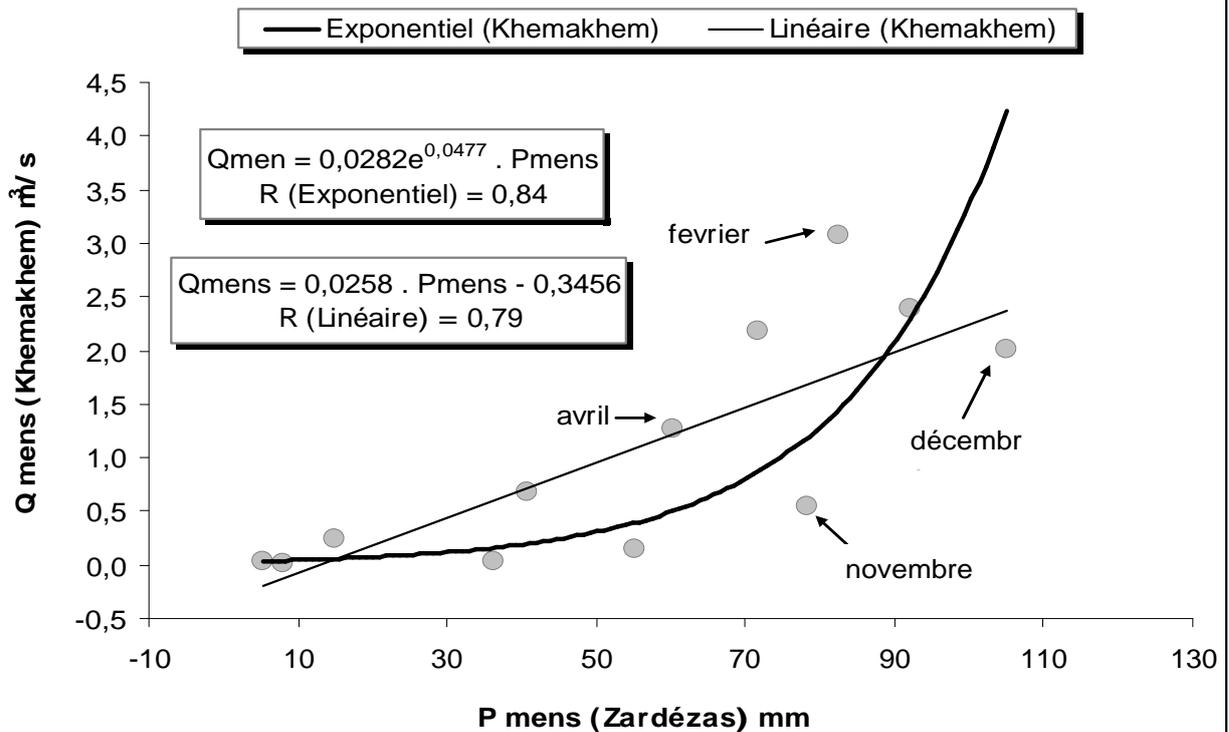
**BASSIN DU SAF-SAF (1973 - 1998) : COEFFICIENTS DE CORRÉLATION  
P mens - EC mens**

**Fig. 16**



**CORRÉLATION : P mens (ZARDÉZAS) - Q mens (KHÉMAKHEM)  
{1973 - 1998}**

**Fig. 17**



Néanmoins, les écoulements moyens présentent un décalage tardif par rapport aux pluies où le mois de février est le plus abondant en écoulement moyen (0,82 mm) malgré sa pluviosité (82,4 mm) amoindrie à celle de décembre (104,9 mm).

Il est à noter que malgré la pluviosité plus ou moins importante des mois d'octobre et novembre (55,2 – 78,2 mm), leur effet ne figure qu'en mois suivant (décembre) en raison de saturation du sol.

Différemment au niveau annuel, la relation Pluie – débit au niveau mensuel paraît plus significative :

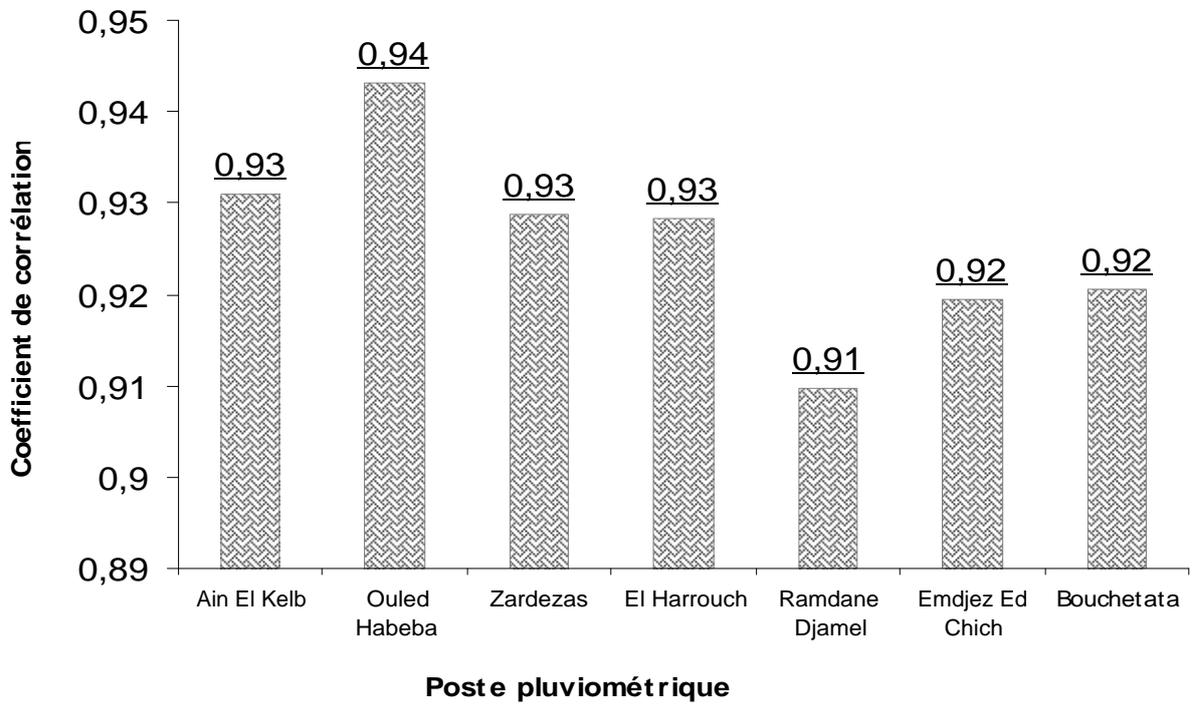
D'une part et en matière des valeurs moyennes, le coefficient de corrélation R, interprétant la régression linéaire de l'écoulement moyen mensuel interannuel (Khemakhem 1973 – 1998) en fonction des pluies mensuelles interannuelles des stations pluviométriques pour la même période (Fig 16), a montré une nette amélioration de ses valeurs, il oscille entre 0,74 (Ramdane Djamel et Ouled Habeba), et 0,79 (Zardézas et Ain El Kèlb). Mais ces valeurs sont moins significatives que celles qui expriment la régression des mêmes variables selon une courbe de tendance exponentielle. Dans ce cas, les valeurs de R varient de 0,80 à 0,85 où la courbe de tendance est de forme concave (ou convexe selon l'ordre des variables) – Fig 17 –

Du point de vue hydrologique, cela est surtout lié au contenu hygrométrique du sol qui est relativement faible dans les premiers mois correspondant à la saison sèche, mais à partir du mois d'octobre, l'écoulement s'accroît de façon remarquable en raison de la saturation des sols et il devient par conséquent quasi-total.

Et d'une autre part, le rapport des pluies mensuelles interannuelles avec l'écoulement maximal mensuel interannuel (Fig 18), a donné encore des meilleures valeurs du coefficient de détermination R, la régression est de tendance Exponentielle comme le cas des variables moyennes mais, avec des coefficients encore plus significatifs qui varient entre 0,91 (Ramdane Djamel) et 0,94 (Ouled Habeba – Fig 19 – ), cela illustre la bonne participation des pluies mensuelles - par leurs concentrations temporelles - dans la genèse des crues.

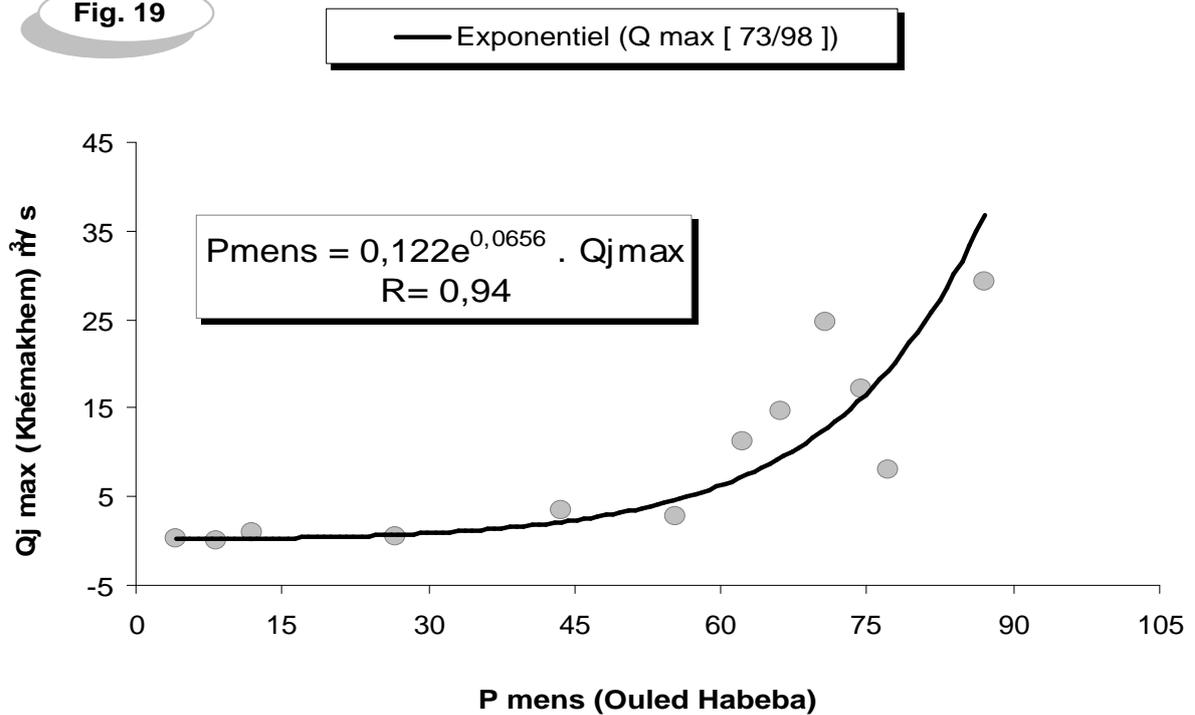
**BASSIN DU SAF-SAF (1973 - 1998) : COEFFITIONS DE CORRELATION P mens - Qj max**

**Fig. 18**



**CORRÉLATION P mens (OULED HABEBA) - QJ max (KHÉMAKHEM) { 1973 - 1998 }**

**Fig. 19**



## CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

❶ L'étude de l'écoulement du bassin du Saf-Saf a permis de retenir que l'irrégularité temporelle (annuelle et mensuelle), est le caractère capital de l'écoulement moyen ainsi que l'écoulement maximal (crues) :

Le module moyen interannuel est de l'ordre de 1,04 m<sup>3</sup>/s, valeur peu signifiante car outre que c'est une moyenne modérée, le débit moyen annuel absolu est d'une haute variabilité interannuelle (CV = 88,44 %), où ce module peut amplement devancer ou être devancé par les débits moyens de quelques années ( $Q_{73/98} / Q_{96/97} = 27 - Q_{84/85} / Q_{73/98} = 4$ ).

Similairement à l'écoulement moyen, l'écoulement de crue est d'une plus importante irrégularité (CV = 133,27 % - 149,72 %), où on a détecté des crues d'une grande importance semblablement à celle de décembre 1984 ( $Q_{j\max} = 404 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ou celle du 8 janvier 1995 ( $Q_{j\max} = 136,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

❷ Le régime pluviométrique du bassin versant du Saf-Saf est marqué par une irrégularité de double nature ; dans le temps et dans l'espace :

c) *Irrégularité spatiale* : du Sud au Nord du bassin, la topographie est le facteur déterminant où, la pluviosité varie (généralement en sens de diminution) selon l'altitude dont elle est fonction.

d) *Irrégularité temporelle* : de 1970 à 2003, et vu les coefficients de variation interannuelle des précipitations annuelles (oscillant entre 22,6 % à Zardézas et 32 % à Emdjez Edchich), les fluctuations pluviométriques au bassin du Saf-Saf peuvent relativement être qualifiées de : Modérées. Cependant, cela n'a pas éliminé la singularité de quelques années pic : telles 2002/03 et 1984/85 étant années de surabondance pluviométrique, et 1985/86 et 1987/88 comme années déficitaires.

❸ Une tentative de comprendre la relation pluie – débit au bassin du Saf-Saf, a montré que le pas annuel est insuffisant pour expliquer l'écoulement, et notamment son aspect maximal (le coefficient R exprimant la régression : Pluie annuelle – écoulement annuel n'a pas dépassé dans le meilleur cas la valeur de 1,86). Par ailleurs, ce rapport au niveau mensuel est plus significatif :

1. Les régimes moyens des pluies et écoulements mensuels ont présenté une concordance temporelle relative, où les mois les plus pluvieux sont – le plus souvent – les mieux abondants en écoulement.

Le rapport pluie mensuelle – écoulement mensuel, effectué selon une loi de régression exponentielle a présenté des coefficients de corrélation (compris entre 0,82 et 0,85) plus significatifs que ceux effectués selon une loi de régression linéaire (entre 0,74 et 0,79).

De ce fait, l'écoulement à ce niveau est la résultante de la saturation des sols par les pluies des mois précédents.

2. À l'opposé du régime moyen, les valeurs maximales des pluies et des écoulements mensuels semblent d'un parfait accord où, les débits de pointe sont directement engendrés par des pluies mensuelles maximales qui leur sont temporellement adéquates (tel le cas de : déc 1984, jan 1995 et fév 1984).

Ce bon rapport se traduit par les valeurs du coefficient R (exprimant la corrélation pluie mensuelle maximale – écoulement mensuel maximal selon une loi de régression exponentielle). Ce dernier va de 0,91 à 0,94.

④ L'année hydrologique 1984/85 est une année exceptionnelle de part :

- ❖ **Son écoulement moyen** (3,99 m<sup>3</sup>/s) représentant 4 fois le module de la période (1,04 m<sup>3</sup>/s), et ayant une récurrence de 1667 ans.
- ❖ **Son écoulement journalier maximal** (404 m<sup>3</sup>/s) étant valeur record pendant toute la période.
- ❖ **Sa pluviométrie** exceptionnelle placée en 1<sup>ère</sup> position pendant toute la période 1970/71 – 2003/04, à tous les niveaux : Annuel (1039,4 mm), mensuel (452,5 mm) et journalier (137 mm), outre qu'elle a été marquée par deux crues importantes (décembre et mars).

Cela nous pousse à consacrer tout un chapitre pour l'étudier avec plus de minutie (Partie IV – Chapitre I).

---

## **TROISIÈME PARTIE**

# **ÉTUDE DES CRUES : GENÈSE ; ÉVOLUTION ET CAS DE LA CRUE DE DÉCEMBRE 1984**

### ➤ **CHAPITRE I**

**LE PHENOMENE : PLUIE JOURNALIERE  
MAXIMALE – ECOULEMENT JOURNALIER  
MAXIMAL ET GENESE DES CRUES**

### ➤ **CHAPITRE II**

**L'ÉVENEMENT PLUIE JOURNALIERE –  
ECOULEMENT JOURNALIER : EVOLUTION ET  
CHRONOLOGIE JOURNALIERE DES CRUES**

### ➤ **CHAPITRE III**

**LA CRUE EXCEPTIONNELLE DE DECEMBRE  
1984 : GENESE, EVOLUTION ET IMPACTS**

## **Introduction**

Après avoir procédé à une analyse hydro-pluviométrique des crues à des échelles plus ou moins étendues (année et mois), ces dernières sont insuffisantes pour étudier le phénomène des crues, étant lié aux valeurs de pointe des pluies et écoulements, et nous avons vu précédemment que les hauteurs annuelles et mensuelles des pluies ne font que déterminer l'abondance des pluies, et le régime d'écoulement moyen et/ou maximal.

Donc le caractère exceptionnel du phénomène mérite d'être abordé au pas journalier, et cela dans le but de mieux comprendre la réaction du bassin versant vis-à-vis les séquences pluvieuses journalières.

## CHAPITRE I

# **LE PHÉNOMÈNE : PLUIE JOURNALIÈRE MAXIMALE – ÉCOULEMENT JOURNALIER MAXIMAL OU GENÈSE ET EVOLUTION DES CRUES**

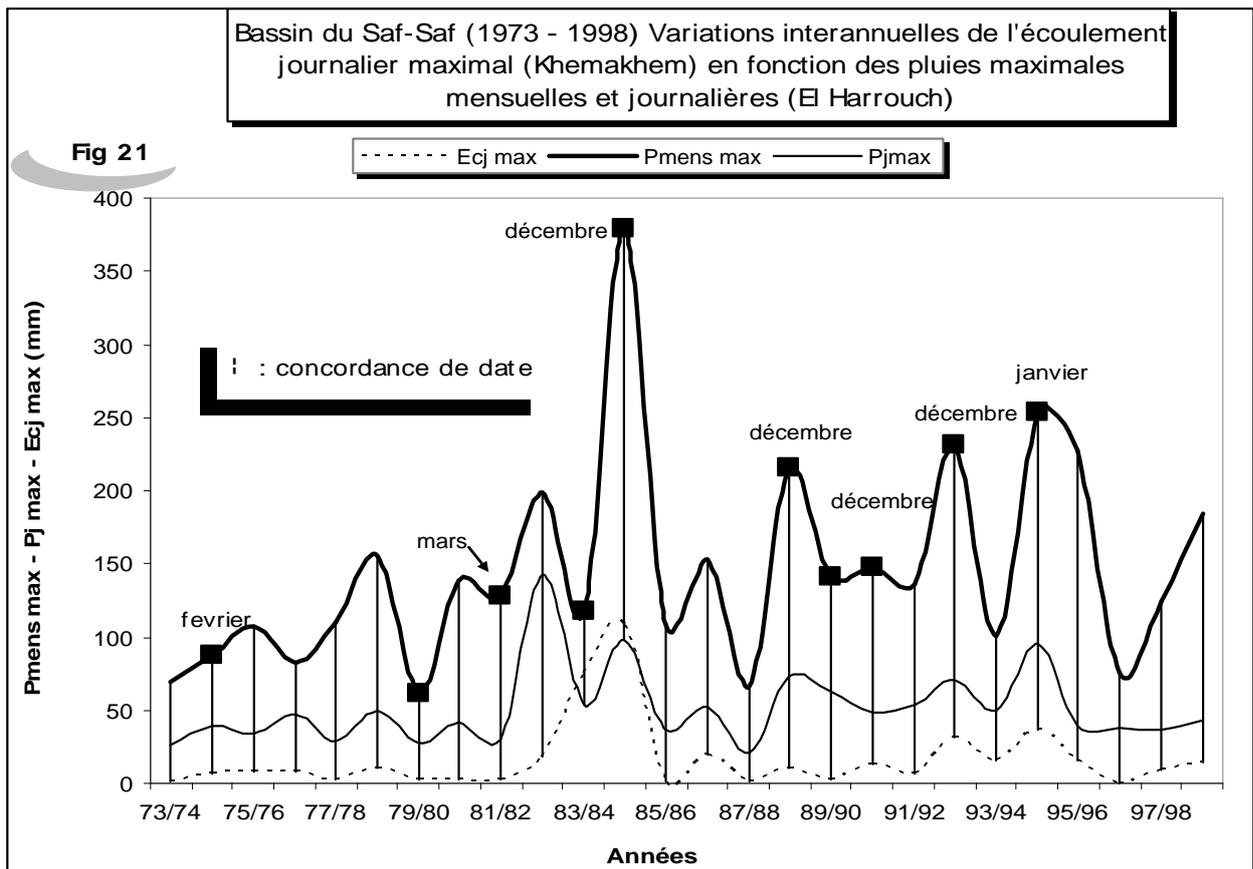
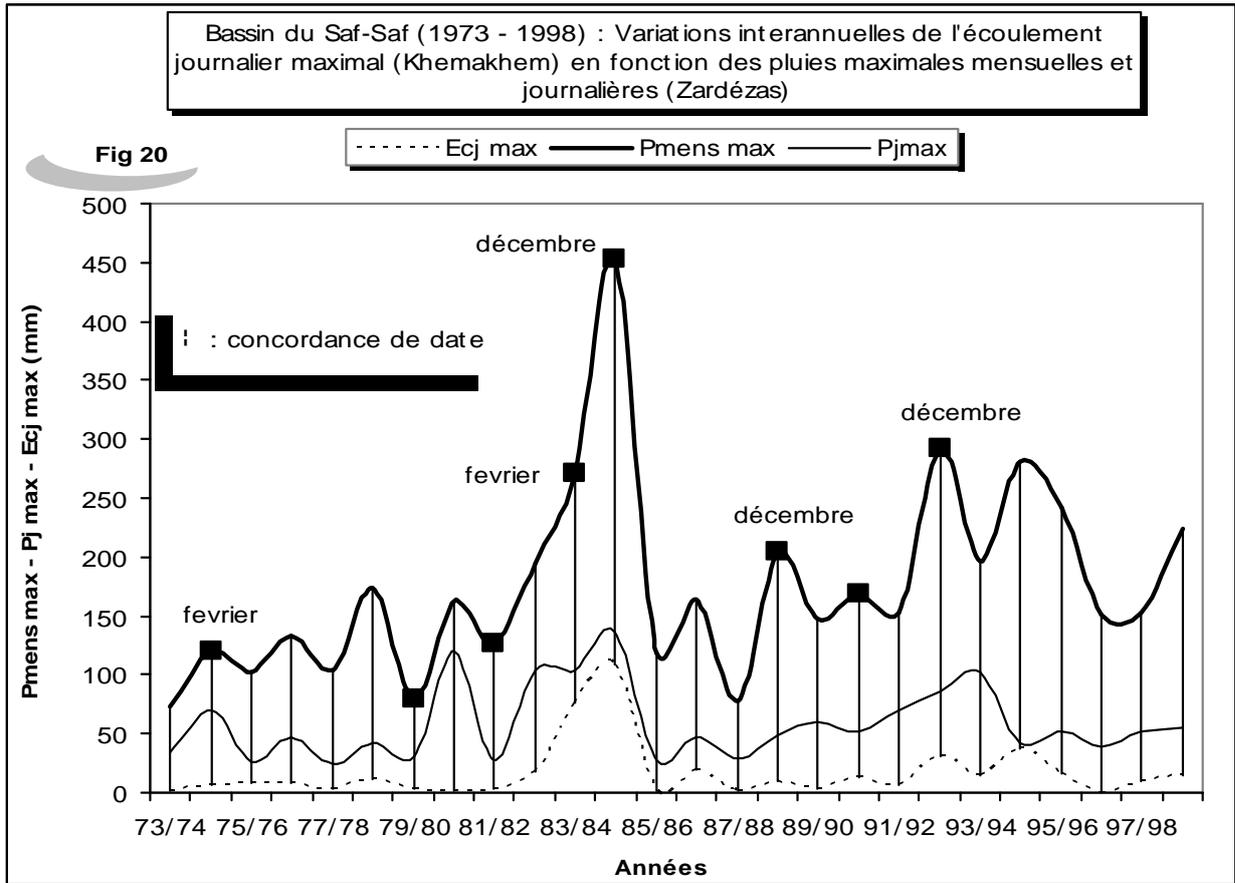
### **Les pluies journalières maximales, facteur générateur des crues :**

La genèse des crues est surtout fonction des caractères propres des précipitations (hauteur – intensité – durée) et, est déterminée en même temps par l'interaction complexe et combinée des divers éléments caractérisant le support de l'écoulement de surface : état hygrométrique des sols, pentes, densité de drainage et taux de couverture végétale ... etc. Mais la pluviométrie demeure le facteur le plus déterminant de ce processus.

Pour mettre en lumière le mécanisme aboutissant à la formation des crues, on a essayé de retirer le rapport entre l'écoulement maximal journalier annuel avec les pluies maximales annuelles : mensuelles et journalières, et à partir des figures n° 20 et 21, on peut déduire :

- L'irrégularité interannuelle des précipitations et des écoulements.
- Absence d'une parfaite concordance temporelle entre les trois variables, où le maximum de chaque une a différemment eu lieu par rapport aux autres, on cite l'exemple de l'année 1975/76 au poste des Zardézas (Tableau 16).
- Adéquation temporelle partielle entre deux variables telles les années 1978/79 et 1985/86 au poste des Zardézas.
- Synchronisation temporelle absolue - mensuelle au moins - entre les maximums annuels des pluies mensuelles journalières et l'écoulement journalier parallèlement au niveau de la majorité - voir tous - les postes pluviométriques : Caractère typique de la majorité des crues exceptionnelles, citons l'exemple des crues de décembre 1984, décembre 1992 et janvier 1995, et cela signifie que toutes les crues

exceptionnelles sont la résultante d'une forte concentration pluviale au niveau mensuel aboutissant à la saturation des sols, et surtout au niveau journalier où la



- pluie journalière maximale - par son intensité et concentration spatiotemporelle -  
gènèrent les crues.

Tableau 16, Bassin du Saf-Saf (1973-1998): répartition mensuelle des pluies maximales mensuelles et journalières et de l'écoulement maximal journalier.

Année	Pmens <sub>max</sub>		mois		Pj <sub>max</sub>		Date du Pj <sub>max</sub>		Ecj <sub>max</sub>		Date de Ecj <sub>max</sub>		Adéquation	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
73/74	69,5	72,3	déc	oct	26,2	33,4	22-fév	25-sept	1,52	1,52	27-oct	27-oct		
<b>74/75</b>	<b>87,8</b>	<b>120,8</b>	<b>fév</b>	<b>fév</b>	<b>39,7</b>	<b>69,5</b>	<b>17-jan</b>	<b>17-fév</b>	<b>6,31</b>	<b>6,31</b>	<b>17-fév</b>	<b>17-fév</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
75/76	107,4	102,7	nov	fév	33,4	25,2	26-jan	28-jan	7,96	7,96	14-mar	14-mar		
76/77	82	133,9	oct	nov	46,9	46,6	17-mai	17-mai	7,31	7,31	18-nov	18-nov		
77/78	109,7	103,5	nov	jan	29,1	24	22-nov	30-mar	2,6	2,6	7-fév	7-fév		
78/79	155	174,3	avril	avril	50,3	41,7	28-nov	28-nov	10,92	10,92	16-avr	16-avr		
<b>79/80</b>	<b>61,8</b>	<b>80</b>	<b>mar</b>	<b>mar</b>	<b>27,4</b>	<b>31,3</b>	<b>5-mar</b>	<b>5-mar</b>	<b>2,89</b>	<b>2,89</b>	<b>6-mar</b>	<b>6-mar</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
80/81	139,1	161,7	déc	déc	41,9	119,5	30-nov	30-sept	2,3	2,3	31-déc	31-déc		
<b>81/82</b>	<b>128</b>	<b>126,5</b>	<b>mar</b>	<b>mar</b>	<b>29,5</b>	<b>28,4</b>	<b>6-mar</b>	<b>6-mar</b>	<b>3,04</b>	<b>3,04</b>	<b>7-mar</b>	<b>7-mar</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
82/83	198,4	194,5	nov	nov	142	103,8	29-oct	28-oct	18,34	18,34	11-nov	11-nov		
83/84	118,3	271,7	fév	fév	53,0	103,7	2-fév	3-fév	75,99	75,99	3-fév	3-fév	X	X
<b>84/85</b>	<b>379,6</b>	<b>452,5</b>	<b>déc</b>	<b>déc</b>	<b>97,6</b>	<b>137</b>	<b>30-déc</b>	<b>29-déc</b>	<b>108,4</b>	<b>108,4</b>	<b>30-déc</b>	<b>30-déc</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
85/86	108,4	118,5	jan	jan	36,6	27	9-jan	9-jan	1,33	1,33	9-mar	9-mar		
86/87	152,3	164,5	fév	fév	52,3	47	24-nov	24-nov	20,04	20,04	1-avr	1-avr		
87/88	66,3	77,9	nov	jan	21	29,6	7-fév	7-fév	1,73	1,73	9-mar	9-mar		
<b>88/89</b>	<b>216</b>	<b>204,8</b>	<b>déc</b>	<b>déc</b>	<b>72,6</b>	<b>48</b>	<b>21-déc</b>	<b>21-déc</b>	<b>10,22</b>	<b>10,22</b>	<b>21-déc</b>	<b>21-déc</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
89/90	141,8	148,2	jan	jan	63	59,5	5-jan	8-oct	3,2	3,2	5-jan	5-jan	X	
<b>90/91</b>	<b>147,5</b>	<b>169,5</b>	<b>déc</b>	<b>déc</b>	<b>48,2</b>	<b>51,5</b>	<b>24-déc</b>	<b>24-déc</b>	<b>12,82</b>	<b>12,82</b>	<b>24-déc</b>	<b>24-déc</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
91/92	136,3	152,2	mar	avril	53	69,2	24-mai	24-mai	6,25	6,25	10-avr	10-avr		
<b>92/93</b>	<b>231,7</b>	<b>292,7</b>	<b>déc</b>	<b>déc</b>	<b>70,9</b>	<b>86,1</b>	<b>29-déc</b>	<b>29-déc</b>	<b>30,8</b>	<b>30,8</b>	<b>31-déc</b>	<b>31-déc</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
93/94	101,3	196,6	déc	déc	50	101,9	2-déc	3-déc	15,15	15,15	19-fév	19-fév		
94/95	254,2	280,6	jan	jan	95,9	42,4	7-jan	4-mar	36,6	36,6	8-jan	8-jan	X	
95/96	227	242,5	fév	fév	39	51,7	6-fév	10-jan	15,54	15,54	28-fév	28-fév		
96/97	76	151,1	déc	jan	38,4	38,8	15-mar	25-nov	0,54	0,54	11-jan	11-jan		
97/98	124,1	151,8	déc	déc	36,2	52,6	22-avr	25-fév	9,13	9,13	6-déc	6-déc		
98/99	184,2	223,3	nov	nov	43	55,1	19-nov	19-nov	14,25	14,25	28-nov	28-nov		

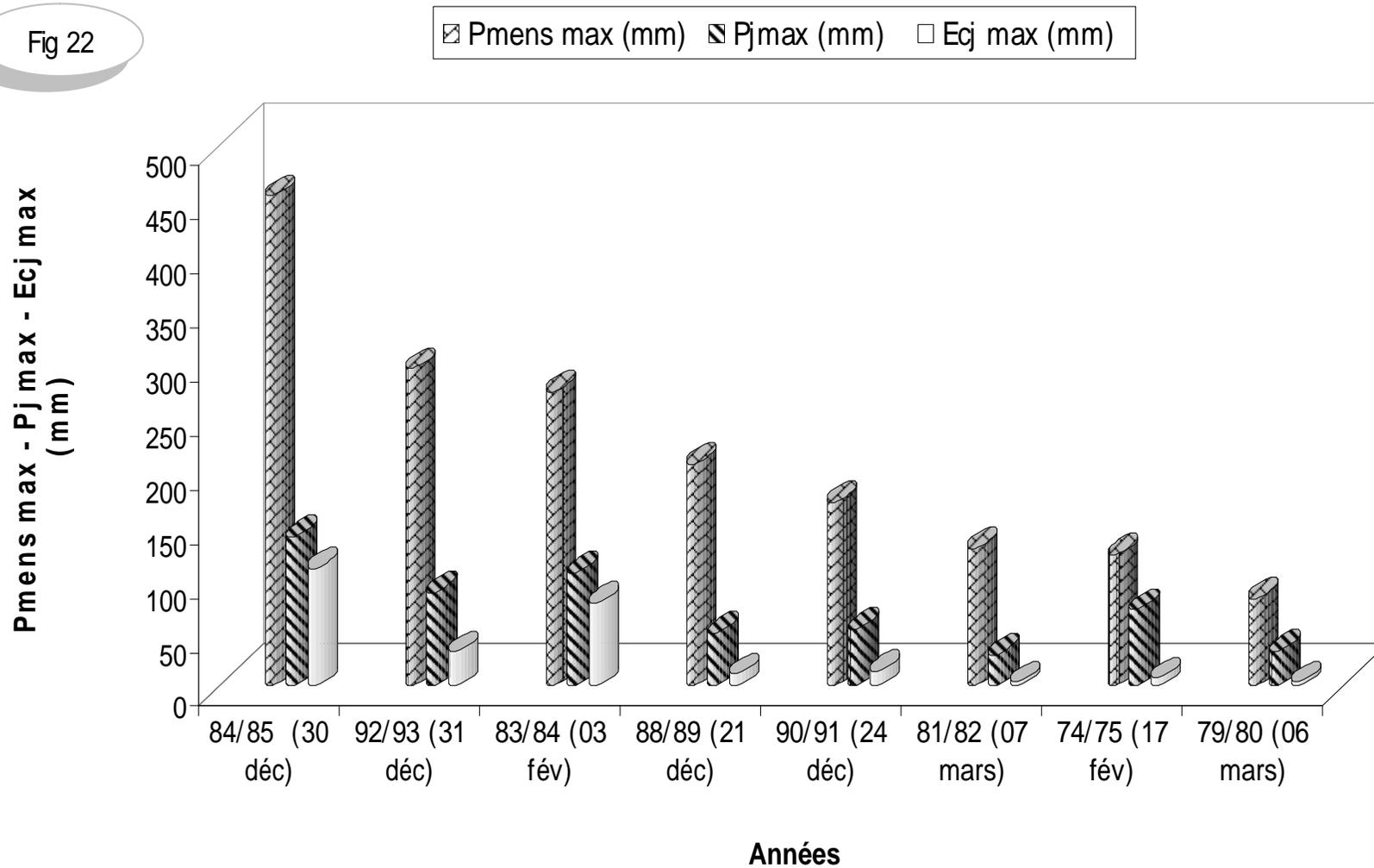
(1) : Station d'El Harrouch

(2) : Station des Zardézas

Pour mieux clarifier cette notion de concentration temporelle des pluies, on a tenté pour - les crues exceptionnelles - de positionner les pluies dans un contexte temporellement décroissant : année, mois et jour (Fig 22).

**Bassin du saf-saf, les crues concordantes : participation des pluies maximales mensuelles et journaliers (Zardézas) dans l'écoulement journalier maximal (Khemakhem)**

Fig 22



*Tableau 17, bassin du Saf-Saf (1973 – 1998) : participation des pluies journaliers maximales (Zardézas) dans l'écoulement maximal journalier (Khemakhem) pour les plus grandes crues.*

<b>Année</b>	<b>Pan (mm) (A)</b>	<b>Pmens<sub>max</sub> (mm) (B)</b>	<b>(B / A) %</b>	<b>P j<sub>max</sub> (mm) (C)</b>	<b>(C / B) %</b>	<b>Date de la crue</b>
<b>84/85</b>	<b>1039,4</b>	<b>452,5</b>	<b>43,53</b>	<b>137,0</b>	<b>30,28</b>	<b>30-déc.</b>
<b>92/93</b>	694,5	292,7	<u>42,15</u>	86,1	29,42	31-déc.
<b>83/84</b>	<b>795,4</b>	<b>271,7</b>	<b>34,16</b>	<b>103,7</b>	<b>38,17</b>	<b>3-févr.</b>
<b>88/89</b>	562,1	204,8	36,43	48,0	23,44	21-déc.
<b>90/91</b>	724,8	169,5	23,39	51,5	30,38	24-déc.
<b>81/82</b>	646,1	126,5	19,58	28,4	22,45	7-mars
<b>74/75</b>	557,7	120,8	21,66	69,5	<u>57,53</u>	17-févr.
<b>79/80</b>	527,7	80,0	15,16	31,3	39,12	6-mars

*a) Crue du 30 décembre 1984 :*

Avec 1039,4 mm de hauteur annuelle (Zardézas), l'année 1984/85 est la plus pluvieuse pendant toute la période 1970/71-2003/04, le mois de décembre a fourni 452,5 mm, valeur également record de la période représentant 43,53 % de la hauteur annuelle, la pluie journalière maximale (29 décembre) estimée par 137 mm en 24 heures (soit 30,28 % de la hauteur mensuelle), a engendré une lame écoulee de 108,4 mm, soit un coefficient d'écoulement journalier exceptionnel de 79,13 %<sup>1</sup>.

*b) Crue du 3 février 1984 :*

Les précipitations mensuelles (271,7 mm) représentent 34,16 % de la hauteur annuelle (795,4 mm), la pluie maximale journalière de l'ordre de 103,7 mm (soit 38,17 % de la hauteur mensuelle) a eu lieu le même jour de l'écoulement de pointe qui a atteint la valeur de 76 mm (coefficient d'écoulement de crue 73,28 %).

*c) Crue du 31 décembre 1993 :*

La hauteur annuelle était plus ou moins modérée (694,5 mm), mais le mois de décembre était marqué par une hauteur considérable de 292,7 mm représentant près de la

<sup>1</sup> Coefficient d'écoulement journalier :  $Ce_j (\%) = [Ec_{j_{max}} (\text{mm}) / P_j (\text{mm})] * 100$

Exemple (Crue de décembre 1984) :  $Ce_{29/12/84} = (Ec_{29/12/84} / P_{29/12/84}) * 100$

79,13 = (108,4 / 137) \* 100

moitié du total annuel (42,15 %), la pluie journalière (86,1 mm soit 29,42 % de la hauteur mensuelle) s'est précipitée le 29 décembre et a déclenché la crue deux jours après, cette dernière a pu atteindre 30,8 mm, soit 35,78 % de la séquence pluvieuse journalière.

*d) Crue du 21 décembre 1988 :*

L'abondance pluviale mensuelle du mois de décembre (204,8 mm) représente 36,43 % d'une hauteur annuelle banale (562,1 mm), mais l'abondance journalière estimée à 48 mm a favorisé l'écoulement de surface qui était de l'ordre de 10,2 mm en 24 heures, et y représentant 21,28 %.

En conséquence, toutes les crues exceptionnelles ont été engendrées par des pluies mensuelles maximales qui assuraient la saturation des horizons superficiels des sols, et surtout par Les pluies journalières maximales (concentrées dans le temps et dans l'espace), donnent naissance à des crues exceptionnelles et de grande ampleur, ces dernières représentent une grande fraction des pluies journalières qui les ont générés. Mais, il est fortement nécessaire de noter quelques remarques :

1) *D'une part*, il se peut que la même pluie journalière n'engendre pas forcément des crues de la même importance. À titre d'exemple : la crue du 21 décembre 1988 ( $38,07 \text{ m}^3/\text{s}$ ) a été engendrée par une pluie journalière maximale de l'ordre de 72,6 mm (El Harrouch), alors qu'une pluie journalière très proche (70,9 mm) a provoqué un débit de  $30,8 \text{ m}^3/\text{s}$  lors de la crue du 31 décembre 1992.

2) *D'une autre part*, le débit maximal d'une crue déclenchée par une pluie journalière maximale peut être inférieur à celui d'une crue engendrée par une pluie journalière moins importante que celle de la première crue.

Citons l'exemple de la crue du 21 décembre 1988 : ( $P_{j_{\max}} = 48 \text{ mm} - Q_{j_{\max}} = 38,07 \text{ m}^3/\text{s}$ ) vis-à-vis la crue du 17 février 1975 ( $P_{j_{\max}} = 69,5 \text{ mm} - Q_{j_{\max}} = 23,51 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Cela est surtout dû à l'intensité des averses à des échelles temporelles plus étroites par rapport au jour, qui peut comprendre plusieurs averses de diverses intensités et vis-à-vis lesquelles la réaction hydrologique du bassin n'est pas semblable.

Mais ces crues mensuellement concordantes – sus étudiées- peuvent ne pas présenter une adéquation journalière parfaite :

- La pluie journalière maximale peut être en coïncidence avec l'écoulement de pointe à travers la grande majorité des postes pluviométriques telles les crues du : 21 décembre 1988, 3 février 1984 et du 17 février 1975.
- La pluie maximale peut avoir lieu un jour avant l'écoulement de pointe telle la crue du 7 mars 1982.
- Par ailleurs, un écoulement maximal se produit le plus souvent suite à une pluie maximale alors qu'une pluie maximale n'aboutit pas forcément à un écoulement de pointe concordant, ce phénomène est bien clair au niveau des années 1986/87, 1991/92 et 1993/94 où les pluies journalières maximales ont eu lieu consécutivement les jours du 24 novembre, 24 mai et 3 décembre, néanmoins les écoulements de pointe ont présenté un décalage de plusieurs mois (avril, avril et février).

Ainsi donc, la pluie journalière maximale est le facteur majeur dans la genèse des crues mais, il n'agit pas isolement par rapport aux séquences pluviales journalières post- $P_{j_{\max}}$  qui déterminent l'évolution temporelle de la crue, et c'est ce que le chapitre suivant aura le but de mieux expliquer.

## CHAPITRE II

# L'ÉVÈNEMENT PLUIE JOURNALIÈRE – ÉCOULEMENT JOURNALIER : ÉVOLUTION ET CHRONOLOGIE JOURNALIÈRE DES CRUES

On a vu donc que les crues sont essentiellement générées par des pluies journalières exceptionnelles, mais l'étude de l'évolution journalière de l'écoulement en fonction des pluies permettra de comprendre la réponse hydrologique du bassin versant vis-à-vis les pluies journalières.

On a distingué deux types de crues où la réaction du bassin se différencie selon la saison :

### **I. Les crues de la saison froide :**

La genèse de ce type de crues est surtout favorisée par l'interaction des facteurs fondamentaux pour le ruissellement, notamment l'abondance pluviale saisonnière, mensuelle et journalière et la saturation des sols par les pluies précédentes dites : *" Préparatoires "*.

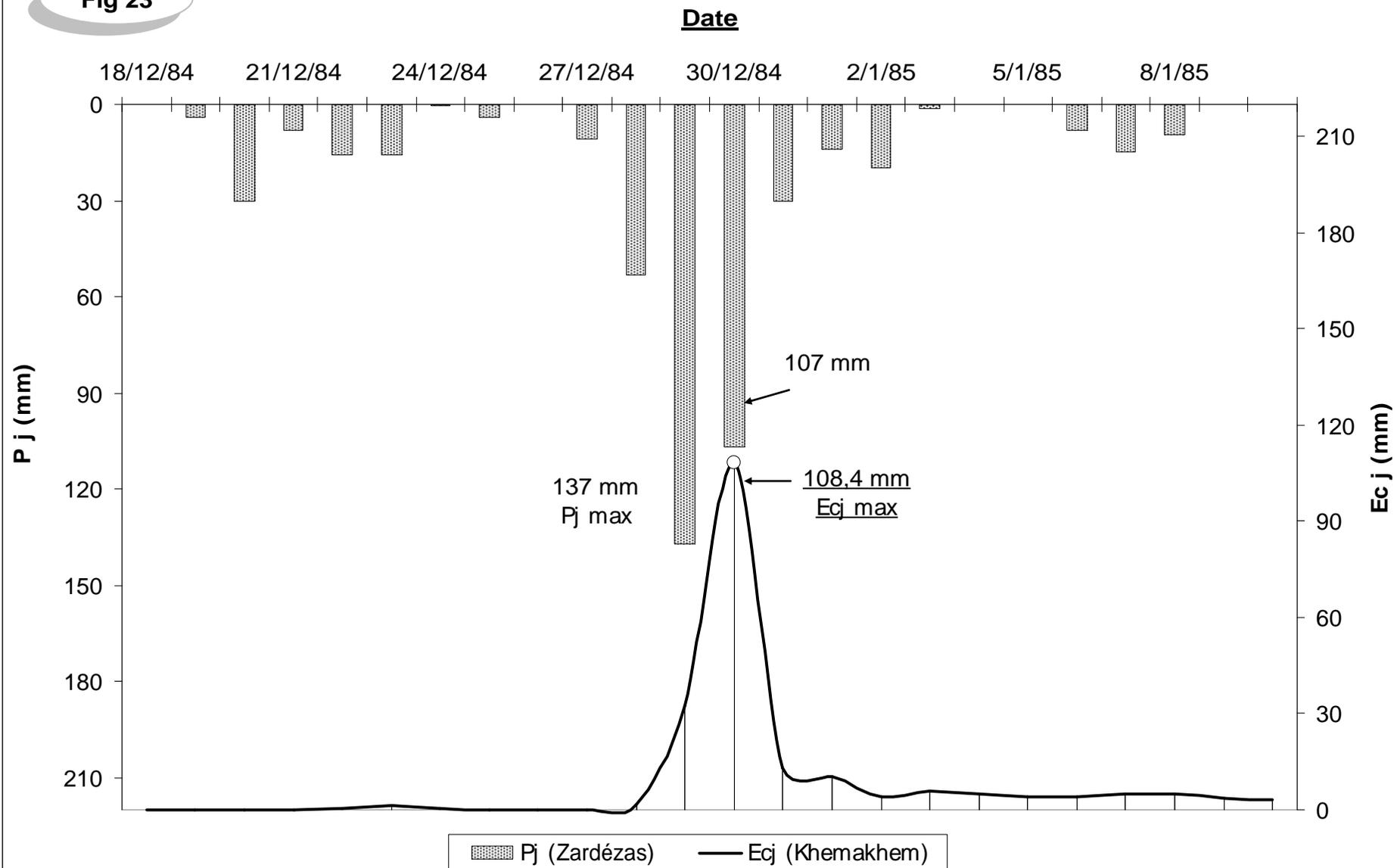
#### **a) Crue du 30 décembre 1984 :**

En raison de l'abondance pluviale et la continuité des averses, cette crue s'est caractérisée par une nette concordance du débit maximal journalier ( $404 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et instantané ( $558,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) en date du 30 décembre, l'hydrogramme journalier relatif à cette crue (Fig 23) montre qu'à l'espace de 10 jours (du 18 au 27 décembre), les pluies journalières n'ont pas dépassé les 30 mm en revanche, elles étaient marquées par une continuité temporelle, et l'écoulement par conséquent n'a pas dépassé  $1,4 \text{ mm}$  ( $5,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Mais ces pluies présumées de préparatoires, ont permis à l'écoulement d'atteindre  $32,3 \text{ m}^3/\text{s}$  en date du 29 décembre, suite à une averse de 53 mm correspondant au jour du 28 décembre.

**CRUE DU 30/ 12/ 1984 : ÉVOLUTION DE L'ÉCOULEMENT JOURNALIER EN FONCTION  
DES PLUIES JOURNALIÈRES**

**Fig 23**



La pluie journalière maximale (137 mm) a eu lieu le 29 décembre, du 28 au 30 décembre le cumul pluviométrique était de l'ordre de 297 mm soit 65,63 % de la hauteur mensuelle, cette concentration dans le temps a engendré une brusque montée du débit : de 32,4 m<sup>3</sup>/s (29 décembre) à 404 m<sup>3</sup>/s (30 décembre) selon une courbe quasi-verticale, soit un jour après la pluie maximale, qui était suivie par une autre séquence de 107 mm coïncidant avec l'écoulement maximal, mais son effet demeure limité par rapport à sa précédente.

Après l'onde maximale de 108,4 mm (soit un coefficient d'écoulement journalier de 101 %), la descente également était brusque : le débit passe de 404 m<sup>3</sup>/s (30 décembre) à 48 m<sup>3</sup>/s (12,9 mm) le jour suivant mais continue à se diminuer progressivement à partir du 31 décembre, et passe de 48 m<sup>3</sup>/s à 11 m<sup>3</sup>/s (10 janvier 1985). Cette phase est caractérisée par la stabilité de l'écoulement étant le débit de base où, l'influence des pluies qui ont succédé le jour de l'onde maximale est remarquable.

Donc, cette crue était relative à la saturation du sol grâce aux pluies précédentes qui ont fait que la montée soit rapide (24 heures), à l'opposé de la décrue qui a duré plus de 10 jours, en raison de l'influence de la superficie (322 km<sup>2</sup>) et l'alimentation des aquifères.

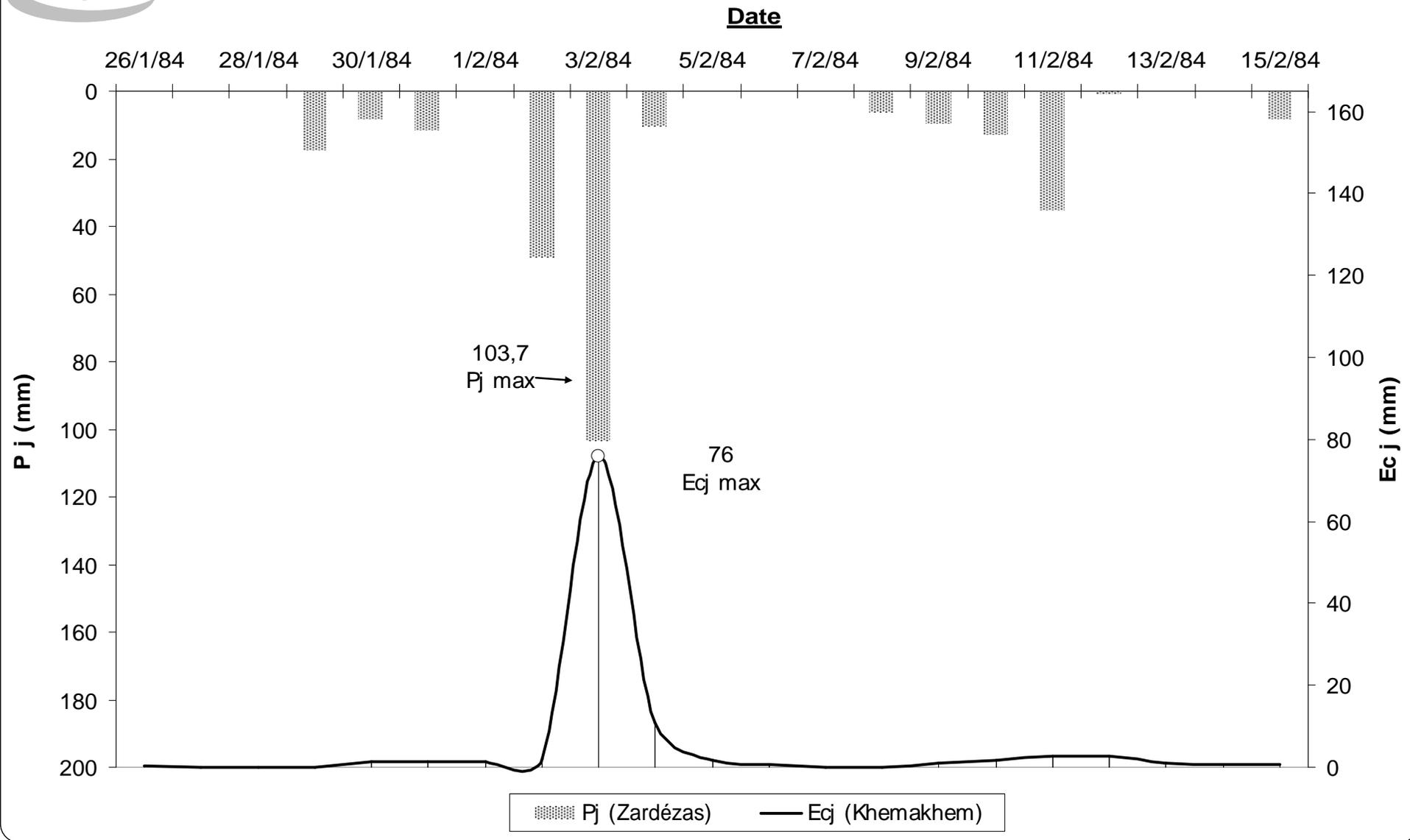
#### **b) Crue du 3 février 1984 :**

Sa première phase allant du 29 janvier 1984 au 1<sup>er</sup> février 1984 est caractérisée par de faibles valeurs de pluies (pas plus de 17,2 mm) et de débits -, a assuré la saturation du sol et par conséquent, la réponse du bassin était nettement rapide : La première montée date du 2 février, suite à une pluie journalière de 49 mm, le débit passe de 5 m<sup>3</sup>/s à 7,8 m<sup>3</sup>/s puis directement à 283,2 m<sup>3</sup>/s (76 mm) le 3 février en concordance avec la pluie maximale de 103,7 mm, avant de s'atténuer encore une fois brusquement à 40 m<sup>3</sup>/s au jour suivant (Fig 24).

Différemment à la crue de décembre 1984, cette crue présente une meilleure réponse aux pluies : la montée était directe, rapide et conforme à la pluie maximale autant que la décrue qui était elle aussi brusque et rapide en raison de l'achèvement des pluies.

# CRUE DU 03/ 02/ 1983 : ÉVOLUTION DE L'ÉCOULEMENT JOURNALIER EN FONCTION DES PLUIES JOURNALIÈRES

Fig 24



### **c) Crue du 31 décembre 1992 :**

L'hydrogramme journalier relatif à cette crue (Fig 25) est intéressant dans la mesure où il laisse apparaître deux montées des niveaux d'eau, dues à une succession de deux phases pluviales :

La phase allant du 21 au 28 décembre est marquée par une absence quasi-totale des pluies ainsi que des écoulements, la première averse - ayant lieu le 29 décembre - représente la pluie journalière maximale (86,1 mm) néanmoins, elle n'a engendré qu'un écoulement concordant de l'ordre de 4,7 mm (17,4 m<sup>3</sup>/s), la deuxième averse de 81,8 mm succédant la première a augmenté l'écoulement jusqu'à 12,5 mm, et c'est après 24 heures que le premier maximum d'écoulement (30,8 mm) s'est produit (31 décembre).

La première décrue n'a duré que 48 heures, et l'hydrogramme monte encore une fois suite à la succession de quatre averses du 2 au 5 janvier correspondant aux valeurs de 14,1 – 26,4 – 36 – 33,6 mm, ces averses n'avaient pas l'importance des pluies qui ont engendré le premier maximum cependant, leur cumul a fait monter progressivement l'écoulement de 5,4 mm (2 janvier) à 30,1 mm (112,2 m<sup>3</sup>/s), avec un décalage de 24 heures, soit une montée de 5 jours.

La deuxième décrue était tellement rapide que l'écoulement a passé de 30,1 mm (6 janvier) à 9,2 mm après seulement 24 heures, et malgré l'absence totale des pluies après cette deuxième onde de crue, la décrue était progressive et a duré plusieurs jours.

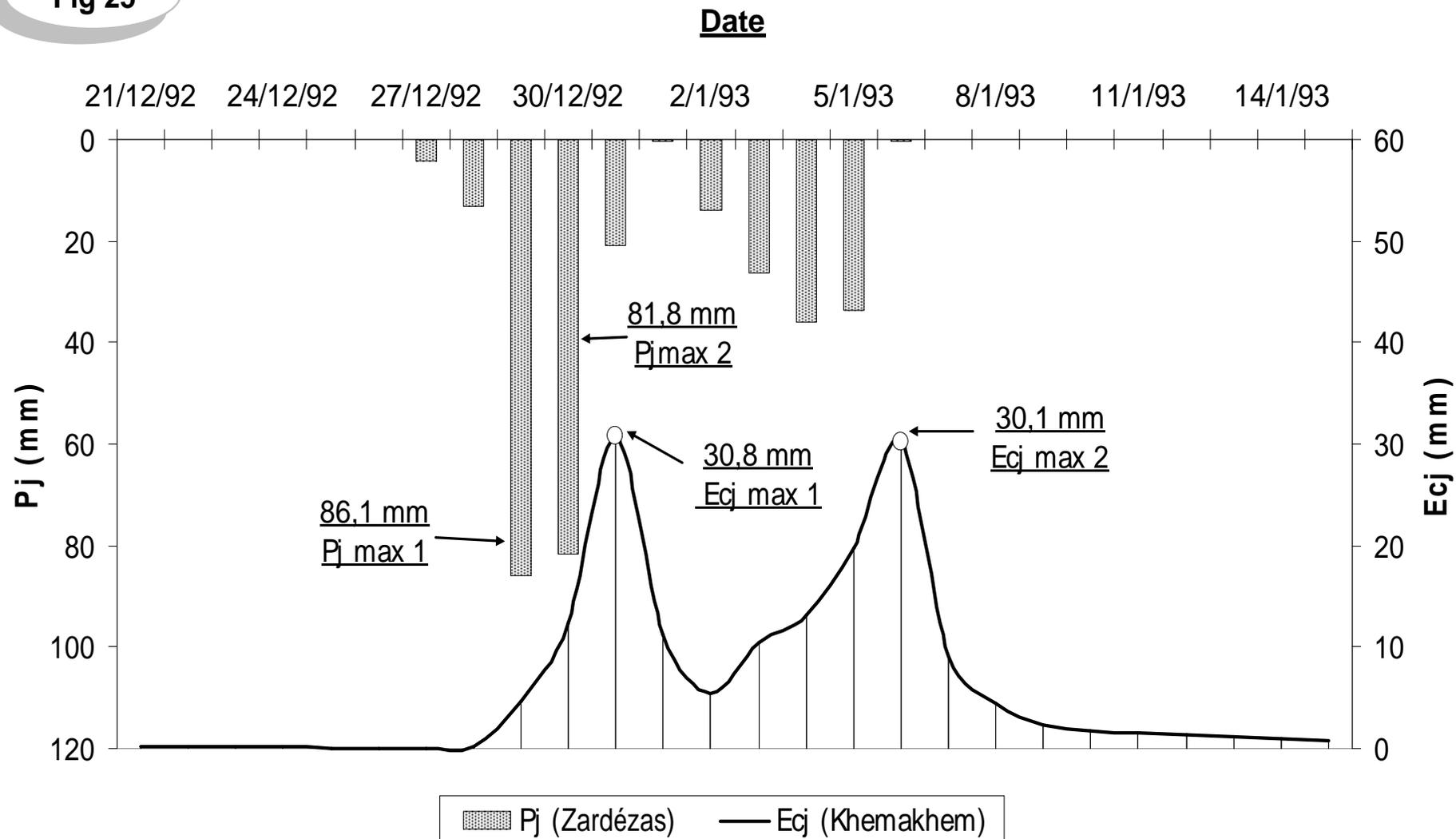
Ainsi donc, on peut retenir que la première montée est liée à l'intensité de pluie alors que la deuxième est la résultante de la saturation du sol, où les possibilités d'infiltration sont fortement réduites.

## **II. Les crues de la saison chaude :**

Ces crues sont généralement liées à des averses orageuses brèves et spatio-temporellement localisées, elles se produisent fréquemment au début et à la fin de saison surtout en mois de mai et septembre, coïncidant avec la faible couverture végétale pendant cette saison.

**CRUE DU 31/12/1992 : ÉVOLUTION DE L'ÉCOULEMENT JOURNALIER EN**  
**FONCTION**  
**DES PLUIES JOURNALIÈRES**

**Fig 25**



### ✓ Exemple de la crue du 18 mai 1977 :

On peut désigner cette crue de typique car elle représente les caractères généraux des crues de la saison chaude (Fig 26).

La phase de pré-montée n'a pas présenté des précipitations et par conséquent, le débit - étant débit de base - n'a pas dépassé  $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$ .

L'averse orageuse de  $46,6 \text{ mm}$  s'est précipitée le 17 mai, et c'est après 24 heures que le bassin a réagi par une montée rapide et brutale : de  $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$  (17 mai) à  $3,21 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $0,9 \text{ mm}$ ) le 18 mai soit un rapport de 25.

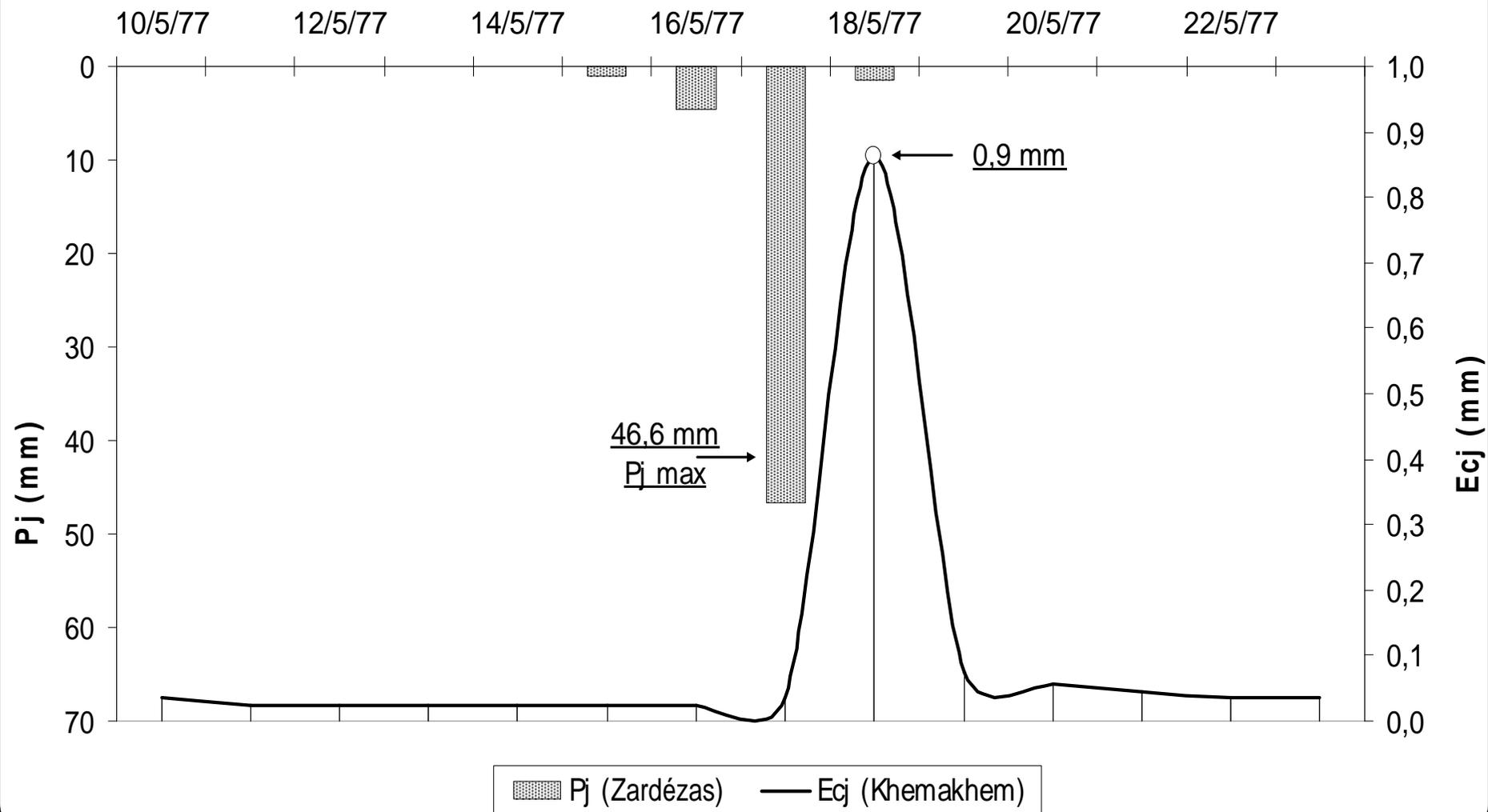
La phase de post-montée (décrue) était également rapide, car le débit a passé de  $3,21 \text{ m}^3/\text{s}$  (18 mai) à  $0,28 \text{ m}^3/\text{s}$  après seulement 24 heures (soit un rapport de 11).

L'écoulement maximal ne représente que  $1,93 \%$  de l'averse et cela est bien justifié par la forte évaporation qui marque la saison sèche.

- Le maximum de la crue peut coïncider avec l'averse principale, telle la crue du 3 février 1984 qui est liée essentiellement à l'intensité pluviale, comme il peut être en décalage de 24 heures comme aux crues du 18 mai 1977 (saison sèche) ou du 30 décembre 1984 (liée à la saturation).
- Alors que le temps de concentration du bassin des Zardézas est de l'ordre de  $6,56$  heures, la réponse du bassin n'apparaît qu'après 24 heures mettant en considération que l'échelle journalière ne nous permette pas d'étudier avec minutie cette réaction.
- À l'opposé de la montée, la décrue est relativement plus lente (généralement plus de 24 heures) en raison de l'importance du chevelu hydrographique et sa densité de drainage ( $3,39 \text{ km}/\text{km}^2$ ), outre la dominance des formations lithologiques de faible perméabilité ( $51,82 \%$  de la superficie du sous-bassin des Zardézas).

**CRUE DU 18/ 05/ 1977 : ÉVOLUTION DE L'ÉCOULEMENT JOURNALIER EN**  
**FONCTION**  
**DES PLUIES JOURNALIÈRES (SAISON CHAUDE)**  
Date

Fig 26



## CHAPITRE III

# LA CRUE EXCEPTIONNELLE DE DÉCEMBRE 1984, SA GENÈSE, ÉVOLUTION, EXTENSION ET IMPACTS

### POUR QU'ELLE RAISON S'INTERESSE- T- ON A LA CRUE DE DECEMBRE 1984 ?

Les précédents chapitres ont illustré l'exceptionnalité de l'année 1984/85 à tous les niveaux de part :

➤ Son écoulement :

Elle était marquée par un débit moyen annuel de l'ordre de 3,99 m<sup>3</sup>/s et un débit maximal journalier de 404 m<sup>3</sup>/s, où ces valeurs sont des maximums pendant la période 1973 – 1998.

➤ Sa pluviométrie :

Au niveau de la station des Zardézas et la grande majorité des autres postes, cette année a enregistré des valeurs record pendant toute la période 1970/71 – 2003/04 : au niveau annuel (1039,4 mm), mensuel (452,5 mm) ou même journalier (137 mm).

C'est dans cette esprit que le présent chapitre tentera de mettre en lumière cette crue généralisée, qui a eu lieu non seulement au bassin du Saf-Saf, mais aussi à d'autres bassins de l'Algérie du nord.

## I. CIRCONSTANCES HYDRO-PLUVIOMETRIQUES DE LA CRUE DE DECEMBRE 1984

DANS LE BASSIN VERSANT DU SAF-SAF :

### I.1. À l'échelle mensuelle :

Tableau 18, Sous-bassin des Zardézas (1984/85) : les variations Hydro - pluviométriques mensuelles

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juill	août	Année
<b>P (mm)</b>	42,3	137,3	17,5	<b>452,5</b>	99,5	46,5	<b>159</b>	38,5	46,3	0	0	0	1039,4
<b>Ec (mm)</b>	0,39	1,48	0,39	<b>154,39</b>	82,19	25,76	<b>106,6</b>	8,03	4,51	0,57	0,36	0,27	32,09
<b>Ce (%)</b>	0,91	1,08	2,24	34,12	<b>82,6</b>	55,4	<b>67,08</b>	20,87	9,75	0	0	0	3,09
<b>Pjmax (mm)</b>	23	20	11	<b>137</b>	20	18	<b>44</b>	18,5	23	0	0	0	137
<b>Qimax (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,23	9,5	0,07	<b>558,6</b>	90,7	12,58	<b>266,5</b>	6,36	10,48	0,1	0,05	0,04	558,6

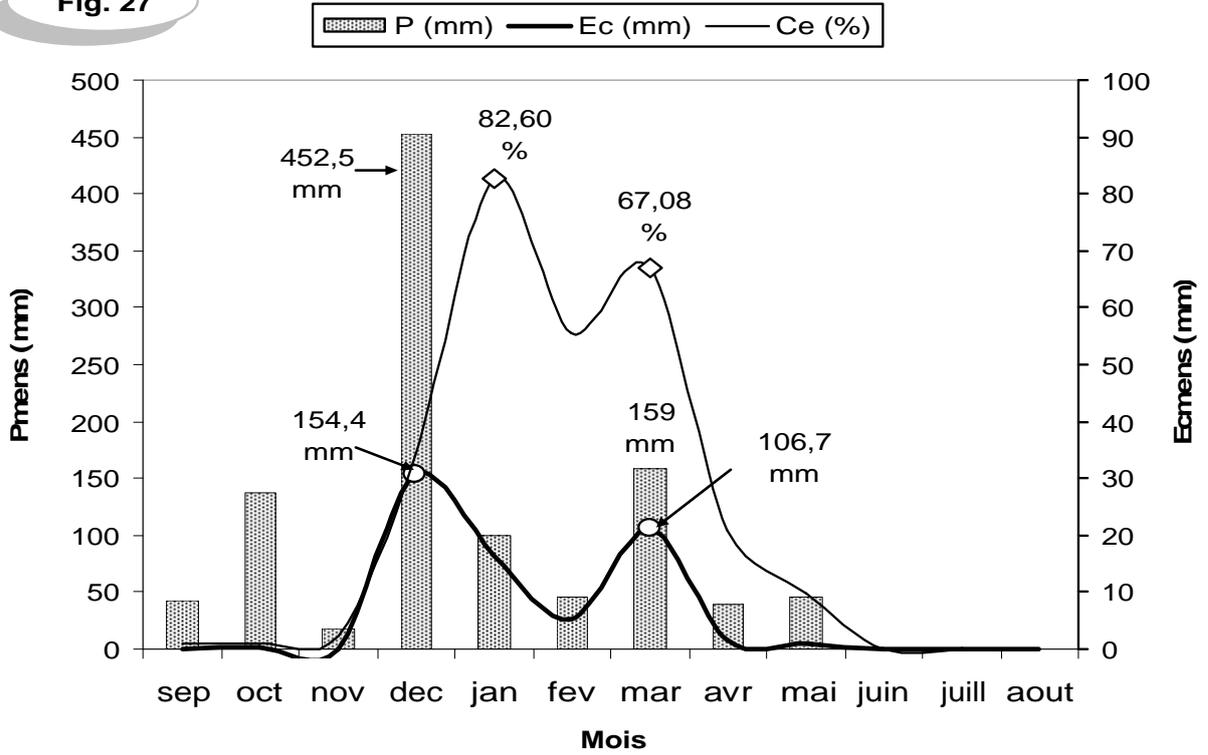
À partir de la figure n° 27, on peut constater que le mois de décembre est le plus pluvieux (452,5 mm) et le plus abondant en écoulement moyen (154,4 mm), soit un coefficient d'écoulement mensuel de l'ordre de 34 %, il a été marqué par les deux débits maximaux : journalier et instantané (404 – 558,6 m<sup>3</sup>/s) qui, ont été engendrés essentiellement par une pluie journalière maximale de l'ordre de 137 mm (Fig 28).

Le mois de janvier est caractérisé par le plus important coefficient d'écoulement mensuel, où 82,6 % des pluies (99,5 mm) se sont transformées en écoulement (82,19 mm) en raison de la saturation du sol par les pluies préparatoires de décembre.

Ainsi qu'avec 106,66 mm d'écoulement, le mois de mars se place en deuxième position, son écoulement est le produit de 159 mm de pluie dont, 44 mm ont été enregistrés en 24 heures et aboutissent au deuxième plus important débit de pointe de l'année (266,5 m<sup>3</sup>/s).

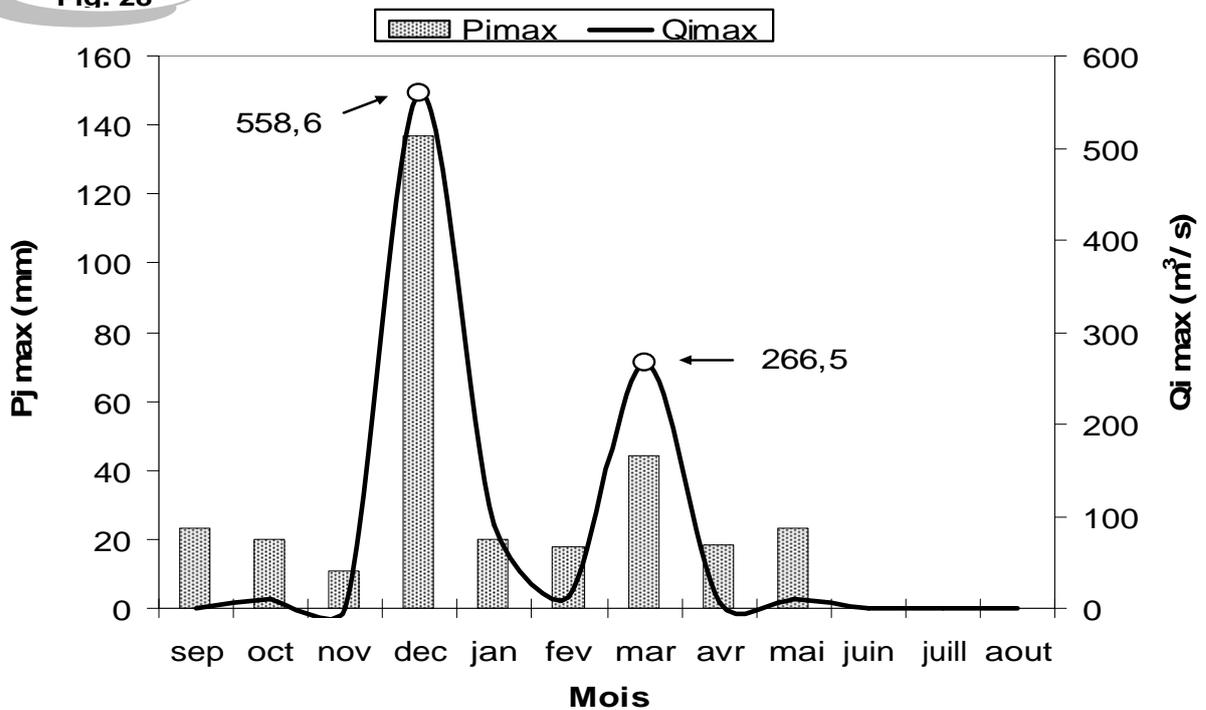
**Sous-bassin des Zardézas (1984/ 85) : variations mensuelles des pluies (Zardézas) et écoulements moyens (Khemakhem)**

**Fig. 27**



**Sous-bassin des Zardézas (1984/ 85) : variations mensuelles des pluies journalières maximales et débits maximaux instantanés**

**Fig. 28**



## **I.2. À l'échelle journalière :**

L'année 1984/85 a été marquée par deux crues (Fig 29) :

### • Crue du 30 décembre :

La plus importante au niveau annuel et interannuel (Troisième partie – chapitre II).

### • Crue du 8 mars 1985 :

Malgré son amplitude moins importante que celle de décembre, cette crue est intéressante car elle a atteint son onde maximale de façon particulièrement régulière : du 5 au 7 mars, les pluies se sont progressivement passées de 10 à 44 mm et par conséquent, la réaction du bassin était parfaitement parallèle et concordante, où le débit passe de 1,52 m<sup>3</sup>/s (5 mars) à 71,84 m<sup>3</sup>/s (7 mars), avant d'atteindre la valeur de pointe (132,1 m<sup>3</sup>/s) le 8 mars coïncidant avec seulement 8,5 mm de pluie journalière.

Mais contrairement à la montée, la courbe de décrue présente un étalement assez considérable : de 53,9 m<sup>3</sup>/s (9 mars), le débit passe à 3,57 m<sup>3</sup>/s au bout de 9 jours.

Il est notable que cette crue - à l'opposé de celle de décembre – est engendrée par des hauteurs de pluies moins importantes mais qui avaient le caractère de continuité temporelle.

## **I.3. À l'échelle horaire :**

Vu la non disponibilité des données de l'intensité de pluie, nous allons nous satisfaire à l'évolution des débits horaires (Khemakhem) en fonction des pluies journalières (Zardézas) du 28 décembre 1984 au 3 janvier 1985 (Fig 30).

28 décembre 1984 : P<sub>j</sub> = 53 mm - Q<sub>j</sub> = 7,305 m<sup>3</sup>/s

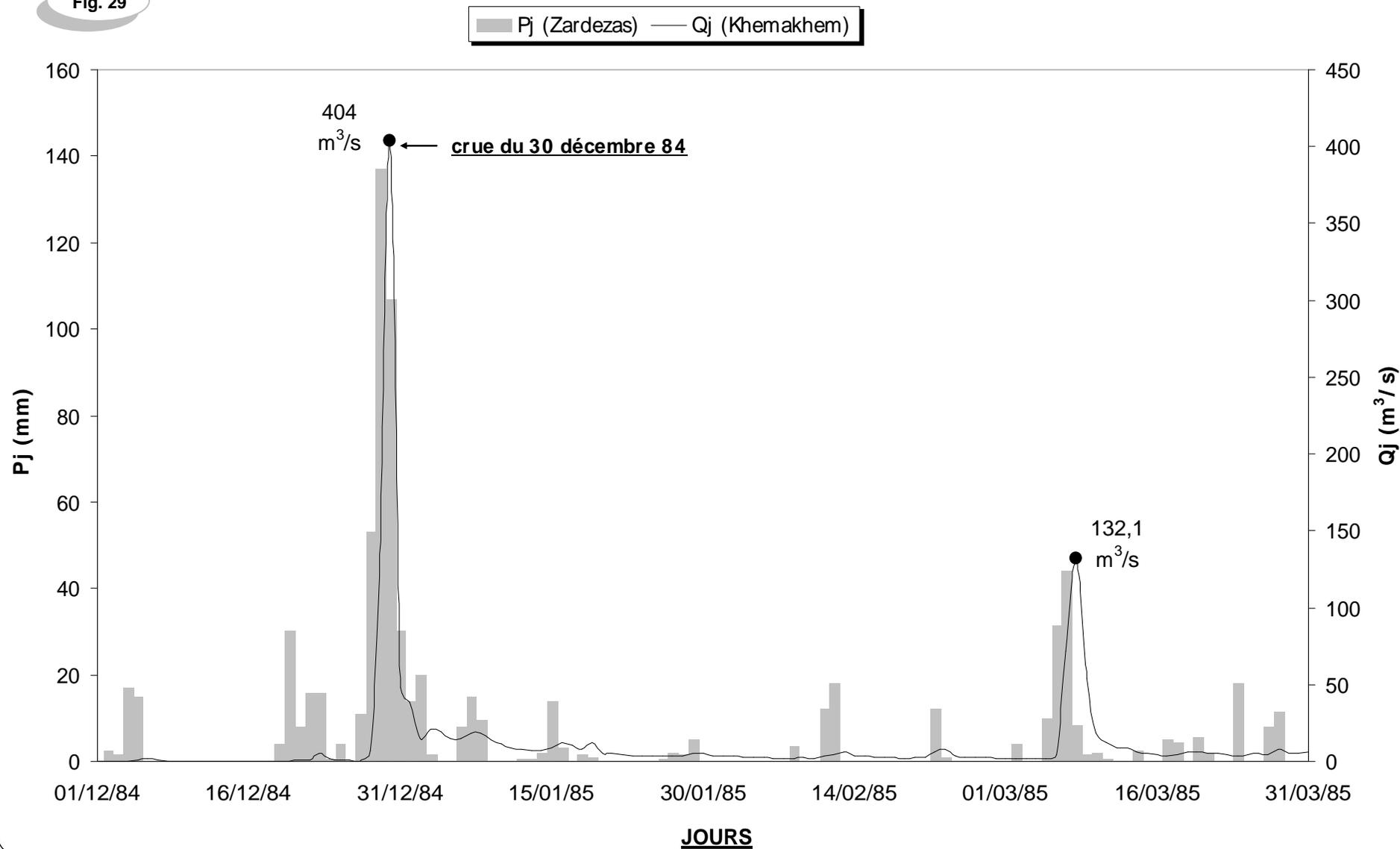
Le débit passe progressivement de 7,305 m<sup>3</sup>/s à 25 m<sup>3</sup>/s dans l'espace de 13 heures.

29 décembre 1984 : P<sub>j</sub> = 137 mm - Q<sub>j</sub> = 120,6 m<sup>3</sup>/s

Le débit prend 2 heures pour passer de 10 m<sup>3</sup>/s (15 :00) à 265,92 m<sup>3</sup>/s (17 :00), avant de s'atténuer jusqu'à 90 m<sup>3</sup>/s après une heure.

**SOUS-BASSIN DES ZARDEZAS (01/09/1984 - 31/03/1985) : EVOLUTION DES DEBITS JOURNALIERS (KHEMAKHEM) EN FONCTION DES PLUIES JOURNALIERES (ZARDEZAS)**

Fig. 29



30 décembre 1984 :  $P_j = 107 \text{ mm}$  -  $Q_j = 404 \text{ m}^3/\text{s}$

Le débit passe de  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $558,6 \text{ m}^3/\text{s}$  au bout de 12 heures, puis à  $250 \text{ m}^3/\text{s}$  (17 :00) pendant 9 heures, avant de descendre encore une fois à  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  après une heure.

1<sup>er</sup> janvier 1985

Suite à une pluie de 14 mm, le débit passe de  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  (15 :00) en 6 heures avant de prendre la même durée pour descendre à  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

2 et 3 janvier 1985

La baisse des pluies (20 et 1,5 mm) a parallèlement abouti à la stabilité de l'écoulement aux limites de 15 et  $21,15 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## **II. Estimation du débit de pointe de la crue de décembre 1984 au niveau de la plaine et la ville de Skikda (Méthode hydraulique de Chézy) :**

Le sous équipement du bassin versant du saf-saf dans sa partie aval en stations de jaugeage, ne nous a pas permis de connaître les valeurs du débit de pointe qu'a subi la plaine inondable de skikda.

Pour le savoir, nous allons avoir recours à l'une des méthodes empiriques en l'occurrence la méthode hydraulique (Méthode de Chézy).

Cette méthode a l'avantage de donner des résultats d'une bonne fiabilité car, elle tient compte des caractéristiques physiques des cours d'eaux, telles la rugosité et la pente qui agissent directement sur l'écoulement, elle se présente sous la forme :

$$Q_{\max} = S * V_{\text{moy}}$$

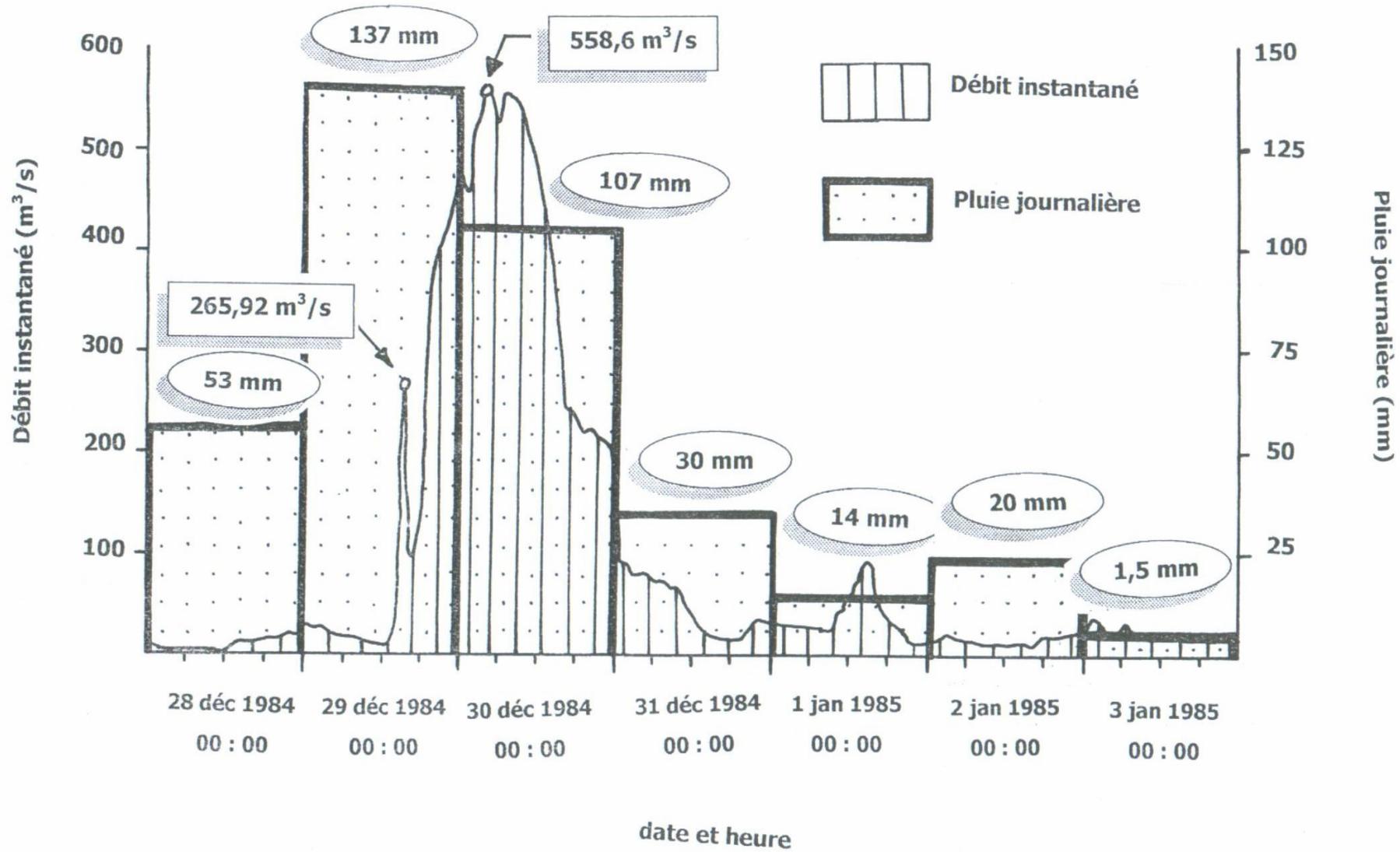
- S ( $\text{m}^2$ ) : Section mouillée correspondante à la cote d'eau maximale de la crue.
- $V_{\text{moy}}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) : Vitesse moyenne du flux de l'eau pendant la crue.

Où :

$$V_{\text{moy}} = C * (R \cdot I)^{1/2}$$

Crue de décembre 1984 au sous bassin des Zardézas : Évolution de l'écoulement instantané (Khémakhem) en fonction des pluies journalières (Zardézas)

Fig n°



- R (m) : Rayon hydraulique du cours d'eau (Pendant la crue).

$R = \text{Section mouillée (m}^2\text{)} / \text{Périmètre de la section mouillée (m)}$ .

- I : Pente du cours d'eau ( $I = \Delta h / D$ )

- C : coefficient de rugosité calculé selon la loi de *Manning* ;

$$C = (1 / N) * R^{1/6}$$

• N : coefficient de frottement (Annexe 2).

L'application de cette méthode a permis d'obtenir les résultats suivants :

*Tableau 19, Estimation des débits de pointe de la crue de décembre 1984 au bassin versant du Saf-Saf (Méthode de Chézy) :*

	I	N	R	C	V <sub>moy</sub>	S	Q <sub>max12/84</sub>
SB Zeramna	0,017	0,011	0,76	86	10	74	740
BV Saf-Saf (Excepté SB Zeramna)	0,05	0,025	1,46	42	11	324	3564
Ensemble BV Saf-Saf	0,08	0,030	1,77	36	13	650	8450

### **III. LES PREJUDICES DE LA CRUE DE DECEMBRE 1984 AU NIVEAU DU BASSIN VERSANT DU SAF-SAF ET DE LA VILLE DE SKIKDA :**

Les crues peuvent avoir beaucoup d'intérêt hydrologique et hydraulique (alimentation des aquifères et barrages...). En revanche, elles peuvent avoir des effets dévastateurs touchant les individus, équipements et infrastructures.

C'est dans ce contexte que nous allons essayer de mettre en lumière les conséquences qu'a engendré la crue nuisible de décembre 1984, à travers le bassin du Saf-Saf et notamment au niveau de la ville de Skikda entant que milieu urbain et socio-économique sérieusement touché.

Le mois de décembre a été marqué par une hydro-pluviométrie exceptionnelle, où la station des Zardézas a reçu (du 20 décembre 84 au 4 janvier 85) 448,8 mm dont, 297 mm (66,3 %) en seulement 3 jours (29, 30 et 31 décembre) et par conséquent, l'écoulement est

progressivement augmenté pour atteindre la valeur de 558,6 m<sup>3</sup>/s le 30 décembre à 4:00 du matin.

Cette grande concentration des pluies et de l'écoulement dans le temps et dans l'espace a provoqué de catastrophiques conséquences au niveau du bassin inférieur du Saf-Saf, étant zone de grande inondabilité et marquée par la concentration des habitats, infrastructures et même des terrains agricoles sur de faibles pentes tout au long de la vallée.

La capacité utile du barrage des Zardézas était de l'ordre de **26 hm<sup>3</sup>** en revanche, il a reçu du 28 décembre au 3 janvier un volume de 55,22 hm<sup>3</sup> [Volume calculé par planimètrage de l'hydrogramme horaire (Khemakhem : 28/12/1984 – 3/1/1985)], valeur souvent sous-estimée par les rapports officiels qui donnent seulement la valeur de 37,5 hm<sup>3</sup>, ce qui fait que la ville de Skikda a reçu au moins **25,22 hm<sup>3</sup>**, sans compter l'écoulement venant des oueds post-Zardézas (l'oued Ameer, l'oued Haddaratz, l'oued Nessa et l'oued Zeramna).

Vu la rareté - voir l'inexistence - d'un dénombrement des dégâts au niveau des services étatiques, nous allons avoir recours au seul document disponible étant le rapport de la protection civile qui date de 1985, à travers lequel on va suivre la chronologie des événements, synchroniquement à l'évolution journalière des débits (Khemakhem) en fonction des pluies (Zardézas).

#### ***Jour du 29 décembre 1984***

Ce jour était marqué par la précipitation de la pluie journalière maximale annuelle (137 mm) donnant lieu à un écoulement de l'ordre de 120,6 mm (32,4 m<sup>3</sup>/s), et cela a abouti à l'inondation des zones proximales des cours d'eaux au niveau de la ville de skikda.

14 :10

Embâcle de l'oued El Akna (cité Salah Boulkeroua), et inondation de ses parties riveraines (cantonnements).

15 :30

Inondation partielle du chemin de wilaya qui mène au cimetière de Zaf-Zaf.

16 :30

Débordement de l'oued Zeramna et inondation de la cité 20 août 1955.

18 :00

Inondation du poste de distribution de l'énergie électrique par l'oued Zeramna.

19 :00

Embâcle du pont de l'oued Zeramna et submersion des cités voisines :

- Cité Salah Boulkeroua.
- Cité et allées du 20 août 1955.
- Cité des frères Saker.
- Cité Timgad et STE.
- Cité Bouabbaz (ex Merdj Ed Dib).

21 :15

Augmentation de la lame d'inondation au niveau des cités susmentionnées pour atteindre 3,5 m, et inondation du poste de SONELGAZ par l'oued Saf-Saf suivie par son arrêt total et laissant toute la ville dans l'obscurité, ce qui a entraîné l'arrêt totale de tout approvisionnement en eau potable.

22 :00

Paralysie totale et démolition de toutes les voies au niveau de la basse ville de Skikda.

### ***Jour du 30 décembre 1984***

L'écoulement a atteint son maximum 108,4 mm coïncidant avec une pluie de 107 mm ( $C_e = 101\%$ ), en synchronisation avec le maximum instantané ( $558,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) qui a duré 4 heures, et par conséquent les dommages se sont aggravés.

3 :00

Enregistrement de multiples mouvements de masse au niveau de divers secteurs de la ville.

5 :00

L'inondation de l'unité de distribution de gaz naturel et arrêt d'approvisionnement.

*Tableau 20, wilaya de Skikda (30 décembre 1984) : état des routes.*

Type de route	n° de route	État
Route nationale	RN 85	Remblais par l'oued Guebli
	RN 43	Remblais et affaissement au niveau de Bouchetata
	RN 3 Skikda – Constantine	Démolition des gabions et murs de soutènement
Chemin de wilaya	CW 26 Skikda – Tamalousse	Mouvements de masse
	CW 33	Démolition et isolement de la commune de Ouled Habeba
Voie communale	VC 21 Boumaiza – Ben Azzouz	Arrachement sur 8 m
	VC 04 Esbèt – oued Nafel	Arrachement sur 7,5 m

### **État de la zone industrielle, secteur : Énergie/Pétrochimie :**

La zone industrielle de Skikda s'étend sur une superficie de 2000 ha, elle est sise à l'est de la ville tout près de la confluence : oued Saf-Saf - oued Zeramna (Photo 1°). Par conséquent, elle a subi de sérieux dégâts notamment au sein de l'unité GNL (Carte 11) :

- Déformation des lignes de chargement 34 et 36.
- Inondation de pomperie GNL : moteurs, régulateurs et instrumentations.
- Inondation des unités 5 et 6 et la salle de contrôle.
- Inondation des sous-stations électriques, dégâts sur disjoncteurs et moteurs.
- Destruction de la toiture du bâtiment de la coopération de consommation, et détérioration des produits de consommation.

9:00

À la suite d'une importante infiltration d'eau dans les canalisations et installations, l'arrêt total de la distribution du gaz naturel.



9:13

Arrêt des complexes pétrochimiques et inondation de toutes les installations des unités :  
GNL - CMPK - RAK 1 - UTE.

10:00

Sauvetage de 22 familles (124 personnes) dans la cité Merdj Ed Dib où, l'eau a atteint 3,5 m de hauteur et arrêt de toutes les communications suite à l'inondation du centre téléphonique à la cité STE.

20:30

Rupture complète des voies qui mènent de/vers El Harrouch, et isolement de la commune d'Oum Toub.

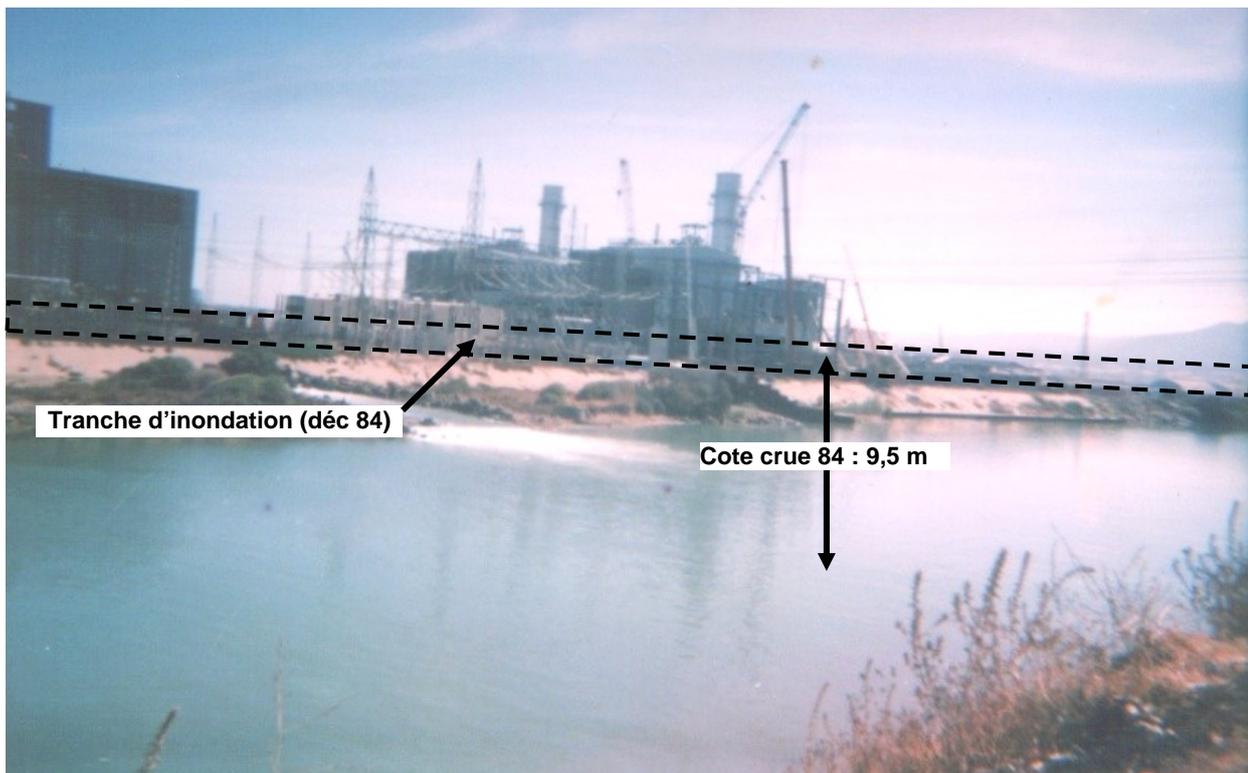


Photo 1, La proximité de la zone industrielle de Skikda vis-à-vis oued Saf-Saf la met en perpétuelle exposition aux risques de submersion.

***Jour du 31 décembre 1984***

Malgré la diminution des pluies (30 mm) et de l'écoulement (12,9 mm), la situation demeure critique.

00 :13

Inondation du centre de rééducation de *Hammadi Krouma* et détention de son personnel.

*Tableau 21, wilaya de Skikda (31 décembre 1984) : état des routes*

Type de route	n° de la route	État
Route nationale	RN 3 Skikda – Constantine	rupture à Zighoud Youssef circulation interrompue
	RN 3 A-B Azzaba – Constantine	Chaussés inondées circulation interrompue
	RN 44 Azzaba – Skikda	Chaussés inondées circulation interrompue
	RN 80 Guelma – Bekkouch Lakhdar	Passage sur pont (oued Mouguer) interrompu suite au glissement des remblais
Chemin de wilaya	CW 57 Ben Azzouz – Berahal	Chaussés inondées circulation interrompue
	CW 12 Chetaibi – Berahal	Chaussés inondées circulation interrompue
	CW 130 Djendel – Ain Cherchar	Chaussés inondées circulation interrompue
	CW A6 Djendel - Azzaba	Chaussés inondées circulation interrompue

Et tout cela a fait que les communes de : Djendel, Bekkouch Lakhdar et Esbèt soient en isolement complet.

15 :20

Le nombre des familles sinistrées a atteint 500 à Collo.

20 :00

Découverte du premier cadavre à Ramdane Djamel.

***Jour du 1<sup>er</sup> janvier 1985***

La station des Zardézas n'a enregistré que 14 mm de pluie et l'écoulement s'est stabilisé à la limite de 10,2 mm, cette régression de l'alimentation hydraulique provenant du bassin supérieur a abouti à une amélioration de la situation au niveau de l'aval notamment à la ville de Skikda.

*Tableau 22, wilaya de Skikda (1 janvier 1985) : état des routes.*

Type de route	n° de la route	État
Route nationale	RN 3 A-B Azzaba – Constantine	Circulation rétablie
	RN 44 Azzaba – Skikda	Circulation rétablie

***Jour du 2 janvier 1985***

Malgré la précipitation de 20 mm, l'écoulement s'est beaucoup atténué (4,1 mm) ce qui a facilité les interventions, sauvetages, épuisement des eaux et nettoyage des immeubles, notamment la station de distribution de l'énergie électrique.

8 :30

Amélioration progressive de la situation et distribution des ravitaillements.

13 :30

Découverte d'un cadavre à la cité 20 août 1955.

19 :30

Approvisionnement partiel en électricité au niveau de la ville de Skikda.

***Jour du 3 janvier 1985***

8 :00

Approvisionnement en eau potable au niveau des cités : 20 août 1955 – Timgad – Frères Saker – 500 et 700 logements – fonctionnaires – Merdj Ed Dib et les centres électrique et téléphonique.

- Daïra de Collo : poursuite des opérations de nettoyage et absence d'alimentation en électricité.

- Daïra d'El Harrouch : rétablissement de l'approvisionnement en électricité et en gaz naturel.

- Daïra de Azzaba : possibilité de circulation.

*Tableau 23, wilaya de Skikda (3 janvier 1985) : état des routes.*

Type de route	n° de la route	État
Route nationale	RN 80 Guelma – Bekkouch Lakhdar	Circulation interrompue en raison de la démolition du pont
Chemin de wilaya	CW A6 Djendel - Azzaba	Circulation rétablie
	CW 130 Djendel – Ain Cherchar	Circulation rétablie

14 :10

Découverte de deux cadavres à la cité Merdj Ed Dib.

#### *Jours du 4 au 12 janvier 1985*

- Poursuite des opérations de ravitaillement et nettoyage, alimentation en eau potable.
- Restitution complète de la distribution de gaz et d'électricité le 5 janvier 1985.

#### **IV. Discussions**

À partir de l'évolution des incidents relatifs à cette crue, nous pouvons extraire quelques remarques :

❶ La bonne concordance entre les phases de l'écoulement (hydrogramme de la crue) et l'évolution des événements et dégâts :

- 29 décembre 1984 : début de la crue et d'enregistrement des dégâts.

- 30 et 31 décembre 1984 : écoulement maximal de crue et aggravation de la situation.

- du 1<sup>er</sup> au 3 janvier 1985 : atténuation de l'écoulement et stabilisation de la situation.

② L'inondation de la ville de Skikda est survenue suite au débordement de l'oued Zeramna en premier lieu, puis par la submersion de l'oued Saf-Saf. Cela est lié aux caractéristiques générales des deux bassins, la taille et le temps de concentration qui est plus court pour le sous-bassin de Zeramna (6,56 h) par rapport à celui du Saf-Saf (14,57 heures).

③ On a mis plus de lumière sur la ville de Skikda car elle était la plus touchée en raison de sa position proximale des deux oueds : Saf-Saf et Zeramna, mais aussi les autres agglomérations riveraines de l'oued Saf-Saf telles Ramdane Djamel, Salah Bouchaour, Beni Béchir et El Harrouch ont subi de sérieuses avaries, notamment dans le secteur agricole, où l'extension horizontale de la lame d'inondation a atteint 250 m de part et d'autre de l'oued Saf-Saf à Ramdane Djamel, et la hauteur d'eau a pu accéder 4 mètres à la cité dite : Mestoura (Daira de Ramdane Djamel).

④ Au niveau de la ville de Skikda, l'inondation du 31 décembre 1984 était la résultante de la combinaison des facteurs suivant :

- ❖ L'orage : l'intensité des pluies est si importante que le sol est incapable d'absorber rapidement l'eau, d'où un fort débit en surface.
- ❖ L'embâcle : il est causé par l'accumulation de blocs, troncs d'arbres..., qui font obstacle à l'écoulement de l'eau, constituant une sorte de barrage temporaire. D'une part, l'embâcle diminue la profondeur requise pour maintenir le débit du cours d'eau et par conséquent, élargisse la surface submergée de part et d'autre le cours d'eau. D'une autre part, les eaux soudainement dégagées (suite à la débâcle) peuvent atteindre des hautes vitesses, et ceci permet aux ondes d'eau libérées d'avoir plus de force destructive.
- ❖ L'écoulement d'averse en milieu urbain : il a également provoqué la crue de l'oued Zeramna engendrant l'inondation des zones urbaines, car l'urbanisation – en limitant la capacité d'infiltration – accroît le volume et le débit du ruissellement, et la capacité de transport de l'oued Zeramna a été rapidement dépassée, ce qui a causé sa submersion.

*Le bilan général des pertes humaines de cette crue est le décès de **11 personnes** à travers la wilaya de Skikda (**29 personnes** à travers la wilaya de Jijel).*

## CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE

❶ Le phénomène de crue est essentiellement rendu aux pluies maximales mensuelles et surtout journalières où, l'abondance mensuelle renforce le contenu hygrométrique des sols et assure la saturation de ses horizons superficiels, tandis que les séquences pluviales journalières déclenchent l'écoulement maximal en raison de leurs concentration dans le temps, donnant naissance à des crues d'importances étroitement liées aux pluies qui les ont engendré.

Les crues exceptionnelles sont – le plus souvent – caractérisées par une remarquable concordance temporelle (mensuelle au moins), entre l'écoulement de pointe et la pluie maximale mensuelle et journalière qui le produisent, et participent avec une importante portion dans la hauteur pluviale annuelle.

❷ L'étude de l'évolution journalière des plus importantes crues observées au bassin du Saf-Saf entre 1973/74 et 1998/99, a permis de distinguer deux types de crues :

✓ Crue liée à la saturation du sol :

L'écoulement de pointe est précédé par une phase de faible précipitation dite préparatoire, et la pluie journalière maximale peut coïncider avec l'écoulement de pointe (crue du 3 février 1983), comme elle peut le précéder par un espace de 24 heures (crue du 30 décembre 1984) ou même 48 heures (crue du 31 décembre 1992).

✓ Crue liée à l'intensité de pluie :

Généralement, ce type coïncide avec les crues de la saison chaude, où la nature torrentielle des pluies, et leur concentration dans le temps d'une part, et la structure dégradée du sol (après une longue période de sécheresse) de l'autre, aboutissent à des crues de faibles écoulements (en raison de l'importante évaporation), mais rapides de part leur montée et leur décrue (crue 18 mai 1977).

En gros, le bassin du Saf-Saf a présenté une bonne réaction vis-à-vis les pluies, cette réponse hydrologique peut être justifiée par les facteurs physico-géographiques où, la dominance des formations lithologiques de faible perméabilité, la dégradation de la couverture végétale et l'importance du réseau hydrographique, favorisent la mobilisation de

l'écoulement qui – en raison du cumul hydrologique – se redouble de l'amont du bassin à son aval, pour arriver enfin à l'agglomération urbaine de skikda.

③ L'année 1984/85 s'est émergée par des circonstances hydro-pluviométriques de caractères rares, l'exceptionnalité de sa pluviométrie aux niveaux : annuel-mensuel-journalier, a donné naissance à une crue historique - étant celle de décembre - de part :

- ✓ Les valeurs plafond de son écoulement de pointe jamais connues pendant 34 ans.
  - ✓ Les sérieux dégâts qu'elle a engendrés, touchant d'une part les différents aspects humains et socio – économique. Et d'une autre, les milieux urbains ainsi que ruraux.
  - ✓ Les vastes espaces qu'elle a inondés à travers tout le bassin du Saf-Saf, et notamment sa partie Aval (ville de Skikda et zone industrielle).
  - ✓ La crue de décembre 1984 avait le caractère de " *généralité* ", car elle a non seulement marqué le bassin du Saf-Saf ou la ville de Skikda, mais bien d'autres bassins et villes à travers l'Algérie du nord.
-

# **QUATRIÈME PARTIE**

## **ENJEUX, CARTOGRAPHIE DU RISQUE**

### **ET ESSAI DE " P.P.R.I "**

#### ➤ **CHAPITRE I**

##### **LA PREDETERMINATION DES CRUES**

#### ➤ **CHAPITRE II**

##### **LES FACTEURS ANTHROPIQUES AGGRAVANTS DU RISQUE D'INONDATION**

#### ➤ **CHAPITRE III**

##### **ESSAI DE « P.P.R.I »**

## **Introduction**

Nous avons su précédemment que le bassin du Saf-Saf – et la ville de Skikda en particulier – présente de grandes aptitudes à l'écoulement et à la genèse des crues. Et afin de réduire les dommages liés aux inondations, il va falloir entamer la démarche suivante :

- Prédéterminer les crues afin d'estimer les débits qui peuvent avoir lieu et atteindre la ville de Skikda à différentes périodes de retour.
- Mettre en évidence le mode d'occupation de l'espace par l'homme et son impact sur la vulnérabilité.
- Délimiter les zones inondables selon les différentes périodes de retour, recenser les enjeux humains et socio-économiques et préciser le niveau du risque.
- Suggérer des mesures de gestion du risque d'inondation, en terme de prévision, de prévention et de protection au niveau de l'espace urbain ainsi que du bassin versant.

## **CHAPITRE I**

### **LA PRÉDÉTERMINATION DES CRUES**

En effet, l'étude hydrologique précédemment effectuée ne concerne que le bassin supérieur qui est limité par le barrage des Zardézas, ce dernier régularise l'écoulement de l'oued Saf-Saf dans sa partie inférieure, et ne reflète pas réellement les ondes de crues qui peuvent engendrer des inondations au niveau de l'aval, (plaine et ville de Skikda et la zone industrielle).

Comme le bassin du Saf-Saf n'est équipé que par la station hydrométrique de Khemakhem (en amont), nous allons avoir recours aux méthodes empiriques pour procéder à la prédétermination des débits maximaux récurrentiels, dont dépend la réalisation de la cartographie du risque d'inondation au niveau de la ville de skikda.

La ville de Skikda est traversée par deux cours d'eau importants :

- Oued Saf-Saf qui passe par la basse ville de Skikda à l'est.
- Oued Zeramna étant affluent de ce dernier et qui vient du côté Nord-Ouest du bassin, il traverse la plus grande partie de la ville avant de constituer le confluent de l'oued Saf-Saf en plein ville de Skikda. Couramment, c'est le débordement de l'oued Zeramna qui provoque plus de dégâts liés aux inondations.

Pour se faire, nous optons pour deux méthodes :

- Empirique : La méthode rationnelle de Turraza, pour prédéterminer les crues au niveau de l'ensemble du bassin du Saf-Saf, ainsi le sous-bassin de l'oued Zeramna.
- Statistique : Analyse fréquentielle des débits de crues annuelles observées à Khemakhem (Ajustement statistique à une loi de Fréchet).

## I. Estimation des débits maximaux probables par la Méthode Rationnelle

(Turraza) :

Cette méthode admette que la fréquence du débit de pointe déterminé est égale à celle de la pluie maximale sur le temps de concentration, elle se présente sous la forme pratique :

$$Q_{\max f\%} = \frac{C \cdot P_{tc f\%} \cdot S}{3,6 \cdot t_c}$$

- $Q_{\max f\%}$  : Débit maximal instantané de la crue de fréquence F (m<sup>3</sup>/s).
- C : Coefficient de ruissellement du bassin par la crue considérée (pour la même fréquence).

Nous pouvons utiliser les valeurs de C proposées par Turraza, qui sont fonction du degré de couverture végétale et de la nature du sol.

Tableau 24, coefficients de ruissellement de Turraza

	0 %	20 %	50 %	
% de la végétation				
Perméabilité				
Imperméable	1	0,8	0,7	0,5
De faible perméabilité	0,8	0,6	0,5	0,3
Assez perméable	0,6	0,4	0,3	0,1
Perméable	0,3	0,2	0,1	0,01

Ces valeurs correspondent aux coefficients des crues décennales, quand aux crues centennales on prend les valeurs sises à gauche de la colonne qui correspond à la crue décennale.

- $P_{tc f\%}$  : Hauteur totale maximale de précipitation correspondant au temps de concentration du bassin pour une fréquence donnée.

$$P_{tc f\%} = P_{j\max f\%} \cdot (t_c / 24)^b \quad \text{Où :}$$

○  $P_{jmax\ f\%}$  : Pluie journalière maximale fréquentielle ; elle peut être calculée selon la formule :

$$P_{jmax\ f\%} = [P_{jmax}' / (CV^2 + 1)^{0,5}] \cdot e^{u \cdot [\ln(CV^2 + 1)]^{0,5}}$$

○ U : Variable réduite de Gauss d'une fréquence donnée.

○ CV : Coefficient de variation de la série des pluies journalières maximales.

○ b : Exposant climatique de Body.

• Tc : Temps de concentration du bassin (heure).

• S : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>).

### I.1. Au niveau de l'ensemble du bassin versant du Saf-Saf :

Cette section fera l'objet de l'estimation des débits de crues probables correspondant à l'ensemble du bassin du Saf-Saf y compris le sous-bassin de l'oued Zeramna.

L'application de cette méthode (en utilisant les données des pluies journalières maximales de la station d'El Harrouch) a permis d'avoir les résultats suivants :

*Tableau 25, bassin versant du Saf-Saf : les débits de pointes récurrentiels à la méthode rationnelle (station pluviométrique d'El Harrouch).*

<b>C</b> (Coefficient d'écoulement)	<b>b</b> (Exposant climatique de Body)	<b>tc (h)</b> (Temps de concentration Giandotti)	<b>F %</b> (Fréquence)	<b>T (an)</b> récence	<b>P<sub>jmax</sub>f%</b> (mm)	<b>P<sub>tc</sub>f%</b> (mm)	<b>Q<sub>max</sub>f%</b> (m <sup>3</sup> /s)
0,5	0,40	14,57	0,9	10	80,6	66	726
0,6			0,99	100	132	108	1425

## I.2. Au niveau du sous bassin versant de oued Zeramna :

Tableau 26, sous bassin versant de Zeramna : caractéristiques généraux

Paramètres		Valeurs
Surface (A)		114 km <sup>2</sup>
Périmètre (P)		50 km
Indice de compacité (kc)		1,31
Altitude moyenne (H <sub>moy</sub> )		253 m
Altitude minimale (H <sub>min</sub> )		30 m
Longueur du talweg principal (Lp)		20 km
Classes des pentes	0 – 3 %	6 km <sup>2</sup> (3,51 %)
	3 – 12,5 %	34 km <sup>2</sup> (29,81 %)
	12,5 – 25 %	12 km <sup>2</sup> (10,53 %)
	+ 25 %	64 km <sup>2</sup> (56,14 %)
Perméabilité	Faible (gneiss – schiste – flysch)	109,5 km <sup>2</sup> (96,05 %)
	Forte (formations quaternaires)	4,5 km <sup>2</sup> (3,95 %)
Couvert végétal permanent		59 km <sup>2</sup> (52 %)
Temps de concentration à une loi de Giandotti (tc)		6,08 h

La mise en œuvre de cette méthode (en utilisant les données des pluies journalières maximales de la station d'El Harrouch) a permis d'avoir les résultats figurants ci-dessous :

Tableau 27, sous bassin versant de Zeramna : les débits de pointes récurrentiels à la méthode rationnelle (station pluviométrique d'El Harrouch).

<b>C</b> (Coefficient d'écoulement)	<b>b</b> (Exposant climatique de Body)	<b>tc (h)</b> (Temps de concentration Giandotti)	<b>F %</b> Fréquence	<b>T (an)</b> réurrence	<b>Pjmax<sub>f%</sub></b> (mm)	<b>Ptc<sub>f%</sub></b> (mm)	<b>Qmax<sub>f%</sub></b> (m <sup>3</sup> /s)
0,5	0,40	6,08	0,9	10	80,6	46,5	121
0,7			0,99	100	132	76,2	277,8

## II. Hydrogramme et volume de crue (Méthode de l'hydrogramme triangulaire de SOKOLOVSKI) :

Après avoir caractérisé les crues fréquentielles de part leurs débits de pointe, il est complémentaire d'estimer les volumes que ces débits peuvent fournir.

Pour des raisons pratiques, on accepte l'hypothèse de travail que le volume et l'hydrogramme de crue d'une fréquence donnée, ont lieu en même temps que le débit maximal de la même fréquence.

La méthode de l'hydrogramme triangulaire est couramment utilisée en ce sens que ce procédé est simpliste, mais peut être utilisé en première approximation.

On adopte normalement un hydrogramme ayant le temps de concentration ( $t_m = t_c$ ) et un temps de décrue égal au temps de montée ( $t_d = t_m$ ) ; le temps de base en résultant est :  
 $t_b = 2 * t_m$ .

Une deuxième méthode d'emploi facile (*METHODE SOKOLOVSKI*) assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques permettant de tracer respectivement la montée de la crue et sa décrue :

$$Q_{t_m} = Q_{\max} (t / t_m)^2 \quad \text{et} \quad Q_{t_d} = Q_{\max} [(t_d - t) / t_d]^3$$

Pour le cas des crues d'averses, cette méthode suppose :  **$t_m = t_c$**  et  **$t_d = c * t_m$** .

Où : le coefficient  $c$  est tabulé en fonction de la taille du cours d'eau, de la perméabilité et du taux de boisement du bassin versant : la décrue relative à un bassin perméable et boisé est plus lente, et cela se traduit par des valeurs du coefficient  $C$  plus élevées.

- Pour les petits cours d'eau et les vallons dans les bassins versants dénudés et faiblement perméables :  **$c = 2 - 2,5$**
- Pour les petits cours d'eau et les vallons dans des bassins versants boisés ou perméables :  $c = 3 - 4$ .

Le volume de la crue se calcule par planimètrage de l'aire délimitée par la courbe de l'hydrogramme.

### **II.1. L'ensemble du bassin du Saf-Saf :**

Vu la faible perméabilité du bassin du Saf-Saf ainsi que son faible couverture végétale, il paraît que la plus proche valeur du coefficient de la forme de l'hydrogramme (Fig 31)  $c$  est celle de 2,5, cela fait que :

$$t_m = t_c = 14,57 \text{ h} \quad ; \quad t_d = 2,5 \cdot t_m = 36,42 \text{ h} \quad ; \quad t_b = t_m + t_d = 50,99 \text{ h}$$

$$\text{\AA partir des \u00e9quations: } Q_{t_m} = Q_{\max} (t / t_m)^2 \quad \text{et} \quad Q_{t_d} = Q_{\max} [(t_d - t) / t_d]^3$$

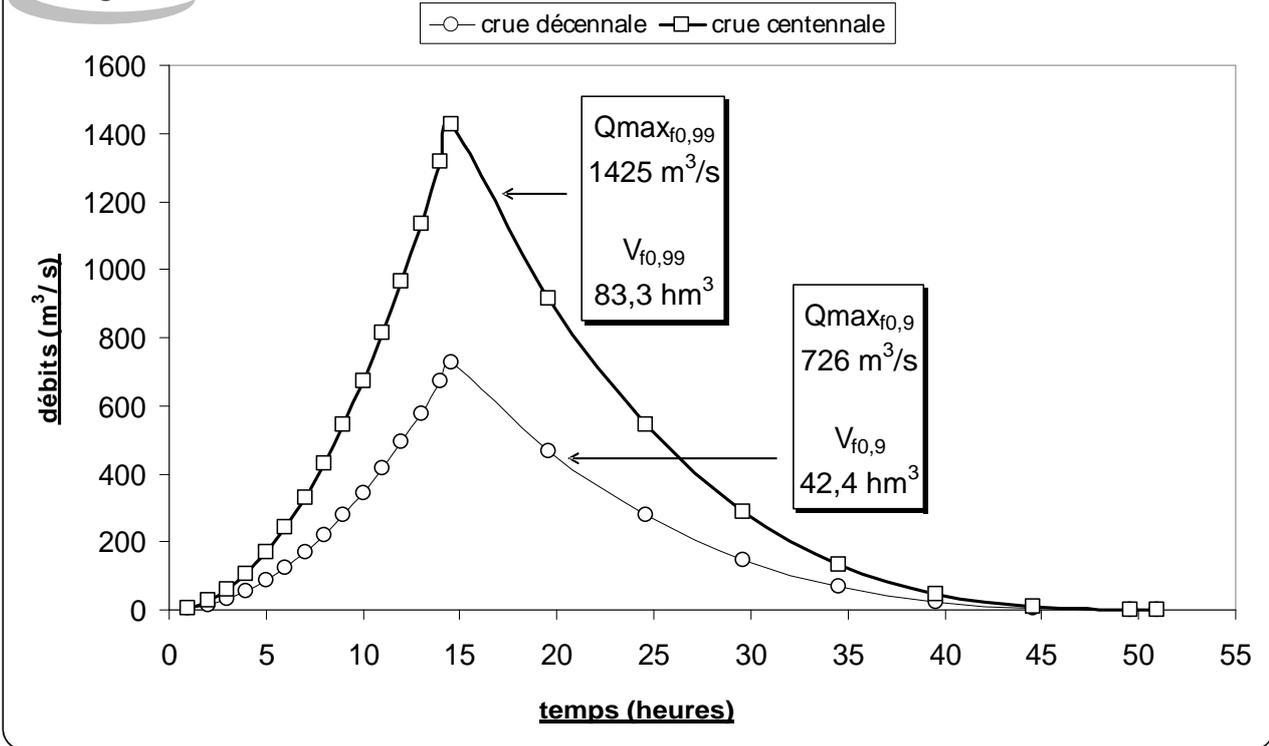
On a estim\u00e9 les d\u00e9bits de mont\u00e9e et de descente relatifs aux crues probables auparavant calcul\u00e9s.

*Tableau 28, Bassin du Saf-Saf : d\u00e9bits de mont\u00e9e et de descente des crues : d\u00e9cennale et centennale.*

Phases de la crue	temps (h)	d\u00e9bits (m <sup>3</sup> /s)	
		crue d\u00e9cennale	crue centennale
Crue (mont\u00e9e)	1	3,420	6,713
	2	13,680	26,851
	3	30,779	60,414
	4	54,719	107,403
	5	85,498	167,817
	6	123,118	241,656
	7	167,577	328,921
	8	218,876	429,611
	9	277,015	543,727
	10	341,993	671,268
	11	413,812	812,234
	12	492,470	966,626
	13	577,969	1134,442
	14	670,307	1315,685
	<b>14,57 (temps de mont\u00e9e)</b>	<b>726</b>	<b>1425</b>
D\u00e9crue (descente)	19,57	466,160	914,984
	24,57	277,150	543,993
	29,57	147,698	289,903
	34,57	66,533	130,591
	39,57	22,383	43,933
	44,57	3,977	7,805
	49,57	0,043	0,084
	50,99 (temps de base)	0	0

**Bassin du Saf-Saf: Assimilation de l'hydrogramme triangulaire  
des crues : décennale et centennale**

Fig, 31



**II.2. Sous bassin versant de oued Zeramna :**

De part sa taille (114 km<sup>2</sup>), le sous bassin de l'oued Zeramna est relativement petit (100 < 114 km<sup>2</sup> < 1000). Et vu la dominance des formations lithologiques de très faible perméabilité (109,5 km<sup>2</sup> soit 96,05 %), la valeur du coefficient de la forme de l'hydrogramme (Fig 32) c devrait être comprise entre 2 et 2,5 et après avoir tenir la valeur 2, on obtient les équations :

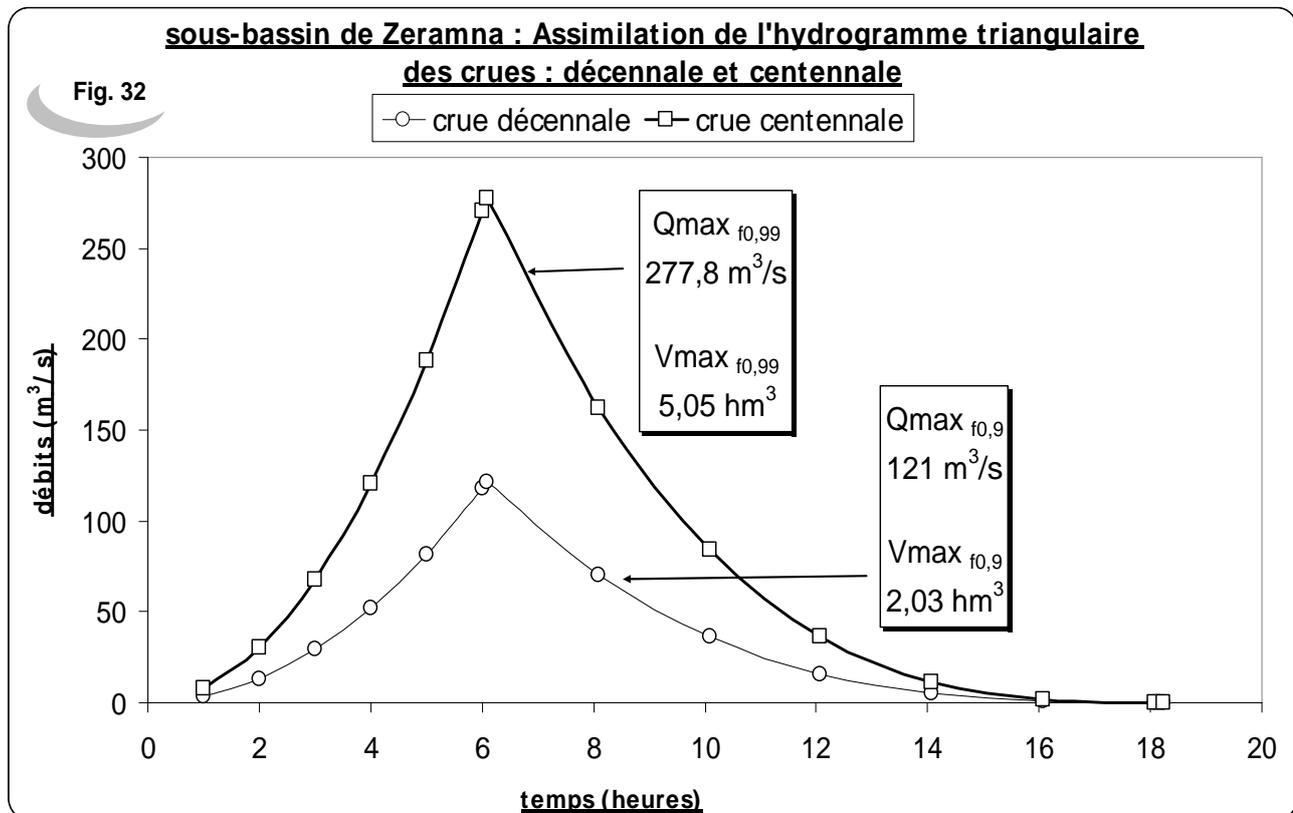
$$T_m = t_c = 6,08 \text{ h} \quad ; \quad T_d = 2 \cdot t_m = 12,16 \text{ h} \quad ; \quad T_b = t_m + t_d = 18,24 \text{ h}$$

Ainsi qu'à partir des équations:  $Q_{t_m} = Q_{\max} (t / t_m)^2$  ;  $Q_{t_d} = Q_{\max} [ (t_d - t) / t_d ]^3$

On a calculé les débits de montée et de descente relatifs aux crues probables auparavant calculés.

Tableau 29, sous bassin de Zeramna : débits de montée et de descente des crues : décennale et centennale

Phases de la crue	temps (h)	Débits ( $m^3/s$ )	
		crue décennale	crue centennale
Crue (montée)	1	3,27	7,51
	2	13,09	30,06
	3	29,46	67,63
	4	52,37	120,24
	5	81,83	187,87
	6	117,84	270,54
	<b>6,08</b> (temps de montée)	<b>121</b>	<b>277,8</b>
Décruie (descente)	8,08	70,58	162,04
	10,08	36,56	83,95
	12,08	15,73	36,11
	14,08	4,84	11,12
	16,08	0,68	1,56
	18,08	0	0
	18,24 (temps de base)	0	0



### III. Les crues annuelles fréquentielles : Ajustement à une loi de Fréchet :

Comme les crues sont des phénomènes aléatoires et d'une forte variabilité, la mise en œuvre d'une loi théorique de répartition statistique conforme aux répartitions asymétriques (loi de Frechet) parait plus acceptée (Fig 33 et 34).

En effet, la loi de Frechet est la loi exponentielle généralisée dont la fonction de répartition s'écrit :  $F(Q) = e^{-u^{-d}}$ , où :

• U est la variable réduite de Gumbel :  $U = \text{Log}(Q - Q_0) - S / d = -\text{Ln}(-\text{Ln} f(Q))$  dans laquelle :

•  $Q_0$  : paramètre de position déterminé empiriquement jusqu'à linéarisation des points représentatifs de la série.

•  $d = 0,78 * s \text{ Log}(Q - Q_0)$ .

•  $S = \text{moy Log}(Q - Q_0) - 0,577 * d$ .

Le calcul des quantiles se fait donc comme suit :  $\text{Log}(Q - Q_0) = U * d + S$ .

L'estimation de l'intervalle de confiance a % pour les différents seuils de probabilité peut être fait à partir de l'abaque proposé par M.M.Bernier et Veron (annexe n° 3).

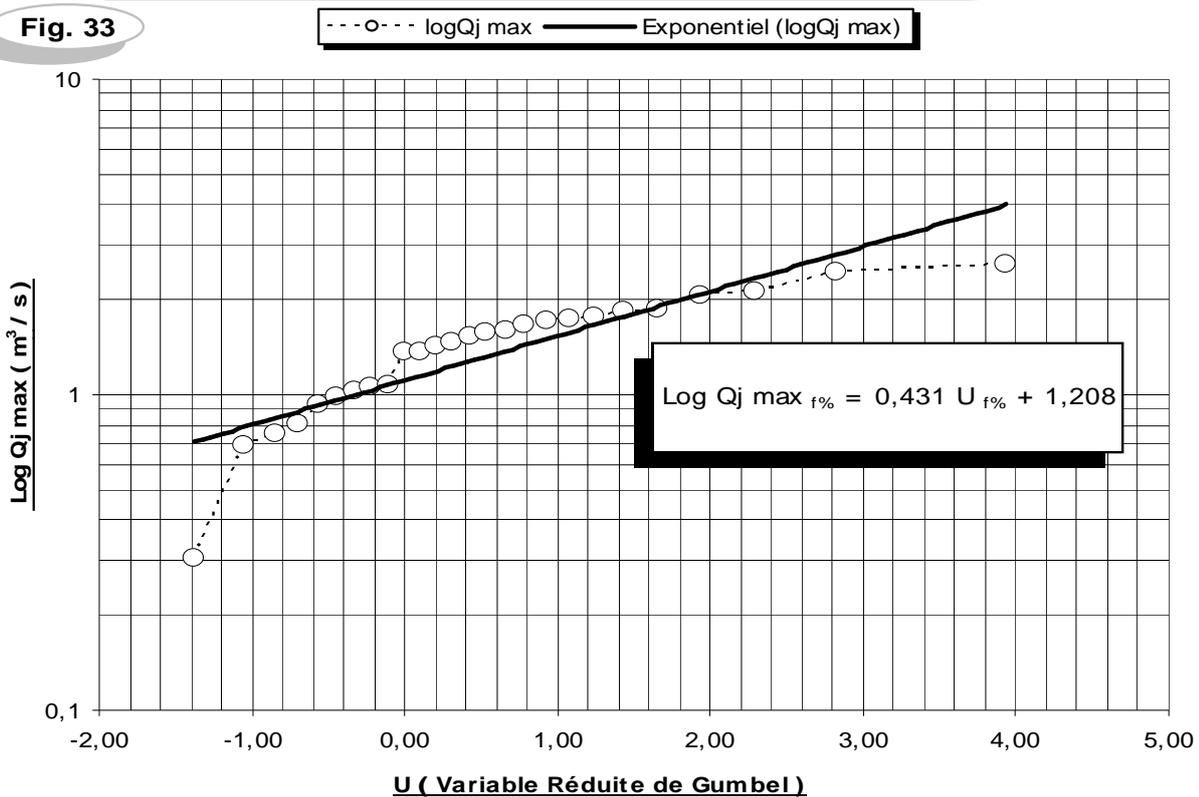
Ainsi, on a estimé à la station de Khemakhem (1973 – 1998) les débits maximaux annuels : instantanés et journaliers des fréquences : biennale, décennale et centennale.

Tableau 30, Khemakhem 73 – 98, estimation des débits maximaux fréquentsiels.

Éléments des quantiles			Khemakhem 73 – 98			
F (%)	U (Gumbel)	T (ans)	Qi max f% (m <sup>3</sup> /s)	Ic 70%	Qj max f% (m <sup>3</sup> /s)	Ic 70%
50	0,37	2	53	32 < 53 < 87	23	12 < 23 < 41
90	2,25	10	336	277 < 336 < 421	151	120 < 151 < 196
99	4,55	100	3246	3131 < 3246 < 3400	1476	1416 < 1476 < 1557
Paramètres d'ajustement (loi de Frechet)			S = 1,564 d = 0,428	Q <sub>0</sub> = 0	S = 1,208 d = 0,431	Q <sub>0</sub> = 0

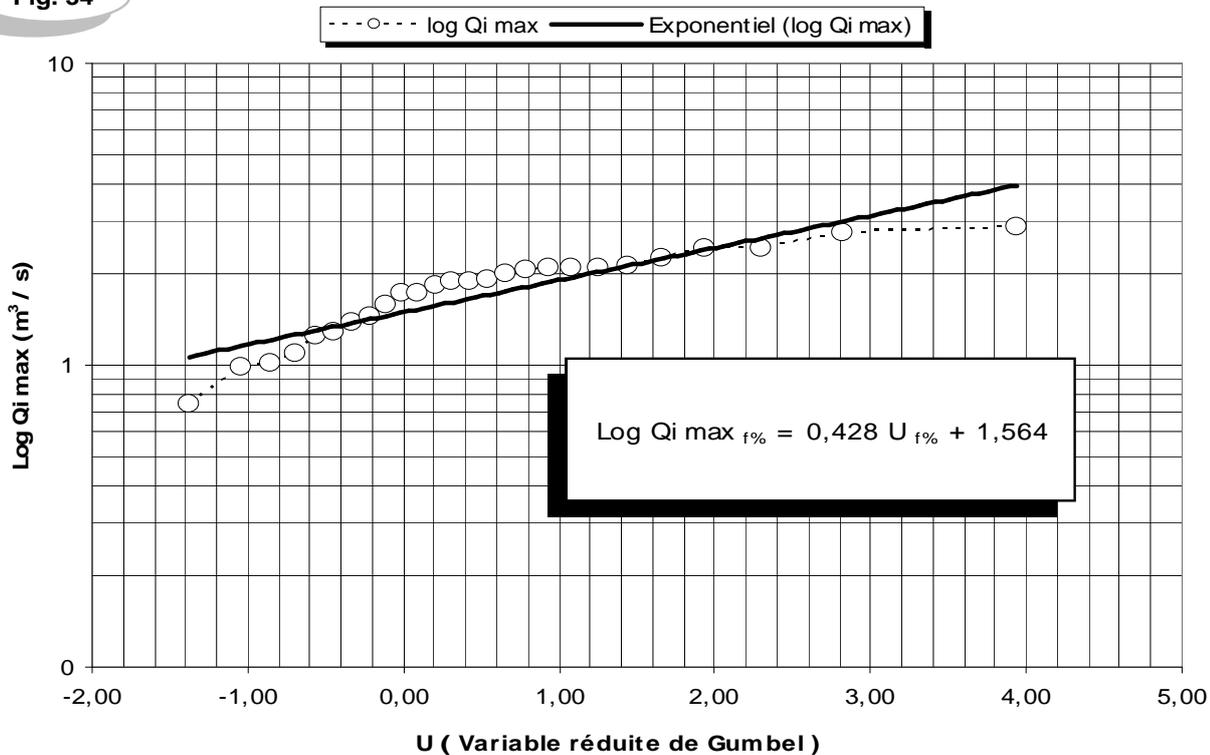
**Khémakhem 1973 / 1998 : Ajustement des débits journaliers maximaux annuels à une loi de Frechet**

**Fig. 33**



**Khémakhem 1973 / 1998: Ajustement des débits instantanés maximaux annuels à une loi de Frechet**

**Fig. 34**



- ✓ La crue biennale probable d'avoir lieu une année sur deux est de 53 m<sup>3</sup>/s et 23 m<sup>3</sup>/s comme débits maximaux, et vu la série normale des débits maximaux, elle peut correspondre aux années 75/76 et 76/77.
- ✓ La crue décennale également est de telle ampleur (336 – 151 m<sup>3</sup>/s) qu'elle puisse être dévastatrice quand, on sait que la crue du 8 janvier 1995 (284 – 136,4 m<sup>3</sup>/s) à engendré de sérieux dégâts a travers les milieux ruraux et urbains du bassin.
- ✓ La crue centennale est caractérisée par des valeurs énormes, mais ces valeurs peuvent manquer de crédibilité vu la taille de l'échantillon (uniquement 26 ans).

Ainsi, à partir des équations des droites d'ajustement des deux séries des débits maximaux instantanés et journaliers étant : «  $\text{Log } Q_i \text{ max }_{f\%} = 0,428 * U_{f\%} + 1,564$  » et «  $\text{Log } Q_j \text{ max }_{f\%} = 0,431 * U_{f\%} + 1,208$  », On a estimé la récurrence (T) des plus grandes crues observées à Khemakhem entre 73/74 et 98/99 selon les relations :

$$T \text{ (ans)} = 1 / f. \quad (f < 0,5) \quad ; \quad T \text{ (ans)} = 1 / 1 - f \quad (f > 0,5)$$

*Tableau 31, Khemakhem 73 – 98, récurrence des débits maximaux instantanés et journaliers des plus grandes crues*

Débits maximaux instantanés (m <sup>3</sup> /s)					Débits maximaux journaliers (m <sup>3</sup> /s)				
date	Qi max (m <sup>3</sup> /s)	U (Gumbel)	F (%)	T (ans)	date	Qj max (m <sup>3</sup> /s)	U (Gumbel)	F (%)	T (ans)
03/02/84	745,1	3,06	0,95	20	30/12/84	404,0	3,24	0,96	26
30/12/84	558,6	2,76	0,94	17	03/02/84	283,2	2,89	0,95	18
31/12/92	284,5	2,08	0,88	8	08/01/95	136,4	2,15	0,89	9
08/01/95	284,0	2,07	0,87	8	31/12/92	114,8	1,98	0,87	8
07/10/95	188,6	1,66	0,83	6	01/04/87	74,69	1,54	0,81	5

La particularité de l'année 84/85 est aisément constatable par des importantes récurrences dépassant les 17 ans, les temps de retour sont 26 et 17 ans qui sont l'équivalents de deux fois la récurrence de la crue juste après. Tant à la crue du 03 février 1983, elle est d'une récurrence de 18 ans pour le maximal journalier et 20 ans pour l'instantané.

#### IV. Discussion des résultats

Le tableau suivant résume les principaux résultats obtenus par les différentes méthodes de l'étude fréquentielle des débits de crues.

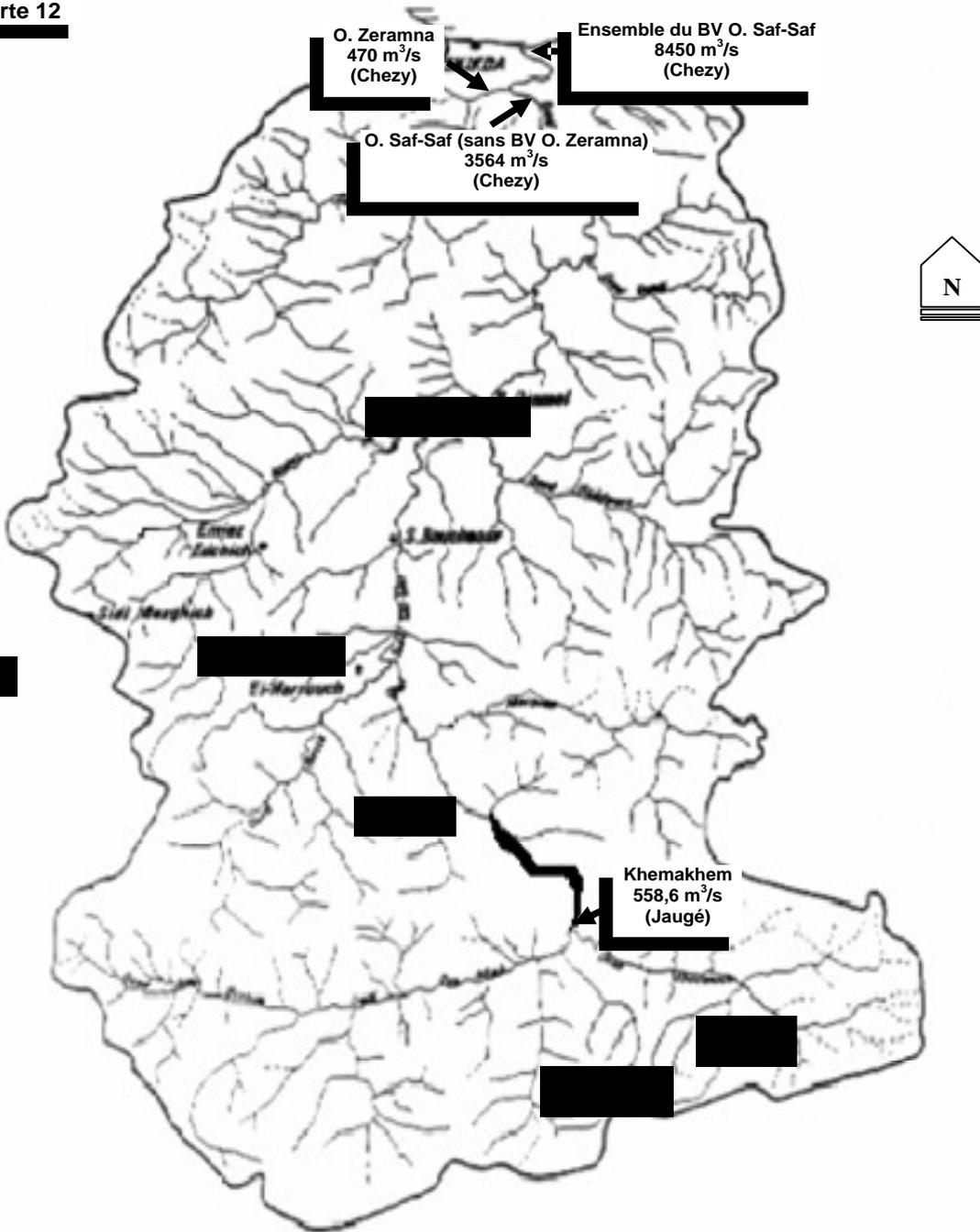
Tableau 32, bassin du Saf-Saf, tableau comparatif des débits de pointe probables

Méthode	Sous-bassin de Zéramna		Sous-bassin des Zardézas		Ensemble du bassin du Saf-Saf	
	$Q_{f0,9}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{f0,99}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{f0,9}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{f0,99}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{f0,9}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{f0,99}$ (m <sup>3</sup> /s)
Ajustement à une loi de Frechet	-	-	336	3246	-	-
Méthode rationnelle de Turraza	121	277,8	-	-	726	1425

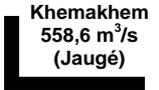
La loi de Frechet a tendance à maximiser l'information débit, c'est pourquoi les débits fréquentiels du sous-bassin des Zardézas sont largement supérieurs à ceux de l'ensemble du bassin de Saf-Saf. Cela peut être dû aux conditions favorisant l'écoulement du bassin des Zardézas. Malgré cela, les débits fréquentiels estimés à la méthode de Turraza demeurent importants et peuvent inonder de larges sections en aval, et ce sont les débits auxquels on va avoir recours pour l'élaboration de la cartographie du risque dans la ville de Skikda.

**BASSIN VERSANT DU SAF-SAF (JOUR DU 30 DECEMBRE 1984) :  
CIRCONSTANCES HYDRO - PLUVIOMETRIQUES**

**Carte 12**



Poste pluviométrique et hauteur journalière de pluie



Khemakhem  
558,6 m<sup>3</sup>/s  
(Jaugé)

Site hydrométrique, débit de pointe et type de mesure



## CHAPITRE II

### FACTEURS ANTHROPIQUES AGGRAVANTS DU RISQUE D'INONDATION

Après l'indépendance, les villes algériennes ont connu plusieurs mutations. Ces dernières sont surtout dues à la croissance démographique, et à la succession des politiques et plans d'urbanisme souvent fragiles, instables et mal étudiés.

Pour le cas de la ville de Skikda, et en raison de l'exode rural et la croissance démographique essentiellement dus à la création de la zone industrielle (1970), la consommation de l'espace urbain s'est augmentée – ce que signifie plus de terrains imperméables –. L'homme par ses mauvaises interventions, aménagements malvenus et peu conformes aux aptitudes réelles du milieu, a accru la vulnérabilité du milieu vis-à-vis les inondations.

#### **I. Phases de l'évolution urbaine de la ville de Skikda :**

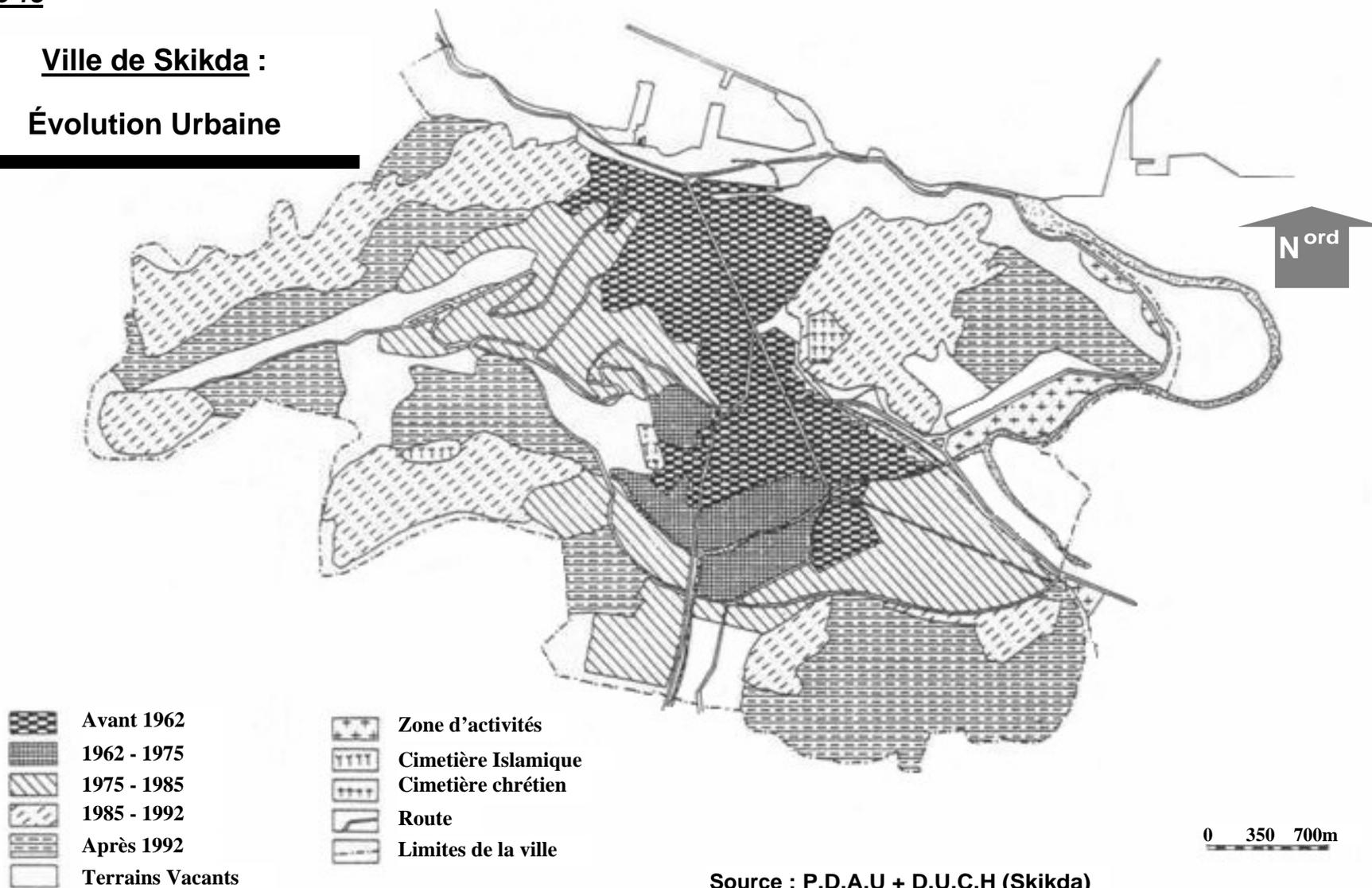
Cet élément permet de comprendre la situation actuelle et le taux de consommation de l'espace urbain. Ce dernier a été divisé en quatre phases où chaque une est marquée par ces propres caractéristiques et circonstances historiques et socioéconomiques (Carte 13 et Fig 35).

*Tableau 33, ville de Skikda : phases de l'évolution urbaine et démographique.*

Phase	Population (habitant)	Surface (ha)
avant 1962	55727	162,3
1962 – 1975	84543	230
1975 – 1985	11286	687,56
1985 – 1992	135633	1085,52

**Carte 13**

**Ville de Skikda :  
Évolution Urbaine**



### ➤ **Phases de pré indépendance (avant 1962) :**

Telle la majorité des centres coloniaux, le plan de la ville avait l'aspect damier avec des voies parallèles ou croisées, où la partie nord de la ville est marquée par la concentration de la plupart des services administratifs, établissements commerciaux et de services et dépôts.

Le noyau de la ville a été implanté sur des terrains accidentés et a évolué en suivant le versant du :

- Djebel Mouader à l'Est : où on trouve le centre hospitalier, des casernes militaires et les actuels immeubles administratifs de la Daira et Wilaya.

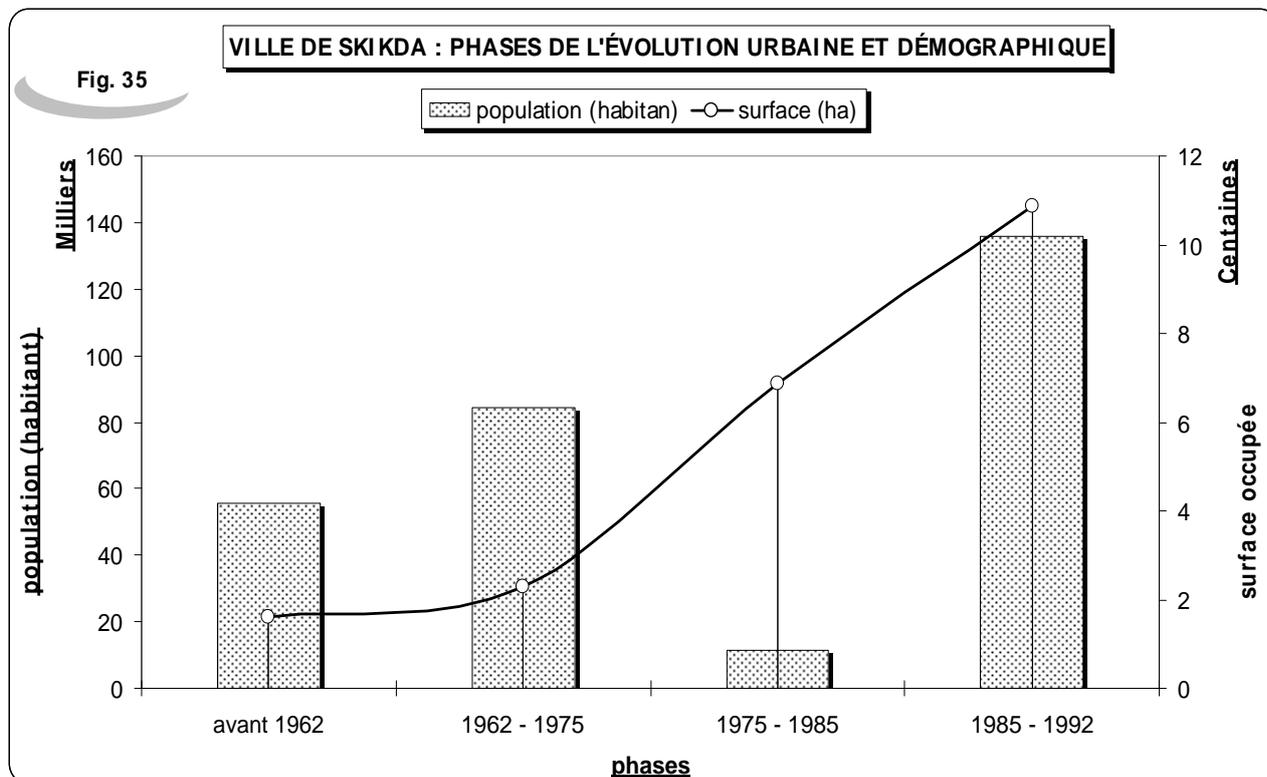
- Djebel Béni Malek et Bouyala à l'Ouest : où on voit l'apparition de quelques villas écartées. La ville a remarquablement évolué vers le sud ouest d'où les cités de : Namouss, cité El Amel et la cité des oliviers ont été édifiées vers les années cinquante, outre la cité de 20 août 1955.

Il est à noter que jusqu'à l'indépendance en 1962, le tissu urbain de la ville n'a pas dépassé l'oued Zeramna que par le stade sportif et le camp colonial Salah Boulkeroua avec une surface occupée de l'ordre de 162,3 ha (343 habitant / hectare).

### ➤ **Phase de post indépendance (1962 – 1975) :**

De 1962 à 1975, la ville de Skikda a été marquée par un important exode rural et par conséquence beaucoup de constructions illicites et cités aléatoires ont apparu.

On note le fondement du complexe pétrochimique et la cité de 20 août 1955 sur des terrains agricoles précédemment occupés par une arboriculture d'agrumes et d'oliviers au sud de l'oued Zeramna, et c'était la première cité planifiée et équipée créée dans la ville de Skikda après l'indépendance.



➤ **Phase de 1975 à 1985 :**

Cette phase est considérée comme déterminante dans l'évolution urbaine de la ville. Elle est marquée par un mouvement dense et rapide de l'urbanisme, aboutissant au doublement de l'espace urbain. Cette croissance est la conséquence d'une importante mutation démographique et économique, où la ville est devenue un pôle national de l'industrie pétrochimique et est devenue wilaya après le découpage administratif de 1974, et par conséquent elle a bénéficié des projets des plans : Quatenaire II (1974 – 1977) et Quinquennale II (1980 – 1984) qui intègre la construction de 9598 logements afin de vaincre l'insuffisance de logements et équipements, et réduire l'extension des cantonnements désordonnés.

À cet égard, la ville a profité de programmes d'habitats dans le cadre de la réalisation des *zones d'habitats urbaines nouvelles* (ZHUN) y compris :

- La zone d'habitat dénommée Zeramna au sud (135 ha).
- La zone d'habitat El Adjour au sud ouest (375 ha).

Outre, la reconduction et l'équipement de quelques cités telle la cité des Allées du 20 août 1955, et en parallèle on entamé la réalisation de la ville nouvelle *Oued Righa* (ex La platane).

### ➤ **La phase de 1985 à 1992 :**

Cette époque a coïncidé avec la crise économique qu'a vécu l'Algérie suite à la chute des prix des hydrocarbures d'une part, cela a immobilisé l'appui de l'état des projets du développement y compris ceux consacrés à l'habitat. Et d'une autre part, la carence des terrains bâtissables et les besoins accrus de logement ont emmené à la densification du tissu urbain dans tout les sens, et sur des terrains accidentés de forte pente et coûteusement urbanisés. Et pour répondre à ces nécessités, on a créé deux zones d'habitat :

- ZHUN de Salah Boulkeroua (121 ha).
- ZHUN appelée Bouabbaz (ex Merdj Ed Dib).

## **II. L'effet anthropique :**

### **a) Couverture du cours d'eau de l'oued Zeramna :**

Pendant la période allant de 1978 à 1996, la ville de Skikda – ainsi que d'autres villes algériennes – a connu une remarquable évolution démographique essentiellement due aux mouvements migratoires et l'exode rural. Devant cette situation, les autorités ont toléré la construction sur les terrains bordiers de l'oued Zeramna et très près de son lit, dont la distance entre le lit de l'oued et certains habitats ne dépasse pas les six (6) mètres, ignorant ainsi de respecter l'emprise réglementaire de l'oued.

D'une autre part, le cours d'eau initial de l'oued Zeramna a été étalonné et transformé en un canal d'évacuation des eaux usées (en béton armé) ayant une section en « U », ce calibrage a été suivi par l'édification de ponts pour piétons (Photo 2) et même des routes de circulation aboutissant, au rétrécissement de la largeur autant que la profondeur du lit, ainsi qu'à l'effacement des traits géomorphologiques du lit naturel.

L'abondant et le dépôt de déchets domestiques constituent par ailleurs une contrainte pour l'écoulement qui devient plus lent, et où la formation d'embâcle peut aboutir à la submersion des lames d'eau inondant les aires mitoyennes de l'oued.

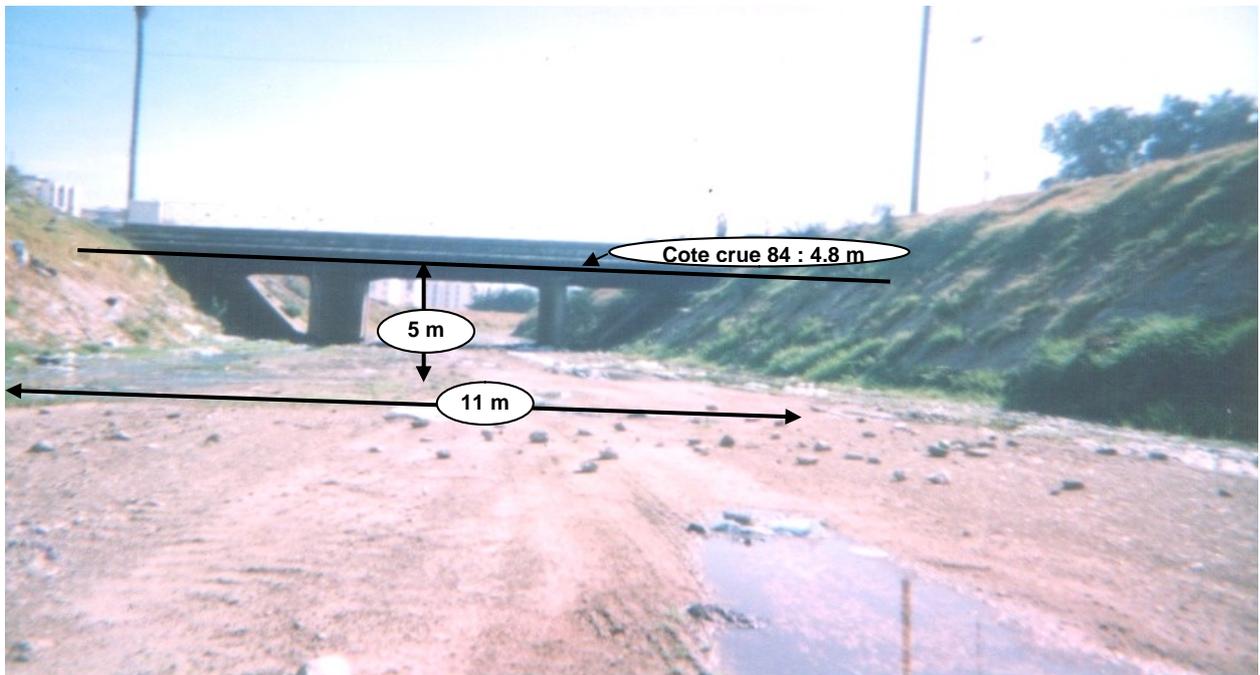


Photo 2, l'insuffisance de la hauteur de ce pont a causé l'embâcle lors de la crue de décembre 1984 (pont sur oued Zeramna - cité des frères Saker – ville de Skikda).

### b) Juxtaposition des immeubles au lit de l'oued :

L'inspection sur terrain a permis de constater la proximité remarquable des immeubles et habitats vis-à-vis du lit de l'oued (seulement 6 mètres), ces habitats sont bâtis sur des terrains de très faible pente (le plus souvent moins de 5 %), ce qui favorise la propagation et l'extension des ondes d'inondation – ce qui s'est semblablement passé lors de la crue de décembre 1984 – (Photo 3).



Photo 3, Proximité des édifices par rapport à oued Zeramna (6m) " oued Zeramna à la cité des frères Saker ".

De ce fait, toutes les zones et édifices mitoyens de l'oued sont sérieusement exposés au risque d'inondation.

Comme on l'a déjà vu, la basse ville de Skikda s'est étendue sur des terrains mitoyens au lit de oued Zeramna. En revanche, sa zone industrielle a été implantée et développée tout près de oued Saf-Saf. Et en raison de leurs faibles pentes et leur proximité aux oueds, ces terrains sont les plus exposés aux l'inondations : Phénomène fréquemment survenu lors des crues importantes (telle la crue de décembre 1984).

La délimitation plutôt précise de l'extension éventuelle des lames d'inondation, c-à-d *cartographier les zones vulnérables à l'inondation* est une tâche primordiale car, elle permet une claire connaissance spatiale des enjeux et en suite, la mise en route des actions de prévention et de protection de ces zones. Et c'est ce que le chapitre suivant fera objet.

## **CHAPITRE III**

### **ESSAI DE " P.P.R.I "**

#### **ESSAI D'ELABORATION D'UN PLAN DE PREVENTION DU RISQUE D'INONDATION " P.P.R.I " POUR LA VILLE DE SKIKDA :**

Le " P.P.R.I " délimite les zones exposées au risque d'inondation et définit les mesures de prévention, protection et de préservation qui doivent être respectées tant par les citoyens que par les autorités publiques :

- Dans les zones plus exposées, toute sorte de construction est interdite.
- Dans les zones moins exposées, des Instructions particulières sont imposées (surélévation des immeubles, limitation des remblais...).

Le "P.P.R.I" a une triple vocation:

- a.* Interdire les implantations humaines et socio-économiques dans les zones les plus exposées au risque.
- b.* Garantir les capacités d'écoulement et d'expansion des ondes de crues pour atténuer l'amplitude des risques pour les zones sises en amont ainsi qu'en aval du bassin versant.
- c.* Assurer l'équilibre et le bon fonctionnement du milieu naturel (que se soit en amont ou en aval du bassin versant).

#### **I. DELIMITATION DES ZONES EXPOSEES AU RISQUE D'INONDATION**

L'estimation du débit de crue permet une connaissance de la capacité hydrologique du bassin versant d'une part, et d'une autre la capacité hydraulique du cours d'eau. Néanmoins, cette information demeure limitée et ponctuelle en terme de connaissance spatiale. Les ondes de crues peuvent submerger des aires importantes, s'étaler le long de plusieurs mètres et aboutissent à de sérieux dégâts. D'où vient la nécessité d'une représentation cartographique du niveau de risque.

Pour se faire, ils existent plusieurs démarches dont la démarche géomorphologique qui tient compte de la dynamique fluviale du cours d'eau et son rôle hydro morphologique. Habituellement, les zones à risque sont celles déterminées par le lit majeur du cours d'eau coïncidant avec la cote maximale des eaux.

Cependant, notre travail consiste à cartographier les zones inondables en milieu urbain étant la ville de Skikda : Espace quasi-totalement urbanisé et par conséquent, déformation de la morphologie naturelle du cours d'eau (oued Zeramna). Et c'est ce qui nous a emmené à suivre une autre démarche : Méthode hydraulique. Le principe de cette méthode est simple : tout débit de crue  $Q_{max}$  (volume rapporté au temps) est relatif à une hauteur H, et submerge une section mouillée S.

Cette tâche nécessite beaucoup de temps et d'efforts le cas échéant, c'est dans cet esprit que nous avons mis en œuvre le logiciel dit : *Canal – P* qui est basé sur la formule de *Manning – Chézy* où, à partir des valeurs du débit passant par le canal ( $m^3/s$ ), la pente topographique du site (%) et la largeur du canal (m), ce logiciel nous donne la surface théorique ( $m^2$ ), susceptible d'être submergée de part et d'autre du cours d'eau et correspondante aux paramètres susnommés.

Et afin d'arriver à délimiter les zones exposées aux inondations selon des divers périodes de retour au niveau de la ville de Skikda, nous allons suivre la démarche suivante :

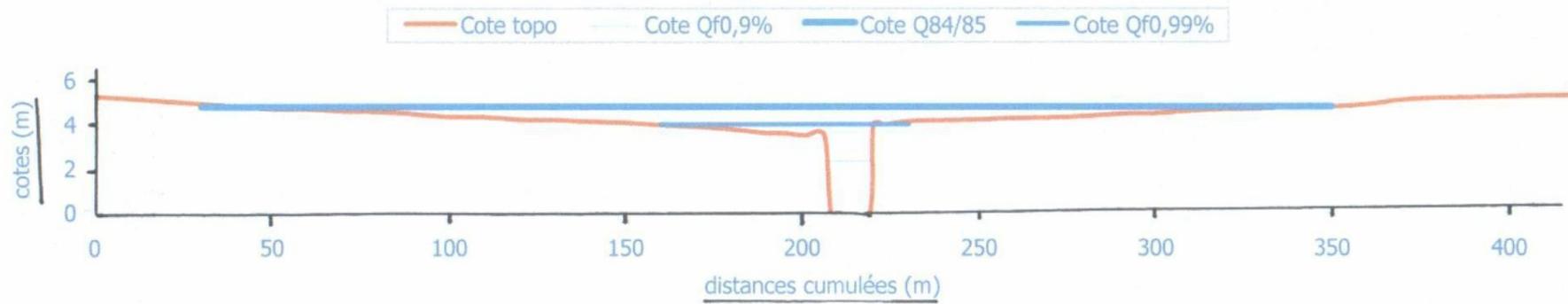
### **1. Réalisation** des levées topographiques des oueds :

- Zeramna au niveau des cités des frères Saker et 20 août 1955 (Fig 36).
- Saf-Saf avant (Fig 37) et après sa confluence avec l'oued Zeramna (Fig 38), et mesures de leurs dimensions en ces sites.

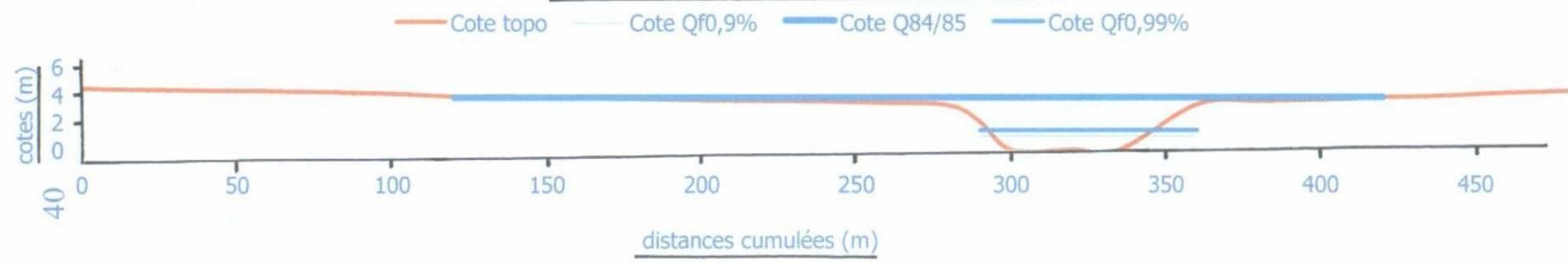
Les sites choisis doivent satisfaire l'homogénéité de pente topographique et l'uniformité des types des obstacles sur quelques centaines de mètres. Afin de pouvoir extrapoler les résultats de calcul sur plusieurs mètres.

**2. Exploitation** de l'information historique étant la crue exceptionnelle de décembre 1984, par détermination de la cote d'eau maximale et la surface réellement inondée lors de cette crue, pour avoir les surfaces réelles d'inondations correspondantes aux débits fréquents selon la relation :

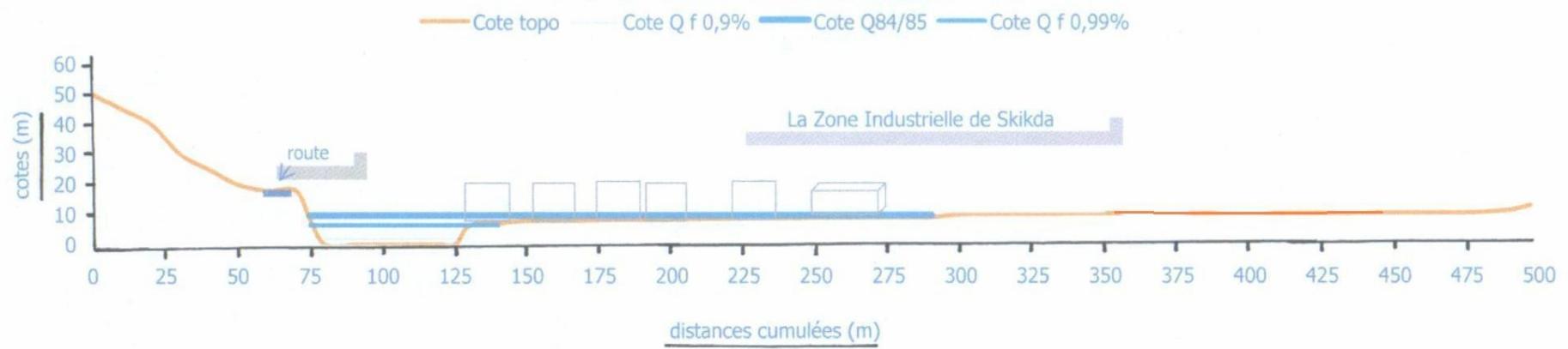
L'oued Zeramna à la cité des Frères Saker : Profil en travers



l'oued Saf-Saf avant la confluence : Profil en travers



l'oued Saf-Saf après la confluence : Profil en travers



$S_{\text{réelle}} (\text{m}^2) = S_{\text{théorique}} * C$  ; Où :

C : facteur de correction représentant le rapport : surface inondée réelle (crue de décembre 84) par la surface d'inondation théorique (crue de décembre 84), calculée par le logiciel).

**3. Calcul** des surfaces d'inondations correspondantes aux débits fréquentiels représentant les zones exposées au risque d'inondation.

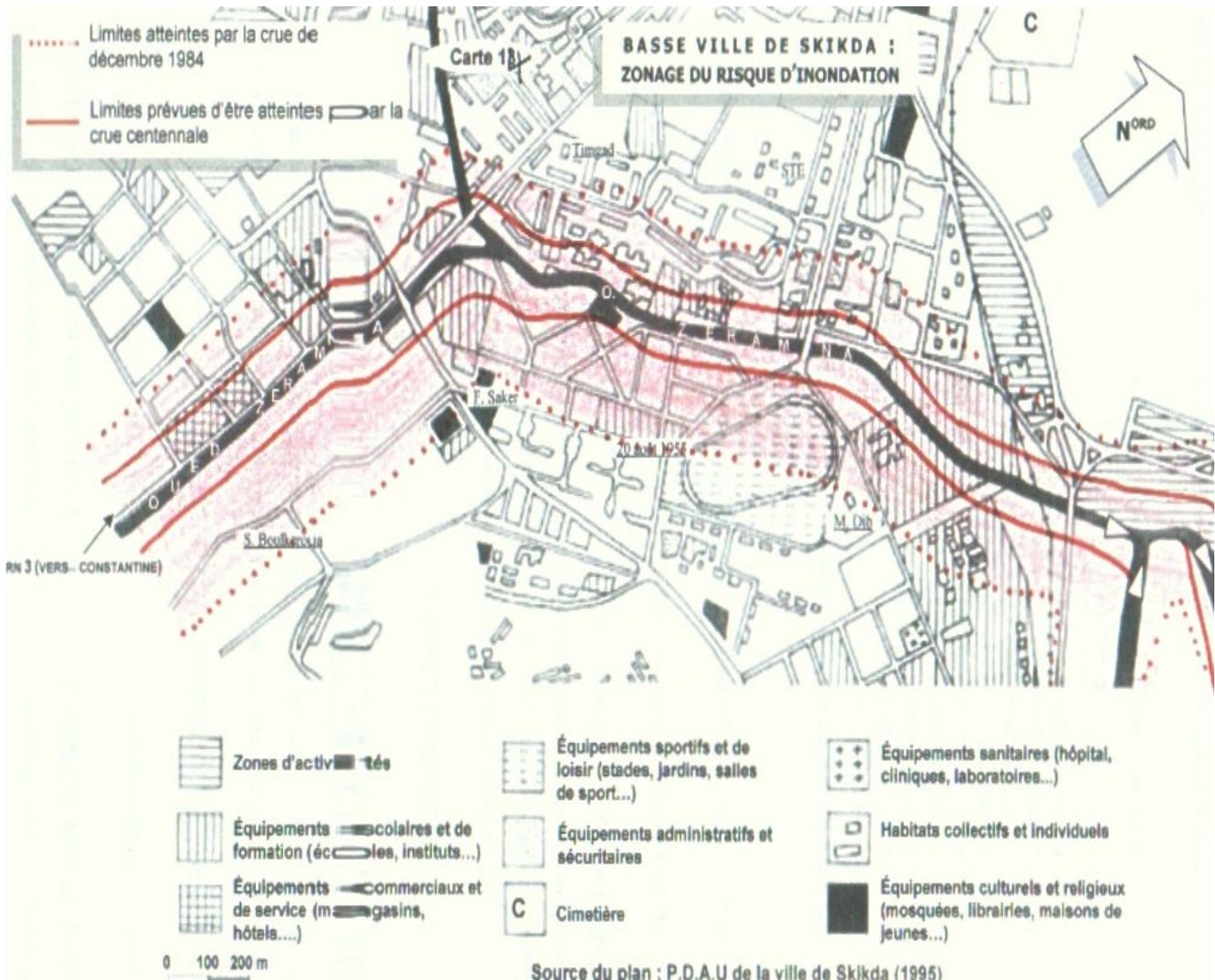
Les calculs ainsi effectués sont résumés dans le tableau n° 34.

Site de levée topographique	Crue de décembre 84		Coefficient de correction C	Crue décennale		Crue centennale	
	S réelle (m <sup>2</sup> )	S théorique (m <sup>2</sup> )		S théorique (m <sup>2</sup> )	S réelle (m <sup>2</sup> )	S théorique (m <sup>2</sup> )	S réelle (m <sup>2</sup> )
	[1]	[2]		[3] = [1] / [2]	[4]	[5] = [3] * [4]	[6]
L'oued Zeramna à la cite des frères Saker [L = 11 m ; P = 2,5 %] [Q <sub>84/85</sub> ; Q <sub>f0.9</sub> ; Q <sub>f0.99</sub> = 740 ; 121 ; 277 m <sup>3</sup> /s]	182	205	0.89	24	21	65	58
L'oued Saf-Saf avant la confluence [L = 35 m ; P = 2,5 %] [Q <sub>84/85</sub> ; Q <sub>f0.9</sub> ; Q <sub>f0.99</sub> = 3584 ; 605 ; 1147 m <sup>3</sup> /s]	324	273	1.2	73	88	117	141
L'oued Saf-Saf après la confluence (zone industrielle) [L = 45 m ; P = 2 %] [Q <sub>84/85</sub> ; Q <sub>f0.9</sub> ; Q <sub>f0.99</sub> = 8450 ; 726 ; 1425 m <sup>3</sup> /s]	500	460	1.09	85	93	298	325

Tableau 34, ville de Skikda : Estimation des surfaces inondables propices aux différentes périodes de retour

**4. En connaissant** le rapport : débit de pointe – surface inondée – cote d’eau maximale, on peut facilement connaître l’amplitude du prolongement horizontal des ondes de crues, en suite délimiter les zones inondables relatives aux diverses récurrences.

La carte n° 14 différencie deux zones exposées au risque d’inondation :



**A) ZONE TRES EXPOSEE AU RISQUE :**

Cette zone englobe les aires vulnérables aux inondations de récurrence centennale. Elle coïncide avec la bande déterminée par environs 60 mètres – en moyenne – de part et d’autre des oueds Saf-Saf et Zeramna.

**B) ZONE EXPOSEE AU RISQUE :**

L’aire de cette zone est délimité en mettant en œuvre l’information historique : Les limites atteintes par la crue de décembre 1984 - qui nous a servi comme moyen de

délimitation des zones inondables récurrentielles -, enclavent de larges champs qui peuvent atteindre des limites de plus de 150 m.

## II. DETERMINATION DES ENJEUX

Par conséquent, la cartographie ainsi effectuée a spécifié des bandes englobant les enjeux suivants :

### A) Enjeux humains (Cités exposées au risque d'inondation) :

- Cité Merdj Ed Dib.
- Cité 20 août 1955.
- Cité Salah Boulkeroua.
- Cité des frères Saker.
- Cité Aissa Boulkerma au sud (sur la route menant à la commune d'El Hadaik).
- Cité El Adjour (dans sa partie sud est).
- Cité des oliviers (dans sa partie sud).
- Cité des allées du 20 août 1955 (dans sa partie sud).

### B) Enjeux socio – économiques (Equipements) :

Les équipements exposés aux inondations ont été classés selon les ZHUN où ils sont situés :

*Tableau 35, ville de Skikda : Les équipements exposés aux risque d'inondation.*

ZHUN	Établissements Educatifs	Établissements Sanitaires	Établissements administratifs	Habitats	Autres
<i>Zeramna</i>	Six (6) écoles	École de formation paramédicale	Annexe communale	Habitats collectifs et individuels	Station de services NAFTAL
	Deux (2) lycées	Centre sanitaire	Commissariat de police		Super marché
	Institut de formation des enseignants				Jardin public
					Complexe sportif
					Mosquée
<i>Salah BOULKEROUA</i>	Un (1) école				Mosquée
<i>El Adjour</i>	Cinq (5) écoles	Clinique multiservices	Commissariat de police		Mosquée
	Un (1) lycée				Usine de brique
<i>Parties sud Des cités Des oliviers</i>		Administrations		Habitats collectifs	

<i>Et allées Du 20 Août 1955</i>					
--	--	--	--	--	--

### **C) Routes et infrastructures exposées au risque d'inondation :**

- Quatre (04) ponts pour piétons.
- La route nationale n° 3 liant Skikda et Constantine et autres voies communales.
- Voie ferrée (Extrême Est de la ville).
- La partie Est de la zone industrielle (Rive droite de oued Saf-Saf).

## **III. PROJET D'AMENAGEMENT (MESURES DE REDUCTION DES DOMMAGES) :**

### **A) AU NIVEAU DES ESPACES URBAINS**

Parfois, les interventions de l'homme peuvent aggraver les dommages causés par une inondation. Cependant, l'aménagement des cours d'eau a tendance à rendre la rivière uniforme : tracé rectiligne, profil large et peu profond...

Pour lutter contre les préjudices causés par les inondations, des opérations sont proposées pour faciliter l'évacuation des eaux, elles visent à :

#### 1. Limiter les submersions par :

##### **a) L'entretien des cours d'eau**

Les atteintes causées par les inondations confirment l'intérêt d'un entretien régulier, où les embâcles (Photo 4) risquent de se former en cas de crue au niveau des ouvrages de franchissement (telles les ponts), aggravant l'inondation des terres riveraines et détériorant les ouvrages (pont, voies ferrées...).

L'entretien des cours d'eau englobe l'enlèvement de la végétation présente dans le lit mineur et surtout l'enlèvement des embâcles.



Photo 4, le jet des remblais dans les cours d'eau aboutit à des inondations liées aux embâcles (oued Zeramna prêt de la zone industrielle – août 2005)

### **b) Construction des digues**

Les digues sont des talus construits afin de protéger les basses terres contre la submersion. Elles empêchent seulement les eaux de crue de pénétrer dans les régions basses. Le degré de protection offert par une digue dépend de sa hauteur et de son type de construction. La fiabilité d'une digue repose sur son inspection et son entretien continus.



Photo 5, Digue dans le parc Brewer d'Ottawa Ontario (Canada).

**a)** Au niveau de la ville de Skikda, et pour limiter les effets du débordement de oued Zeramna, nous recommandons la construction de digues de part et d'autre tout au long de ce cours d'eau. Cela empêchera l'inondation des cités : 20 août, Salah Boulkeroua, frères Saker, Timgad et la cité STE (Fig 39).

**b)** Au niveau de la zone industrielle, l'édification d'une digue sur la rive droite de oued Saf-Saf, va assurer le drainage des eaux des crues sans qu'il y ait submersion – notamment l'unité du Gaz Naturel Liquéfiée GNL – (Fig 40).

La construction d'une digue ne fait que hausser la cote d'inondation pour la même surface. Et la hauteur des digues est fonction des surfaces inondables (tableau 36).

*Tableau 36, détermination des hauteurs des digues de protection contre l'inondation*

		Surface inondée (m <sup>2</sup> )	Cote avant la construction de la digue (m)	Cote après la construction de la digue (m)	Hauteur de la digue (m)
Ville de Skikda (oued Zeramna)	Crue centennale	36	4	4,6	10 m
	Crue de déc 1984	74	4,8	9,5	
Zone industrielle (oued Saf-Saf)	Crue centennale	173	6,5	7,5	5,5
	Crue de déc 1984	650	9,7	14,7	

## 2. Limiter l'érosion

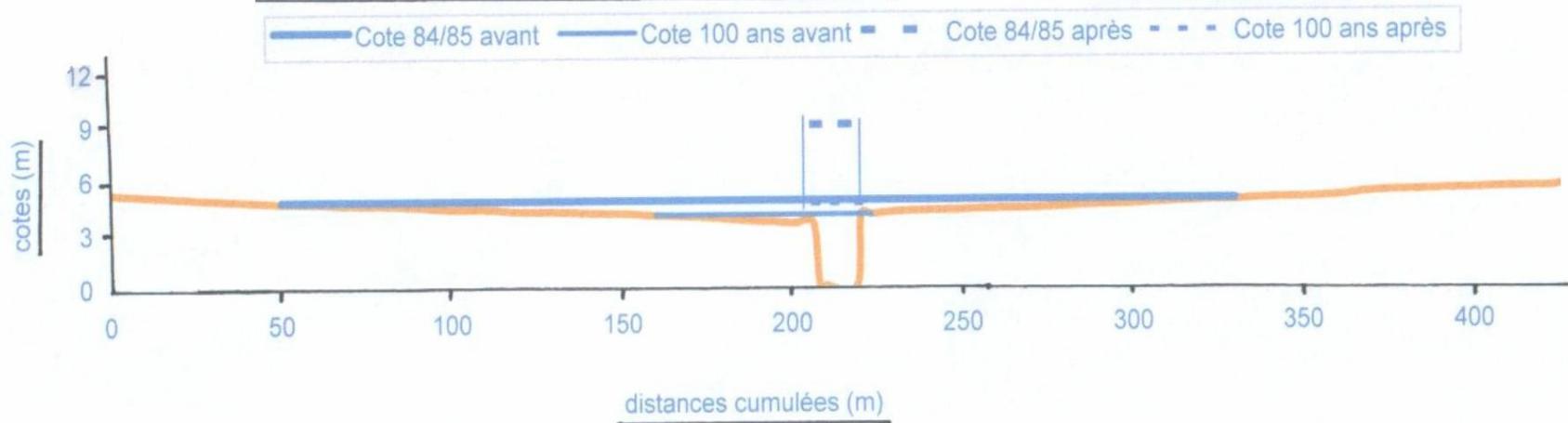
Limiter l'érosion permet d'éviter des modifications très importantes de la rivière après une crue et la création d'embâcles qui occasionnent de nombreux dégâts et favorisent l'apparition de "vagues". Plusieurs techniques sont utilisées :

**a) Les enrochements** : ils sont posés ou fixés le long des berges particulièrement soumises à l'érosion. Cette méthode est couramment utilisée dans les zones urbanisées et offre un bon niveau de protection

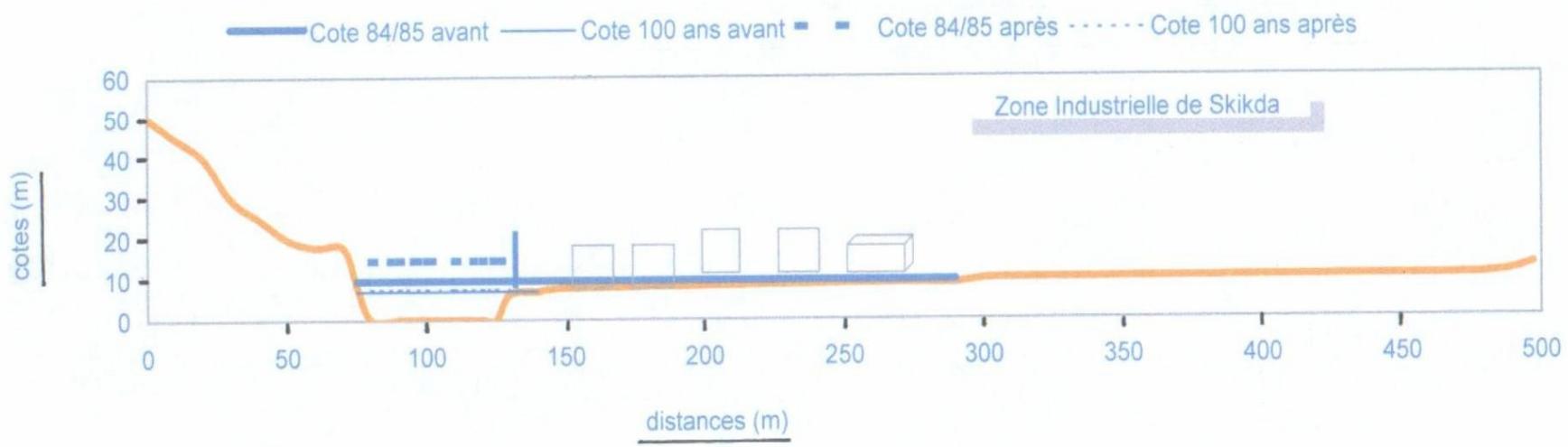


Photo 6, Enrochement à Thuir (la trencade - France).

Oued Zeramna à la cité des frères Saker : l'effet de la construction d'une digue sur les cotes des crues



Oued Saf-Saf à la Zone Industrielle : l'effet de la construction d'une digue sur les cotes des crues



**b) Les techniques végétales :** Il s'agit de planter de la végétation pour stabiliser les berges. En comparaison avec les techniques habituelles de l'ingénierie civile, on peut accorder aux techniques végétales un certain nombre d'avantages :

- Régulation du cycle hydrologique (favorisation de l'infiltration et écrêtement des pointes des crues).
- Excellente intégration paysagère des ouvrages de stabilisation dans le milieu.
- Absence de perturbation dans les échanges entre le lit mineur et la nappe phréatique, à plus grande échelle entre le cours d'eau et ses zones humides et milieux annexes.
- Participation à l'autoépuration du cours d'eau par absorption d'éléments nutritifs ou polluants et filtration d'apports sédimentaires. Ce filtre se réalise essentiellement par les essences herbacées et buissonnantes, qui par la densité de leurs tiges aériennes, piègent les particules en transport dans les eaux.
- Résistance souple opposée aux contraintes hydrauliques, permettant de mieux dissiper l'énergie.

#### **Espace et façon de plantation :**

Il est important de planter là où le cours d'eau est peu profond et où il n'y a pas beaucoup de végétation. Les cours d'eau peu profonds ont tendance à être réchauffés facilement par le soleil car ils ne sont pas creux. On peut planter une variété d'espèces d'arbres (tel le peuplier) ou d'arbustes, les distances recommandées entre chaque plante sont de 1m pour les arbustes et 4 à 5 m pour les arbres.

Les trous doivent être assez larges et profonds pour allouer suffisamment d'espace pour les racines, planter de façon verticale et enterrer les racines jusqu'au niveau du collet (où la transition se fait entre la racine et la tige), et une façon d'entretien : l'enlever les branches endommagées.

- b) **Les épis :** Un épi est un talus en enrochement de faible hauteur, enraciné à la berge et établi transversalement par rapport au cours d'eau. Il constitue un obstacle à l'écoulement de l'eau et provoque différents types de coursant.



Photo 7: exemple d'un épi.

En basses eaux, c'est-à-dire sans déversement par dessus l'épis, on observe un coursant tourbillonnaire à axe vertical, entre deux épis.

En hautes eaux, avec déversement, c'est un coursant à axe horizontal qui se crée: l'épi rehausse le niveau d'eau à son niveau donc induit une pente transversale et un coursant de la berge au centre du lit apparaît dans les eaux superficielles. Un coursant inverse dans les eaux de fond rééquilibre les débits. Ainsi on a deux coursants croisés qui créent le tourbillon. Dans cette zone perturbée en aval de la tête de l'épi, on observe un affouillement. Le coursant de fond allant du lit vers la berge, il déposera ses matériaux sur la face amont de l'épi.

**Implantation des épis :** L'espacement entre les épis dépend de la largeur de la rivière, de leur longueur et de leur nature. Théoriquement, pour qu'un système d'épis soit efficace, il faut que l'écart entre deux épis successifs soit de l'ordre d'une fois et demi (1,5) leur longueur.

### 3. Protection des édifices contre les crues

Pour protéger les structures riveraines contre les inondations, il faut recourir à quelques techniques de base :

- Rehausser les fondations au-dessus du niveau de crue, en utilisant un remblai ou des pieux.
- Enduire le pourtour de la structure de murs étanches en béton, ou l'entourer d'un talus.
- Placer les transformateurs électriques et téléphoniques ainsi que les systèmes mécaniques au-dessus du niveau de crue.

- Pour les nouvelles constructions, il faut surélever le bâtiment au-dessus du niveau de la crue centennale en rehaussant les terrains autour.



Photo 8, Bâtiment protégé contre les crues sur le Richelieu (Canada).

#### 4. Mesures de protection d'urgence

Les mesures de protection d'urgence sont mises en place à court préavis. Les techniques communément employées comprennent la construction de digues ou de barrages à l'aide de matériaux naturels ou entreposés sur place.

Ces mesures ne devraient jamais remplacer la mise en place de mesures de protection permanentes.

##### *Exemple : Digues de sacs de sable*

Afin de faire face à submersion des cours d'eau, les sacs de sable empilés de sorte à former un barrage représentent le moyen le plus employé en cas d'urgence. Les sacs doivent être résistants pour ne pas se déchirer (sacs de jute) et bien empilés pour empêcher les infiltrations d'eau au travers de la digue.

Puisque l'eau exerce une pression sur la digue de sacs de sable, il est recommandé de creuser un canal qui aidera à maintenir la digue en place.

Il est préféré que les sacs soient à moitié pleins. Ainsi, ils s'adoptent la forme et tiennent mieux en place. De plus, chaque rangée doit être perpendiculaire à la rangée précédente et suivante, cela donnera plu de stabilité à l'ouvrage.

**B) AU NIVEAU DE L'ENSEMBLE DU BASSIN VERSANT " TRAITEMENT BIO -  
MECANIQUE DES VERSANTS "**

**B.1. Travaux de D.R.S :**

En tout, les travaux de défense et de restauration des sols visent à stabiliser les versants à travers l'amointrissement du ruissellement en améliorant les capacités d'infiltration des sols, de même limiter l'érosion hydrique.

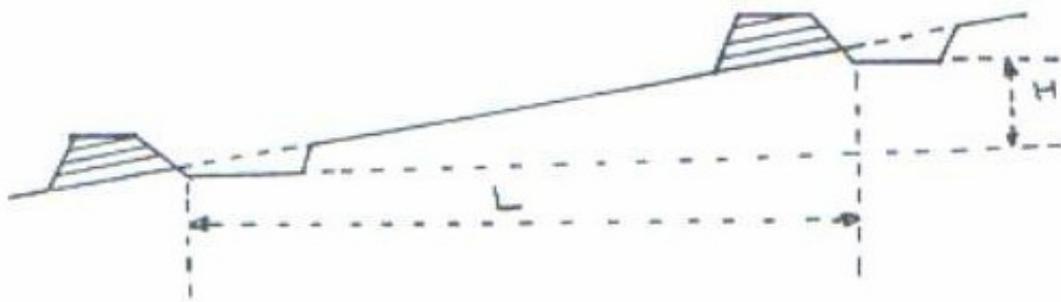
**a) Le réseau de banquettes :**

Une banquette est à la fois une petite terrasse et un fossé. Elle comprend un talus de déblais, un fond d'infiltration et de canalisation des eaux, et un talus de remblais (bourrelet) à l'aval (Fig 41).

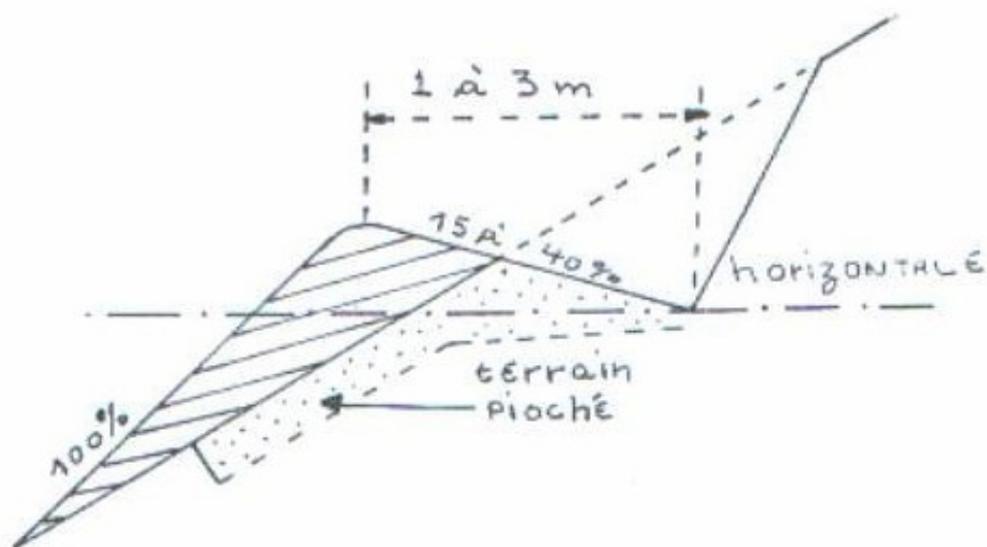
L'installation d'un réseau de banquette est soumise à des calculs qui déterminent ses différentes dimensions. À cet effet, nous allons nous limiter à la mise au point des types de banquette à réaliser (Figs de 42 à 47), en fonction de la pente des terrains à traités et les spéculations agricoles qui leur sont adoptées.

*Tableau 37, types de banquettes à réaliser en fonction de la pente et de spéculation agricole.*

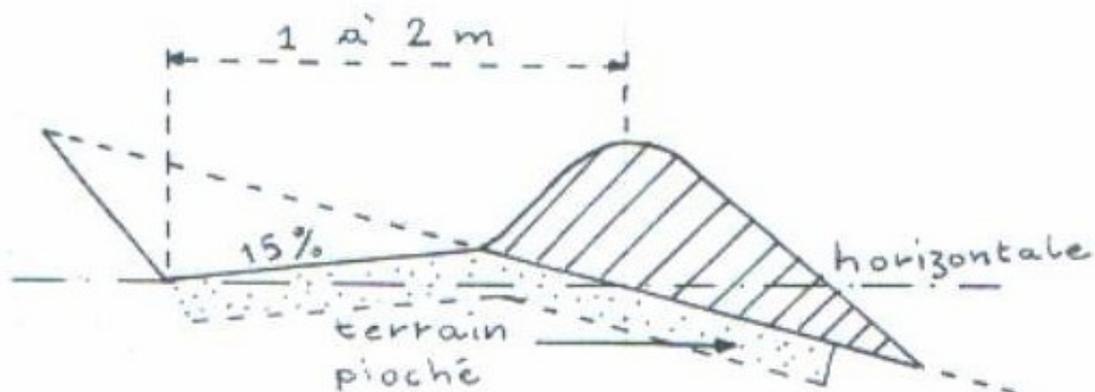
CULTURE	PENTE DU TERRAIN	TYPE DE BANQUETTE A ADOPTER
Céréales	2 à 3 %	Labours horizontaux
	3 à 6 %	Cultures en bandes
	3 à 5 %	Banquettes à triple courbure
	5 à 12 %	Banquettes à double courbure
	12 à 18 %	Banquettes à simple courbure
	18 à 30 %	Banquettes à talus coupé en V
	30 à 50 %	Banquettes à profil en V
Céréales et arbres fruitiers, sur bourrelet	inf à 18 %	Banquettes à simple courbure
	Inf à 30 %	Banquettes à talus coupé
	Inf à 50 %	Banquettes à profil normal
Arbres fruitiers vigne	Inf à 30 %	Banquettes à talus coupé
	Inf à 50 %	Banquettes à profil normal
	Inf à 30 %	Banquettes à talus coupé
Pâturage et reboisement	Inf à 80 %	Banquettes à profil en V



**Fig. 41** Éléments caractéristiques d'un réseau de banquettes  
 H : dénivellée entre deux banquettes.  
 L : largeur du champ.



**Fig. 42** Banquette à profil déversé (profil en V)



**Fig. 43** Banquette à profil normal

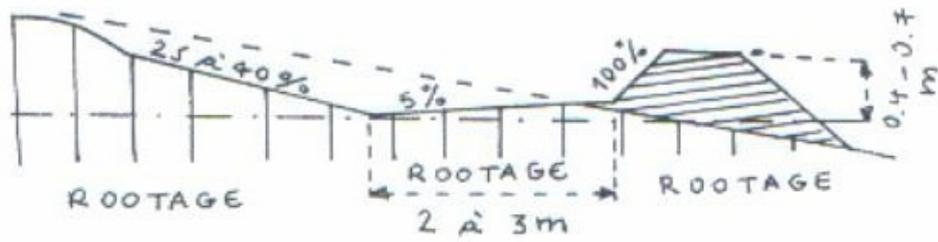


Fig. 44 Banquette à talus coupé

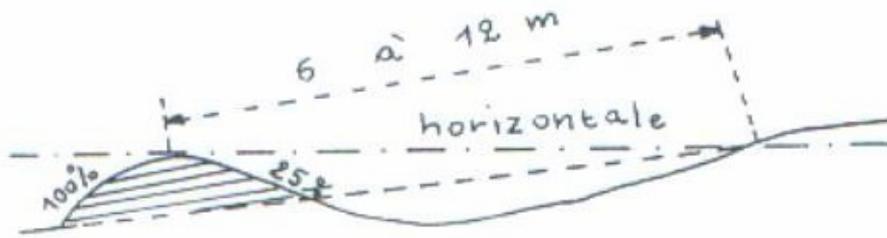


Fig. 45 Banquette à simple courbure

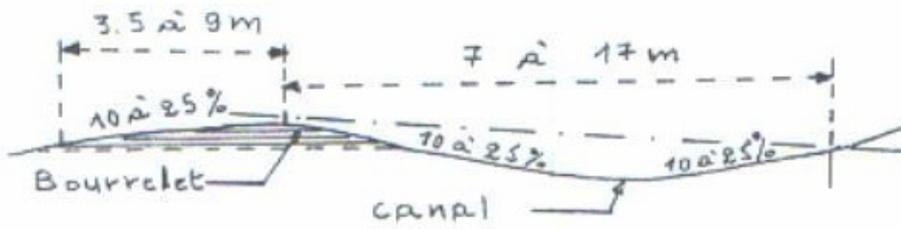


Fig. 46 Banquette à double courbure

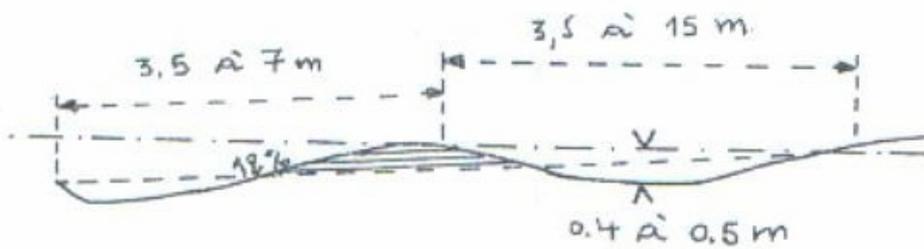


Fig. 47 Banquette à triple courbure

## **b) Banquettes pour épandage des crues :**

Ce type de travaux aura le but de limiter l'intensité du ruissellement et par conséquent de l'érosion. Il se réalise en inversant la pente de certaines banquettes à partir du cours d'eau, sur lequel un petit barrage de dérivation (seuil en gabion) est construit.

Ce barrage – sorte de barrage de rétention – alimente les banquettes au moyen de canal calibré ou buse. Et de là, il régularise l'écoulement du cours d'eau, et rend les crues plus étendues dans le temps (Fig 48).

## **c) Travaux de correction torrentielle sur les lits des Oueds :**

Le réseau de banquette ne fait que favoriser l'infiltration des eaux pluviales, donc mieux drainer la surabondance hydrologique, et étendre les crues.

Cependant, en cas d'orages violents, les cours d'eau débitent une quantité d'eau supérieure à celle qui s'infiltré. Pour cela, les travaux de la correction des cours d'eau s'avèrent complémentaires. Ils aboutissent à graduellement freiner l'écoulement en construisant une série de digues successives au long du cours d'eau (Fig 49).

Le nombre des digues à construire est donné selon la formule :

$$N = L \frac{P - I}{H}$$

• L : longueur du ravin.

• P : pente moyenne du lit.

• H : hauteur moyenne des digues (1 à 4 mètres).

• I : pente de compensation (pente inter – digue, elle est inférieure à la pente initiale du lit de ravin).

$$I = \frac{f \cdot b (d - p)}{0,076 \cdot 0,0625^2 \cdot K^2 \cdot C^2 \cdot R^2}$$

○ f : Coefficient de frottement des matériaux.

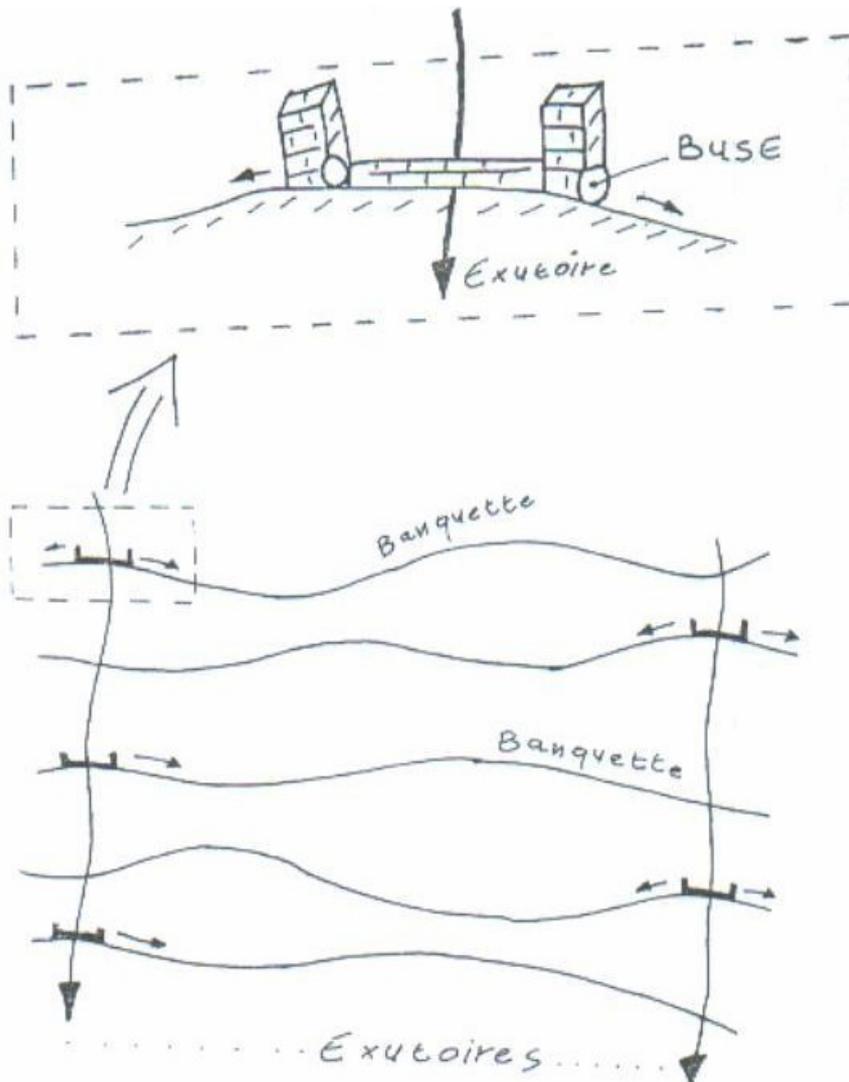


Fig. 48 Réseau de banquettes pour l'épandage des crues

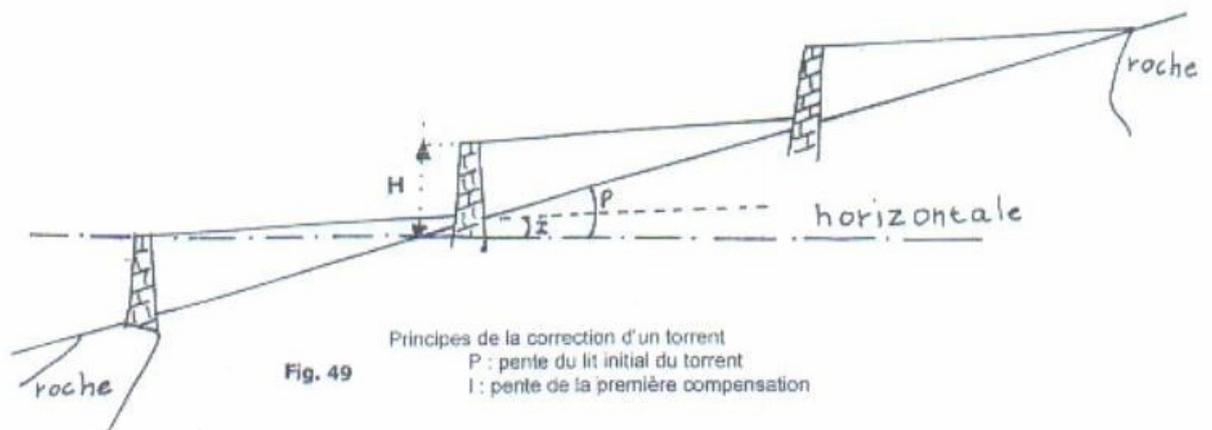


Fig. 49 Principes de la correction d'un torrent  
 P : pente du lit initial du torrent  
 I : pente de la première compensation

- b : Longueur du caillou.
- d : Densité du caillou.
- p : Densité de l'eau boueuse (varie de 1 à 1,8).
- K : Coefficient torrentiel.
- C : Coefficient dépendant des parois de la digue.
- R : Rayon hydraulique moyen du ravin.

## **B.2. Les barrages (retenues d'écèlement)**

Un barrage est un ouvrage de terre, de béton ou d'autre matériau visant à retenir l'eau et créant un lac ou un réservoir.

Comme nous l'avons vu, le débordement de oued Zeramna est la cause principale d'inondation dans la basse ville de skikda. De ce fait, la construction d'un barrage en amont du sous-bassin va mettre fin aux fréquents débordements de ce cours d'eau.

Le sous-bassin de oued Zeramna (114 km<sup>2</sup>) présente de bonnes conditions pour la faisabilité d'un barrage écrêteur :

- ✓ Conditions topographiques : présence des sites potentiels (encaissements).
- ✓ Conditions géologiques : la lithologie dur et imperméable du bassin (Gneiss) va assurer la stabilité de la digue et l'étanchéité de la cuvette.
- ✓ Conditions hydrologiques : ayant recours aux débits de crue précédemment calculés ( $Q_{f 0,99} = 277,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ), la capacité de ce barrage sera de l'ordre de 5 hm<sup>3</sup>.
- ✓ Conditions biogéographiques : le taux de couverture végétale pérenne est de l'ordre de 52 %. Cela limitera l'érosion et par conséquent, empêchera un rapide envasement de l'ouvrage.

En période de fort débit, le surplus d'eau est stocké jusqu'à ce que le niveau d'eau en aval ait suffisamment baissé pour que le trop-plein soit libéré.

## **B.3. Le reboisement :**

Il est évident que la végétation joue un rôle primordial dans la préservation du milieu naturel :

- ✓ En diminuant la force vive des eaux pluviales, on maintient la structure des sols et la stabilité des versants.

- ✓ De même, la favorisation de l'infiltration atténue le ruissellement et régularise l'écoulement. Par conséquent, on aura des crues moins intenses et plus étalées dans le temps.

Il est conseillé que le reboisement – notamment sur des terrains traités en banquettes – soit en parallèle avec les travaux de D.R.S, en vue d'assurer l'équilibre des versants.

Concernant le bassin du Saf-Saf, le choix des essences de reboisement sera fonction des caractéristiques propres à chaque essence :

- 1) Exigences écologiques (pluies, altitude...).
- 2) Nature des sols (siliceuse, calcaire...).
- 3) La rentabilité économique (production fruitière, fourragère...).

Il est conseillé de réaliser ces interventions au niveau des terrains : nus ou cultivés en plantes annuelles ou en jachère car, c'est ce mode de culture – laissant le sol nu pendant plusieurs mois – qui favorise le ruissellement et de même l'érosion.

Ces terrains à aménager ont pu être classés selon des zones appartenant à de divers sous bassins où, la détermination de la nature d'intervention à pratiquer est fonction des caractéristiques géographiques de chaque zone (tableau 38).

*Tableau 38, bassin versant du Saf-Saf : propositions d'aménagement*

Zone	Sous bassin	Caractéristiques			Avant l'aménagement	Aménagements proposés
		Pente (%)	Pluie (mm)	Lithologie		
A	Oued Khemakhem	3 - 12,5	+ 640	Argile	Culture annuelle avec jachère	Reboisement (Chêne Zeen où Afares) + pâturage sur banquettes à profil en V
B	Oued Bou Adjeb	12,5 - 25	600 - 620	Grès, Marne	Culture annuelle avec jachère	Arbres fruitiers (pommier, olivier et amandier) sur banquettes à talus coupé
C	Oued Bou Adjeb	3 - 12,5	580 - 600	Flyschs	Culture annuelle avec jachère	Céréales sur banquettes à double courbure
D	Oued Nessa	3 - 12,5	540 - 560	Marne,	Culture annuelle	Céréales et

				Flyschs	avec jachère	fourrages sur banquettes à double courbure
E	Oued Maiguen	12,5 - 25	600 - 640	Flyschs, Marne	Culture annuelle avec jachère	Arbres fruitiers (pommier, olivier, abricotier) sur banquettes à talus coupé
F	Oued Aneur	3 - 12,5	540 - 640	Argile, Marne et Flyschs	Culture annuelle avec jachère	Céréales et arbres fruitiers sur banquettes à simple courbure
G	Oued Haddaratz	0 - 25	600	Grés, Calcaire	Culture annuelle avec jachère	Vigne sur banquette à talus coupé
H	Oued Goudi	+ 25	600	Schiste	Forêt de chêne liège	Renforcement du reboisement sur banquettes d'épandage des crues
I	Oued Zeramna	+ 25	+ 640	Gneiss	Forêt de chêne liège	- Renforcement du reboisement - retenue collinaire

La combinaison des techniques biologiques (reboisement) et mécaniques (travaux de D.R.S) pourra donner lieu à un aménagement intégré et efficace (carte 15).

### **C) GESTION DU RISQUE D'INONDATION**

#### **C.1. Gestion de la plaine d'inondation**

La gestion des plaines inondables est une méthode intégrée qui vise à éviter les dégâts liés aux inondations. Elle consiste à réglementer l'occupation des sols en zones inondables, en limitant l'utilisation des terrains en zones inondables.

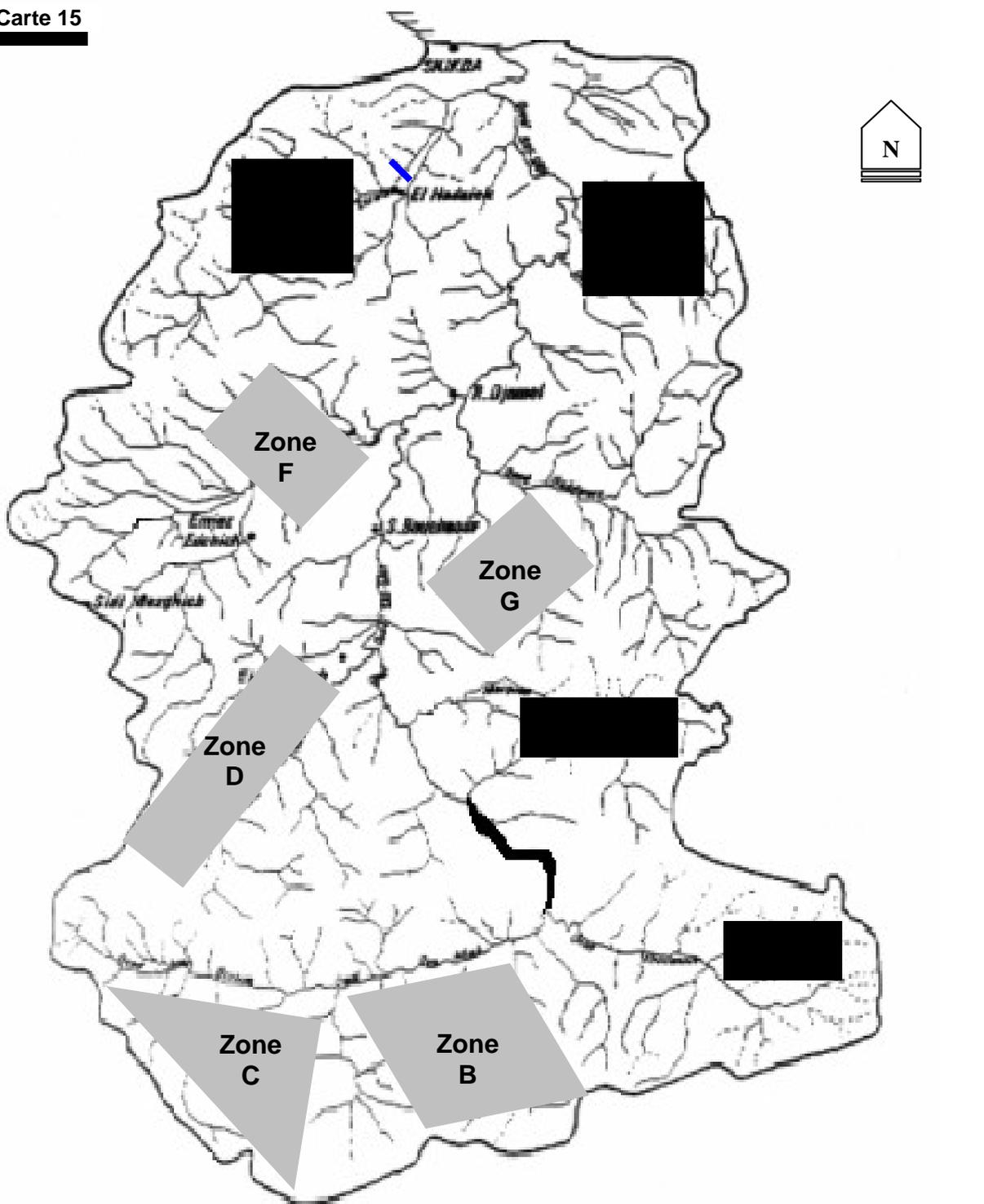
Cette méthode est moins coûteuse si elle est appliquée avant que le développement de la plaine inondable ne soit avancé. L'autre façon de gérer la plaine inondable consiste à acquérir les terrains inondables par les autorités locales.

#### **C.2. Annonce, prévision des crues et réseaux d'alerte**

La prévision des crues consiste à prévoir le débit, le moment et la durée d'une crue, spécialement du débit de pointe d'un cours d'eau, résultant de précipitations.

BASSIN VERSANT DU SAF-SAF : PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT

Carte 15



Zone d'aménagement intégré (voir tableau n° 38)



Retenue collinaire

0 5 10 km

L'annonce des crues vise à :

- Prévoir la gestion de la crise en définissant très tôt une cellule de crise avec ses acteurs et leurs rôles.
- Sensibiliser les citoyens aux risques auxquels ils sont soumis.
- Former des acteurs en gestion des crises.

## 1. Collecte et gestion des données

Pour prévoir le niveau de crue d'un cours d'eau, il faut avoir deux types de données primaires : hydrologiques et météorologiques (tableau 39)

*Tableau 39, données de prévision des crues.*

<b>données</b>	<b>observations</b>
<b>Précipitations</b>	Mesurées au moins chaque jour, elles indiquent la quantité brute d'eau tombée au sol contribuant aux crues.
<b>Données hydrométriques</b>	En surveillant les débits et niveaux d'eau en amont, les analystes peuvent estimer à l'avance le moment et l'ampleur du ruissellement. Ces données facilitent les prévisions pour les régions aval.
<b>Humidité du sol</b>	Elle indique la teneur des sols en humidité, et donc la quantité d'eau que les sols peuvent absorber. La quantité non absorbée coule sur le sol jusque dans les cours d'eau.
<b>Prévisions météo</b>	Permettent aux analystes de prévoir la quantité d'eau qui sera fournie au bassin versant dans les quelques jours à venir.

Les méthodes de collecte des données sont variées. La collecte sur le terrain se fait par des appareils, jaugeages sur place, liaisons téléphoniques et satellites entre les stations hydrométriques et les centres de prévision...

Au niveau du bassin du Saf-Saf, et vu la non disponibilité des données météorologiques et hygrométriques, nous allons nous satisfaire des données hydro – pluviométriques et tenter de chercher un rapport : pluie journalière (Zardézas) – écoulement journalier maximal (Khemakhem) pour la période 1974/75 – 1998/99 et pour le même jour, afin de prévoir ensuite le débit dépendant de la pluie qui le génère.

Afin de déterminer le seuil critique des deux éléments, on a réalisé une série de corrélations linéaires : pluie – débit, tout en affinant à chaque fois la relation par élimination, en vue d'obtenir des meilleurs corrélations.

Les résultats ainsi obtenus sont résumés dans le tableau n° 40.

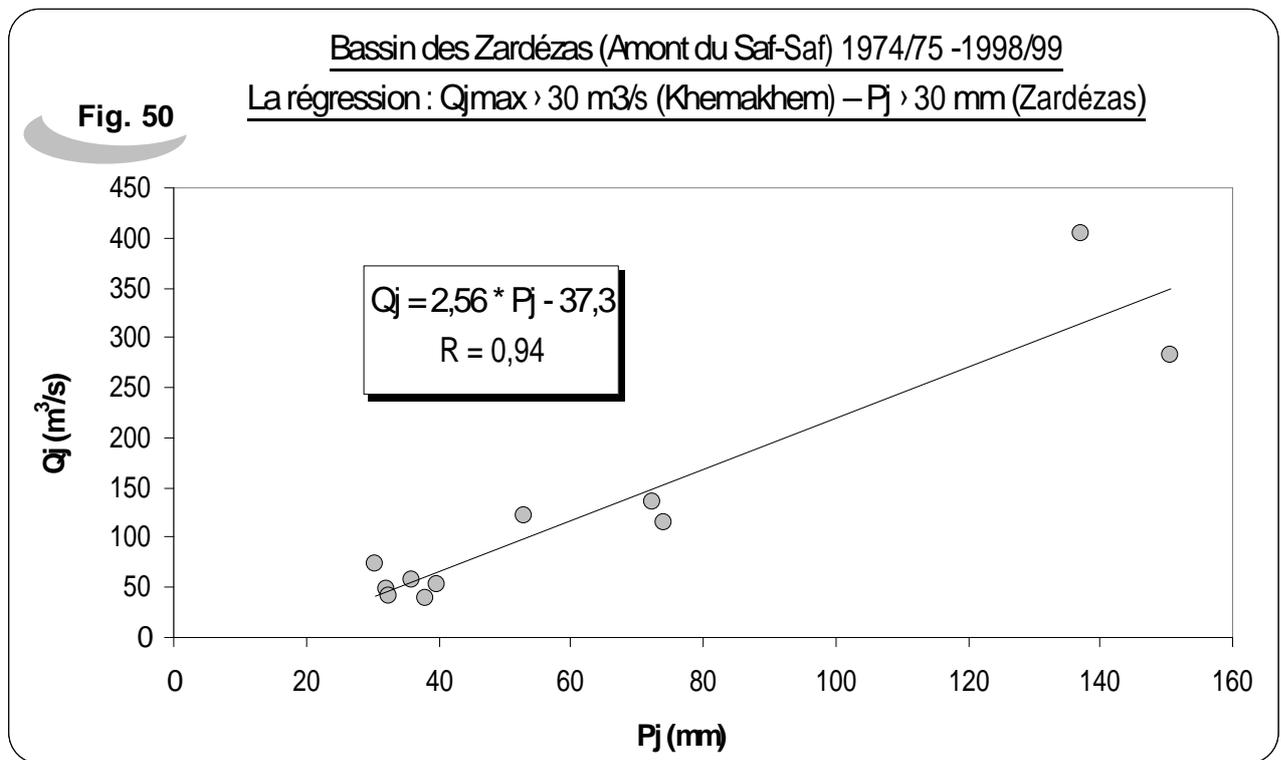
*Tableau 40, Bassin du Saf-Saf (1974/75 – 1998/99) : Le phénomène Pluie journalière – Débit journalier maximal et prévision des crues.*

	Débits de crues (m <sup>3</sup> /s)	Pluies concordantes (mm)	Nombre couples (N)	Coefficient corrélation (R)	Équation de corrélation
1	Qjmax	Pj	70	0,72	Qjmax = 1,66 * Pj - 12,1
2	Qjmax	Pj > 10	56	0,79	Qjmax = 1,96 * Pj - 30,3
3	Qjmax	Pj > 20	39	0,82	Qjmax = 2,34 * Pj - 56,4
4	Qjmax	Pj > 30	28	0,85	Qjmax = 2,55 * Pj - 74
6	Qjmax > 10	Pj	47	0,73	Qjmax = 1,7 * Pj - 6,5
7	Qjmax > 20	Pj	34	0,75	Qjmax = 1,8 * Pj - 2,2
8	Qjmax > 30	Pj	17	0,86	Qjmax = 1,99 * Pj + 16,9
9	Qjmax > 30	Pj > 30	11	0,94	Qjmax = 2,56 * Pj - 37,3

Apparemment, le rapport Qjmax – Pj est d'autant plus significatif en éloignant les valeurs faibles des pluies et débits de pointe.

La meilleure corrélation des débits de pointes avec les pluies est obtenue pour les valeurs supérieures à 30 mm et 30 m<sup>3</sup>/s (R = 0,85 – 0,86). De là, le nombre 30 est considéré comme seuil et en effet, la corrélation : **Qjmax (> 30) – Pj (> 30)** a montré la nette liaison des débits dépassant 30 m<sup>3</sup>/s aux pluies journalières qui elles aussi dépassent 30 mm.

De ce fait, et à partir de l'équation de corrélation, on peut prévoir des débits de crues pour un jour quelconque selon la relation : **Qjmax = 2,56 \* Pj - 37,3** (Fig 50).



À titre démonstratif, une pluie de 45 mm peut donner lieu à un débit de l'ordre de 77,9 m<sup>3</sup>/s. En connaissant la cote propice à cette valeur, on peut aisément déterminer les aires vulnérables à l'inondation et mieux organiser les actions d'intervention.

## 2. Alerte et sensibilisation des citoyens

Le premier but d'un groupe de prévision des crues est d'avertir la population en cas de crues. Dans un premier temps, cela se fait en alertant la protection civile, les responsables publics et les autorités locales.

Le centre de prévision doit annoncer aux citoyens et organismes de protection civile l'alerte de crue en début de saison (pour notre cas, la saison des crues est l'hiver et le printemps, surtout les mois de décembre et mars) à travers les medias. Donc il est temps de se préparer.

## 3. Réglementation juridique et assurance

Toute construction dans les zones inondables doit être interdite (lois, décrets...).

Outre, l'assurance des édifices et biens contre ce risque doit être obligatoire, où les coûts d'assurance et d'indemnisation dépendent du niveau d'exposition aux inondations.

## CONCLUSION DE LA QUATRIEME PARTIE

Après avoir adopté plusieurs politiques d'urbanisme, la ville de Skikda s'est développée sur des terrains de grande inondabilité pendant plusieurs années. En addition, les interventions aléatoires de l'homme sur les espaces urbains ont beaucoup limité ses capacités d'infiltration et d'évacuations des eaux, raison davantage pour aggraver la situation de la partie basse de la ville de Skikda vis-à-vis les inondations.

Cela fait que les débits fréquentiels de pointe (centennales en particulier) que fournissent les bassins du Saf-Saf et de Zeramna ( $1425 - 277,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) peuvent respectivement inonder de larges terrains à travers la ville de Skikda et sa zone industrielle. Le plan d'exposition au risque d'inondation (*P.E.R.I*) illustre que ces zones inondables s'étendent sur de larges sections urbaines, et comportent plusieurs enjeux humains et socio-économiques.

Afin de faire face à cette situation, on a proposé un plan global d'aménagement intégré (**Plan de Prévention du Risque d'Inondation**) visant à la réduction des dommages liés aux inondations dans ville de Skikda. Ce plan d'aménagement est de triple vocation et échelle d'intervention :

1) *Au niveau de l'ensemble du bassin versant (zone d'alimentation en écoulement):*

La réalisation des travaux de D.R.S : réseau de banquettes, correction torrentielle et reboisement auront l'objectif de stabilisation des versants, et surtout la régularisation de l'écoulement de pointe pour atténuer l'intensité des crues.

La réalisation d'une retenue d'écrêtement sur oued Zeramna vise à protéger tous ses champs bordiers, en limitant son fréquent débordement.

2) *Au niveau de la plaine inondable de Skikda " basse ville de Skikda et sa zone industrielle " (zone de réception de l'écoulement):*

Les travaux d'entretien et correction des cours d'eau d'un coté, et la construction des digues d'un autre, auront l'intérêt de faciliter l'écoulement et limiter la submersion.

### 3) Adoption des systèmes de prévision des crues :

La survenance des crues est fonction de données météorologiques aisément disponibles, et en comprenant le mécanisme de genèse et d'évolution des crues, on peut largement limiter ses atteintes.

À cet égard, l'institution d'un système de prévision, de gestion et d'alerte des crues paraît extrêmement efficace.



## CONCLUSION GENERALE

La monographie physico-géographique du bassin versant du Saf-Saf a différencié deux zones de caractères contrastés :

- ✓ L'amont (Zone d'alimentation hydrologique – Crue) : Présente de grandes aptitudes topographiques, lithologiques, biogéographiques et hydrographiques à l'écoulement de surface et notamment à la genèse des crues.
- ✓ L'aval (Zone de réception hydrologique – Inondation) : Coïncide avec la plaine inondable de Skikda présentant un environnement favorable à la survenance des inondations (lithologie imperméable et de très faibles pentes)

Le régime hydrologique moyen et maximal du bassin versant du Saf-Saf (par ses valeurs et irrégularité spatio-temporelle), a dévoilé une étroite liaison avec celui des pluies : provenant de l'amont, toutes les crues exceptionnelles (observées à Khemakhem 1974/75 – 1998/99) ont convenu des années pluviométriques pic de part : leurs hauteurs mensuelles maximales (assurant la saturation des sols), et surtout leurs séquences journalières maximales spatio-temporellement concentrées, entant que facteur générant et déclenchant des crues, ces dernières sont tantôt liées à la saturation (Crues de 30/12/1984 et 31/12/1992), tantôt à l'intensité (Crue du 18/5/1977). Mais tous montrent la bonne réponse hydrologique du bassin, en renvoyant ses caractères favorisant la genèse et l'évolution des crues.

L'année 1984/85 s'est émergée par des circonstances hydro-pluviométriques (annuelles – mensuelles – journalières) d'occurrences rares. Par conséquent, elle a été singularisée par la crue exceptionnelle du 30 décembre, qui s'est propagée sur des centaines de mètres carrés en provoquant de sérieux avaries au niveau de la plaine inondable de Skikda.

Malgré la fréquente survenance des crues ravageuses (1957 et 1984), le sort actuel d'occupation du sol à Skikda demeure un facteur aggravant des impacts relatifs aux inondations. Compte tenu de la défaillance quasi-totale des mesures de protection.

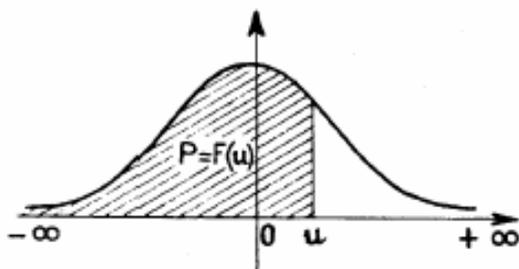
Le « P.E.R.I » de la ville de Skikda montre que plusieurs enjeux humains et socio-économiques sont chroniquement menacés.

Afin de faire face à cette situation critique, on a établi un plan de prévention du risque d'inondation « P.P.R.I », visant surtout à la réduction des dommages. Ce plan est essentiellement fondé sur la trilogie : Prévision – Prévention – Protection, et comporte des recommandations et propositions d'aménagement à appliquer au niveau de l'ensemble du bassin versant du Saf-Saf ainsi qu'au niveau de la ville de Skikda elle-même, et ayant les qualités de globalité, intégrité et complémentarité.

---

# Annexe 1

**Table de la loi Normale (ou loi de Gauss)**  
 Fonction de répartition de la loi Normale centrée réduite  
 (probabilité de trouver une valeur inférieure à  $u$ )



$u$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7290	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9779	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986

**Table pour les grandes valeurs de  $u$**

$u$	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,8	4,0	4,5
$F(u)$	0,99865	0,99904	0,99931	0,99952	0,99966	0,99976	0,999841	0,999928	0,999968	0,999997

## Annexe 2

### COURANT EN SURFACE LIBRE

$$\text{DEBIT : } \quad Q = X \cdot O \cdot VRI \quad (\text{CHEZY})$$

OU :  $O = \text{SUPERFICIE DE LA SECTION MOUILLEE}$

$O$

$$R = \text{RAYON HYDRAULIQUE} = \frac{\text{PERIMETRE MOUILLE}}{\text{PERIMETRE MOUILLE}}$$

$$X = \frac{87}{1 + y / \sqrt{R}} \quad (\text{BAZIN})$$

$$X = \frac{100}{1 + M / \sqrt{R}} \quad (\text{KUTTER})$$

$$X = C R^{1/6} \quad (\text{GAUCKLER - STRICKLER})$$

$$X = \frac{1}{N} R^{1/6} \quad (\text{MANNING})$$

### Coefficients de rugosité:

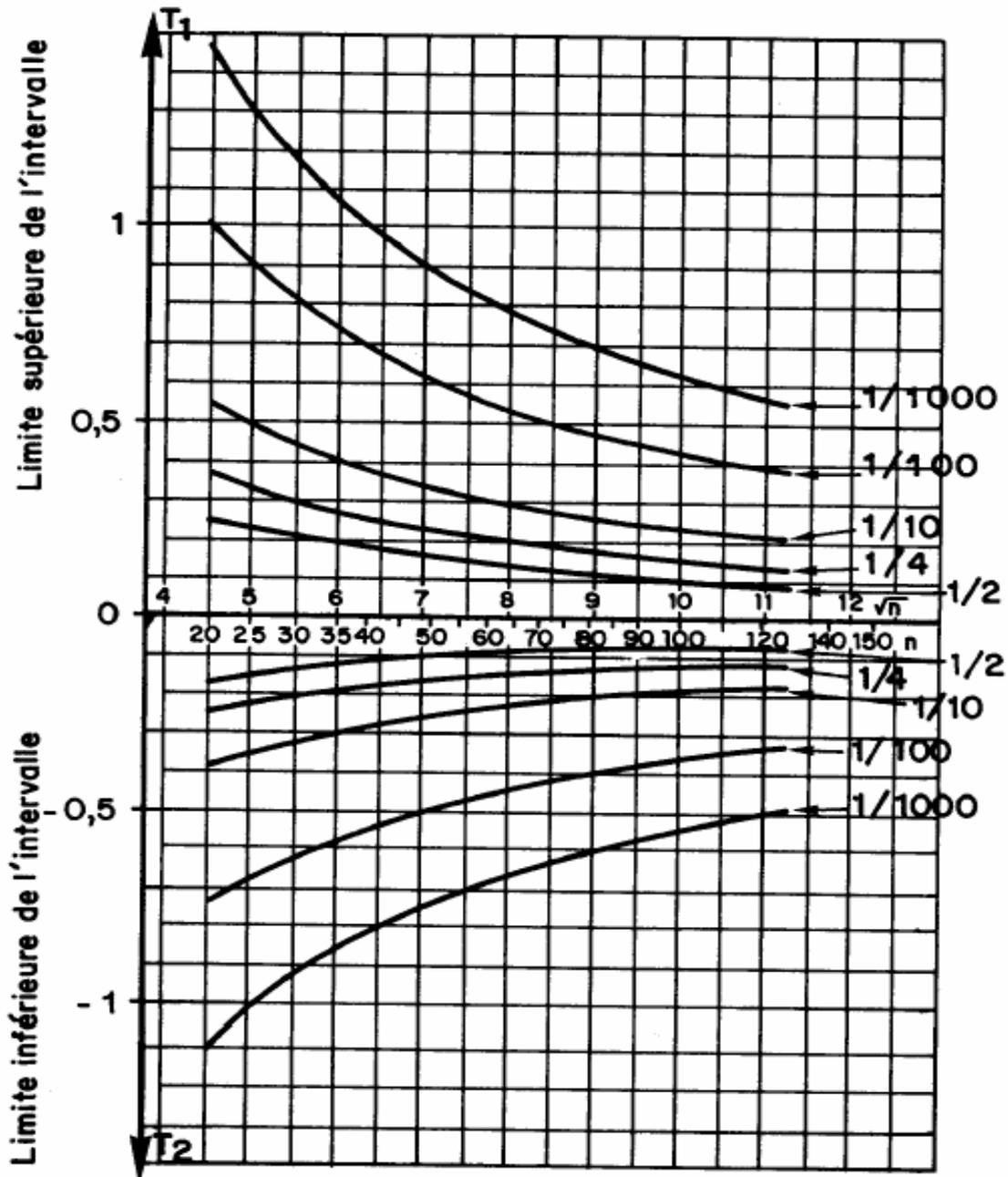
type de canal	Bazin $y (m^{1/2})$	Kutter $m(m^{1/2})$	Gaukler – Strickler $c(m^{1/3} s^{-1})$	Manning $n (m^{-1/3} s)$
1) - Parois en béton parfaitement fini et lissé. Parois en bois raboté. Parois en métal sans point saillant aux joints. - Idem avec courbes.	0,06 0,10	0,12 0,18	100 – 80 90 - 85	0,011 0,012
2) Parois en béton non parfaitement fini et lissé. Maçonnerie en briques très régulière. Parois en métal à rivetage courant	0,16	0,20 – 0,25	85 - 75	0,013
3) Parois en béton, en condition pas tout-à-fait parfaites. Maçonnerie ordinaire plus au moins soignée. Parois en bois brut, éventuellement gercé.	0,23 – 0,36	0,35 – 0,55	70 – 65	0,014 – 0,015
4) parois en béton enduites partiellement seulement ; quelques dépôts sur le fond. Maçonnerie irrégulière, dépouillée de toute végétation	0,46	0,55 – 0,75	60	0,018
5) terre assez régulière. Maçonnerie surannée, en conditions insatisfaisantes, dépôts de limon sur le fond.	0,60 – 0,85	0,75 – 1,25	50	0,020 – 0,022
6) terre avec herbes sur le fond. Cours d'eau naturels réguliers.	1,30	1,50	40	0,025
7) terre en conditions mauvaises. Cours d'eau naturels avec galets et gravier.	1,75	2,00	35	0,030
8) canaux en condition d'abandon, avec végétation très abandonnée. Cours d'eau à lit en gravier avec charriage de fond, ou creusés en roche, avec parties saillantes.	2,0 – 2,3	3,00	30	0,035

Intervalles de confiance pour la loi de Gumbel

Abaque de BERNIER

**LOI DE GUMBEL**

**INTERVALLE DE CONFIANCE A 70% DES CRUES ESTIMEES EN FONCTION DE LA TAILLE  $n$  DE L'ECHANTILLON**



## **BIBLIOGRAPHIE**

---

### **1) EN LANGUE FRANÇAISE :**

Annuaire pluviométrique de l'Algérie, 1974.

Direction des études du milieu et de la recherche hydraulique. Sous direction des ressources en eaux. Service hydrologie.

Barrages & réservoirs, 18<sup>ème</sup> congrès CIGB / ICOLD – n° 2 novembre 1994.

Les crues de projet des barrages : Méthode du Gradex. Bulletin du Comité Français des Grands Barrages – FRCOLD NEWS.

Bilan des inondations affectant la wilaya de Skikda du 28/12/84 au 10/01/85.

Rapport. Direction de la protection civile. Skikda.

BOUDY (P.)

Guide du forestier en Afrique du nord. La maison rustique, Paris.

BRUK (S.), 1986.

Méthodes de calcul de la sédimentation dans les lacs et les réservoirs (Contribution au programme hydrologique international PHI – II project. A.2.6.1 Panel). UNESCO, Paris.

CASTANY (G.), 1982.

Principes et méthodes de l'hydrogéologie. DUNOD.

DUBREUIL (P.), 1974.

Initiation à l'analyse hydrologique. (O.R.S.T.O.M), MASSON & C<sup>IE</sup>, EDITEURS.

GRECO (J.), 1966.

L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie.  
Publications du ministère de l'agriculture et de la réforme agraire. Alger.

Guide Maghrébin pour l'exécution des études et des travaux de retenues collinaires, 1987.

Ressources en eau dans les pays de l'Afrique du nord (projet RAB/80/011). Office des publications universitaires. Alger.

GUIGO (M.), 1979.

Hydrologie et érosion dans l'Apennin septentrional. Thèse de doctorat d'état.  
Université d'Aix Marseille II.

KHERFOUCHI (M.S.), 1984.

Le bassin du Saf-Saf (Algérie orientale) : Irrigation et aménagement des ressources en eau. Volume IV. Travaux du laboratoire de Géographie Physique. Université de Nancy II.

MEBARKI (A.), 1982.

Le bassin du Kébir - Rhumel (Algérie) : Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau. Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle. Université de Nancy II.

REMENIERAZ (G.), 1965.

Hydrologie de l'ingénieur. EYROLLES.

Revue géographique de l'Est. Tome XXXX 1-2 / 2000.

Revue géographique de l'Est.

Tome 15. n° 1-2. janvier 1975. Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).

SARI (A.), 2002.

Initiation à l'hydrologie de surface (Cours). HOUMA.

UNESCO / OMM, 1997.

Evaluation des ressources en eau. Manuel pour l'évaluation des capacités nationales.

UNESCO / OMM, GENEVE, 8 – 12 FEVRIER 1999.

Cinquième conférence internationale sur l'hydrologie. Rapport final.

## 2) EN LANGUE ARABE :

بوالغبرة (ن.)، 2003.

الصبيبات الفيضية: علاقتها بالتساقط و فيضان 85 / 84 في حوضي واد القنطرة (جيجل) و واد الصفصاف (سكيكدة). مذكرة مهندس دولة. معهد علوم الأرض. جامعة قسنطينة.

منصور (ع.) - وادي (س.)، 2000.

الفيضانات في حوض واد الصفصاف: أسباب و نتائج, حالة صالح بوالشعور - الحروش و مدينة سكيكدة. مذكرة مهندس دولة. معهد علوم الأرض. جامعة قسنطينة.

لعمارة (آ.) - غديد (و.)، 2003.

تقييم وضعية النقل و المرور بمدينة سكيكدة, واقع و آفاق. مذكرة مهندس دولة. معهد علوم الأرض. جامعة قسنطينة.

**LISTE DES TABLEAUX**

<b>TABLEAU n°</b>	<b>TITRE</b>	<b>PAGE</b>
<b>1</b>	Bassin versant du Saf-Saf : Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude	14
<b>2</b>	Bassin versant du Saf-Saf (1985 – 1994) : Bilan des incendies (en ha)	29
<b>3</b>	Tableau synthétique de la première partie	30
<b>4</b>	Bassin versant de O Saf-Saf, stations retenues dans l'étude	35
<b>5</b>	Les coefficients correctifs des doubles cumuls	39
<b>6</b>	Bassin du Saf-Saf (1970 – 2003) : Résultats d'homogénéisation des données pluviométriques	41
<b>7</b>	Khemakhem 1973 -1998 : Variations interannuelles des débits moyens et maximaux	44
<b>8</b>	Khemakhem, estimation des débits moyens annuels fréquentiels (à 95 % de chance)	48
<b>9</b>	Khemakhem, récurrence des débits moyens annuels record	48
<b>10</b>	Khemakhem 73 – 98, les débits mensuels interannuels : moyens et maximaux	50
<b>11</b>	Estimation de la lame d'eau précipitée moyenne annuelle	53
<b>12</b>	Écart à la moyenne des pluies annuelles (1970/71 – 2003/04)	57
<b>13</b>	Station des Zardézas, estimation des pluies annuelles fréquentielles (à 95 % de chance)	59
<b>14</b>	Station des Zardézas, récurrence des pluies annuelles record	60
<b>15</b>	Variations intermensuelles des pluies et écoulements mensuels interannuels, moyens et maximaux	63
<b>16</b>	Bassin du Saf-Saf (1973-1998): Répartition mensuelle des pluies maximales mensuelles et journaliers et de l'écoulement maximal journalier	73
<b>17</b>	Bassin du Saf-Saf (1973 – 1998) : Participation des pluies journaliers maximales (Zardézas) dans l'écoulement maximal journalier (Khemakhem) pour les plus grandes crues	75
<b>18</b>	Sous-bassin des Zardézas (1984/85) : les variations hydro-pluviométriques mensuelles	87
<b>19</b>	Estimation des débits de pointe de la crue de décembre 1984 au bassin versant du Saf-Saf (Méthode de Chézy)	93
<b>20</b>	Wilaya de Skikda (30 décembre 1984) : État des routes	95
<b>21</b>	Wilaya de Skikda (31 décembre 1984) : État des routes	99
<b>22</b>	Wilaya de Skikda (1 janvier 1985) : État des routes	100
<b>23</b>	wilaya de Skikda (3 janvier 1985) : État des routes	101
<b>24</b>	Coefficients de ruissellement de Turraza	108
<b>25</b>	Bassin versant du Saf-Saf : Les débits de pointes récurrentiels à la méthode rationnelle (station pluviométrique d'El Harrouch)	109
<b>26</b>	Sous bassin versant de Zeramna : Caractéristiques généraux	110
<b>27</b>	Sous bassin versant de Zeramna : Les débits de pointes récurrentiels à la méthode rationnelle (station pluviométrique d'El Harrouch)	110

<b>28</b>	Bassin du Saf-Saf : Débits de montée et de descente des crues : décennale et centennale	112
<b>29</b>	Sous bassin de Zeramna : Débits de montée et de descente des crues : décennale et centennale	114
<b>30</b>	Khemakhem 73 – 98, estimation des débits maximaux fréquents	115
<b>31</b>	Khemakhem 73 – 98, récurrence des débits maximaux instantanés et journaliers des plus grandes crues	117
<b>32</b>	Bassin du Saf-Saf, tableau comparatif des débits de pointe probables	118
<b>33</b>	Ville de Skikda : phases de l'évolution urbaine et démographique	120
<b>34</b>	Ville de Skikda : Estimation des surfaces inondables propices aux différentes périodes de retour	131
<b>35</b>	Ville de Skikda : Les équipements exposés au risque d'inondation	134
<b>36</b>	Détermination des hauteurs des digues de protection contre l'inondation	136
<b>37</b>	Types de banquettes à réaliser en fonction de la pente et de spéculation agricole	142
<b>38</b>	Bassin versant du Saf-Saf : propositions d'aménagement	147
<b>39</b>	Données de prévision des crues	150
<b>40</b>	Bassin du Saf-Saf (1974/75 – 1998/99) : Le phénomène Pluie journalière – Débit journalier maximal et prévision des crues	151

## LISTE DES ANNEXES

---

<b>Annexe n°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
1	Table de la loi normale (loi de Gauss)	
2	Courant en surface libre (coefficient de rugosité)	
3	Intervalles de confiance pour la loi de Gumbel (Abaque de BERNIER)	

## LISTE DES FIGURES

FIGURE n°	TITRE	PAGE
<b>1</b>	Bassin du Saf-Saf: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques	15
<b>2</b>	Bassin du Saf-Saf (1985-1994): Dégâts liés aux incendies	29
<b>3</b>	Critique des données pluviométriques par la méthode des doubles cumuls :	
	3-1 El Harrouch – Ramdane Djamel	38
	3-2 El Harrouch – Bouchetata	38
	3-3 El Harrouch – Emdjez Edchich (avant la correction)	40
	3-4 El Harrouch – Emdjez Edchich (après la correction)	40
<b>4</b>	Bassin du Saf-Saf (1970 - 2003): Résultats d'homogénéisation des données pluviométriques (Après Contrôle de Fiabilité et Comblement de lacunes)	42
<b>5</b>	Station hydrométrique de Khemakhem 1973 / 1998 : Variations interannuelles des modules	45
<b>6</b>	Khemakhem 1973 - 1998: Ajustement des débits moyens annuels à une loi de Gauss	47
<b>7</b>	Khemakhem 1973 - 1998 : Variations intermensuelles des débits mensuels interannuels, moyens et maximaux	50
<b>8</b>	El Harrouch 1970 - 2003 : Variations interannuelles des pluies annuelles	56
<b>9</b>	Zardézas 1970 - 2003 : Variations interannuelles des pluies annuelles	53
<b>10</b>	Bassin du Saf-Saf : Régression des modules pluviométriques annuels ( $P_{an}$ ) en fonction des altitudes (H)	58
<b>11</b>	Station des Zardézas 1970 - 2003 : Ajustement des pluies annuelles à une loi de Gauss	59
<b>12</b>	Bassin du Saf-Saf : Variations interannuelles de l'écoulement moyen annuel (Khemakhem) en fonction des pluies annuelles (El Harrouch) ; 1973 – 1998	61
<b>13</b>	Bassin du Saf-Saf : Variations interannuelles de l'écoulement moyen annuel (Khemakhem) en fonction des pluies annuelles (Ramdane Djamel) ; 1973 – 1998	61
<b>14</b>	Bassin du Saf-Saf: (1973 - 1998) : Coefficient de corrélation $P_{an} - E_{c_{an}}$	62
<b>15</b>	Variations intermensuelles des écoulements mensuels interannuels moyens et maximaux (Khemakhem), en fonction des pluies mensuelles interannuelles moyennes et maximales (Zardézas)	63
<b>16</b>	Bassin du Saf-Saf (1973 - 1998) : Coefficients de corrélation $P_{mens} - E_{c_{mens}}$	64
<b>17</b>	Corrélation : $P_{mens}$ (Zardézas) - $Q_{mens}$ (Khemakhem) {1973 - 1998}	64
<b>18</b>	Bassin du Saf-Saf (1973 - 1998) : Coefficients de corrélation $P_{mens} - Q_{j_{max}}$	66
<b>19</b>	Corrélation $P_{mens}$ (Ouled Habeba) - $Q_{j_{max}}$ (Khemakhem)	66

	{ 1973 - 1998 }	
20	Bassin du Saf-Saf (1973 - 1998) : Variations interannuelles des pluies mensuelles, journalières maximales annuelles (Zardézas) et l'écoulement journalier maximal annuel (Khemakhem)	72
21	Bassin u Saf-Saf (1973 - 1998) : Variations interannuelles des pluies mensuelles, journalières maximales annuelles (El Harrouch) et l'écoulement journalier maximal annuel (Khemakhem)	72
22	Bassin du Saf-Saf, les crues concordantes : Participation des pluies maximales mensuelles et journalières dans l'écoulement journalier maximal	74
23	Crue du 30/12/1984 : Évolution de l'écoulement journalier en fonction des pluies journalières	79
24	Crue du 03/02/1983 : Évolution de l'écoulement journalier en fonction des pluies journalières	81
25	Crue du 31/12/1992 : Évolution de l'écoulement journalier en fonction des pluies journalières	83
26	Crue du 18/05/1977 : Évolution de l'écoulement journalier en fonction des pluies journalières (saison chaude)	85
27	Sous-bassin des Zardézas (1984/85) : Variations mensuelles des pluies (Zardézas) et écoulements moyens (Khemakhem)	88
28	Sous-bassin des Zardézas (1984/85) : Variations mensuelles des pluies journalières maximales et débits maximaux instantanés	88
29	Sous-bassin des Zardézas (01/09/1984 - 31/03/1985) : Évolution des débits journaliers (Khemakhem) en fonction des pluies journaliers (Zardézas)	90
30	Crue de décembre 1984 au sous-bassin des Zardézas : Évolution de l'écoulement instantané (Khemakhem) en fonction des pluies journalières (Zardézas)	92
31	Bassin du Saf-Saf: Assimilation de l'hydrogramme triangulaire des crues : Décennale et centennale	113
32	Sous-bassin de Zeramna : Assimilation de l'hydrogramme triangulaire des crues : Décennale et centennale	114
33	Khemakhem 1973 / 1998 : Ajustement des débits journaliers maximaux annuels à une loi de Frechet	116
34	Khemakhem 1973 / 1998: Ajustement des débits instantanés maximaux annuels à une loi de Frechet	116
35	Ville de Skikda : Phases de l'évolution urbaine et démographique	123
36	l'Oued Zeramna à la cité des frères Saker : Profil en travers	129
37	l'Oued Saf-Saf avant la confluence : Profil en travers	129
38	l'Oued Saf-Saf après la confluence : Profil en travers	129
39	Oued Zeramna à la cité des frères Saker : l'effet de la construction d'une digue sur les cotes des crues	137
40	Oued Saf-Saf à la Zone Industrielle : l'effet de la construction d'une digue sur les cotes des crues	137
41	Éléments caractéristiques d'un réseau de banquettes	141
42	Banquette à profil déversé (profil en V)	141
43	Banquette à profil normal	141
44	Banquette à talus coupé	143

<b>45</b>	Banquette à simple courbure	143
<b>46</b>	Banquette à double courbure	143
<b>47</b>	Banquette à triple courbure	143
<b>48</b>	Réseau de banquettes pour l'épandage des crues	145
<b>49</b>	Principes de la correction d'un torrent	145
<b>50</b>	Bassin des Zardézas 1974/75 -1998/99, la corrélation : $Q_{jmax} > 30 \text{ m}^3/\text{s}$ (Khemakhem) – $P_j > 30 \text{ mm}$ (Zardézas)	152

## **LISTE DES CARTES**

<b>CARTE n°</b>	<b>TITRE</b>	<b>PAGE</b>
1	Bassin du Saf-Saf : <b>SITE</b>	4
2	Bassin du Saf-Saf : <b>CADRE MORPHO-STRUCTURAL</b>	8
3	Bassin du Saf-Saf : <b>MILIEUX MORPHOLOGIQUES</b>	11
4	Bassin du Saf-Saf : <b>PENTES</b>	17
5	Bassin du Saf-Saf : <b>CHEVELU HYDROGRAPHIQUE</b>	19
6	Bassin du Saf-Saf : <b>LITHOLOGIE SIMPLIFIEE</b>	22
7	Bassin du Saf-Saf : <b>PERMEABILITE</b>	24
8	Bassin du Saf-Saf : <b>COUVERTURE VEGETALE</b>	26
9	Bassin du Saf-Saf : <b>RESEAU HYDRO-PLUVIOMETRIQUE</b>	36
10	Bassin du Saf-Saf : <b>ESQUISSE PLUVIOMETRIQUE : MOYENNE DE 34 ANS (SEPTEMBRE 1970 – AOUT 2004)</b>	55
11	Bassin du Saf-Saf : <b>SITUATION DE LA ZONE INDUSTRIELLE DE SKIKDA (31 DECEMBRE 1984)</b>	97
12	Bassin du Saf-Saf (jour du 30 décembre 1984) : <b>CIRCONSTANCES HYDRO-PLUVIOMETRIQUES.</b>	119
13	Ville de Skikda : <b>EVOLUTION URBAINE</b>	121
14	Basse ville de Skikda : <b>ZONAGE DU RISQUE D'INONDATION</b>	132
15	Bassin du Saf-Saf : <b>PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT</b>	149

## TABLE DES MATIERES

TITRE	PAGE N°
<b>INTRODUCTION GENERALE ET PROBLEMATIQUE</b>	1
<b><u>PREMIERE PARTIE</u></b>	
<b>BASSIN VERSANT DU SAF-SAF : LES PARAMETRES PHYSICO-GEOGRAPHIQUES DE L'ECOULEMENT</b>	
<b>introduction</b>	6
<b>CHAPITRE I : LE CONTEXTE MORPHO-STRUCTURAL DU BASSIN VERSANT</b>	
Présentation	7
I. Les milieux structuraux	7
I.1. Le socle kabyle au nord	7
I.2. Les flyschs au centre	9
I.3. La chaîne calcaire au sud	9
a) le compartiment structural nord-supérieur	9
b) le compartiment structural nord-inférieur	9
c) le compartiment structural sud	10
II. Les milieux morphologiques	10
II.1. Les terrasses quaternaires	10
II.2. Les collines	12
II.3. Le relief compartimenté du sud	12
<b>CHAPITRE II : LES CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES ET HYDROGRAPHIQUES GENERALES DU BASSIN VERSANT</b>	
Introduction	13
I. Le relief	13
I.1. Superficie	13
I.2. La forme du bassin	14
I.3. Les altitudes	14
I.4. Indices de pente et relief	15
II. Classes des pentes	16
a) Les pentes faibles (moins de 3 %)	16
b) Les pentes moyennes (3 – 12,5 %)	18
c) Les pentes fortes (12,5 – 25 %)	18
d) Les pentes très fortes (plus de 25 %)	18
III. Le réseau hydrographique et ses caractères morphométriques	18
III.1. Constitution du réseau hydrographique	18
III.2. Morphométrie du réseau hydrographique	20
<b>CHAPITRE III : LES CARACTERES LITHOLOGIQUES ET BIOGEOGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT</b>	
I. Caractères lithologiques du bassin versant et perméabilité	21
I.1. les grands ensembles lithologiques et leurs perméabilités	21
a. le massif côtier de Ain Zouit	21
b. le massif de Radjeta (djebel Filfila, djebel el Alia)	21
c. La vallée du Zeramna	23
d. basse vallée du saf-saf (plaine et ville de Skikda)	23
e. Moyenne vallée du saf-saf (dépression de Ramdane Djamel)	23
f. la chaîne numidique (djebel el Rhédir, sidi Driss ...)	23
I.2. Perméabilité	25
a) Formations à haute perméabilité	25
b) Formations de moyenne à haute perméabilité	25
c) Formations de faible à moyenne perméabilité (Ère tertiaire)	25

d) Formations de faible perméabilité	25
e) Formations de très faible perméabilité (Ère primaire)	25
II. Le couvert végétal et sa discontinuité spatiale dans le bassin	25
II.1. classification de la végétation selon le degré de couverture des sols	27
a) Surfaces bien protégées en permanence :	27
b) Surfaces incomplètement protégées	28
c) Surfaces mal protégées ou nues	28
II.2. Dégradation de la forêt	28
<b>Conclusion de la première partie</b>	31
<b><u>DEUXIEME PARTIE</u></b>	
<b>LES CONDITIONS HYDRO-PLUVIOMETRIQUES ET LEUR VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLES</b>	33
<b>Introduction</b>	34
<b>CHAPITRE I : CRITIQUE DES DONNEES HYDRO-PLUVIOMETRIQUES</b>	35
I.1. équipement hydro-pluviométrique du bassin	35
I.2. critique et homogénéisation des données pluviométriques	37
A) Contrôle de fiabilité des séries (méthodes des doubles cumuls)	37
B) Comblement des lacunes d'observation (méthode de la régression linéaire)	39
<b>CHAPITRE II : LES ECOULEMENTS MOYENS ET MAXIMAUX ET LEURS VARIABILITES</b>	43
I. Variations interannuelles des écoulements moyens et extrêmes	44
I.1. Les débits moyens annuels : variabilité et durée de récurrence	46
a. les fluctuations interannuelles	46
b. Durées de récurrence	46
I.2. les débits maximaux annuels et leur variabilité	48
II. Variations mensuelles des écoulements moyens et maximaux	49
<b>CHAPITRE III : LES PRECIPITATIONS, LEURS VARIATIONS ET INFLUENCES SUR L'ECOULEMENT ANNUEL EN MENSUEL</b>	52
I. Les précipitations annuelles et leurs effets sur l'écoulement annuel	53
I.1. les précipitations annuelles : estimation de la lame d'eau précipitée (1970/71-2003/04)	53
I.2. précipitations interannuelles : variabilité et durée de récurrence	54
a) L'échelle locale (au niveau de la même station)	54
b) L'échelle régionale (Inter-stationnaire)	57
I.3. la relation interannuelle des pluies et débits annuels	60
II. La relation intermensuelle des pluies et écoulements mensuels, moyens et maximaux	62
<b>Conclusion de la deuxième partie</b>	67
<b><u>TROISIEME PARTIE</u></b>	
<b>ETUDE DES CRUES : GENESE ; EVOLUTION ET CAS DE LA CRUE DE DECEMBRE 1984</b>	69
<b>Introduction</b>	70
<b>CHAPITRE I : LE PHENOMENE : PLUIE JOURNALIERE MAXIMALE – ECOULEMENT JOURNALIER MAXIMAL OU GENESE ET EVOLUTION DES CRUES</b>	71
Les pluies journalières maximales, facteur générateur des crues	71
a) crue du 30 décembre 1984	75
b) crue du 3 février 1984	75
c) crue du 31 décembre 1993	75
d) crue du 21 décembre 1988	76
<b>CHAPITRE II : L'EVENEMENT PLUIE JOURNALIERE – ECOULEMENT JOURNALIER : EVOLUTION ET CHRONOLOGIE JOURNALIERE DES CRUES</b>	78
I. les crues de la saison froide	78
a) Crue du 30 décembre 1984	78
b) Crue du 3 février 1984	80
c) Crue du 31 décembre 1992	82

II. les crues de la saison chaude	82
• Exemple de la crue du 18 mai 1977	84
<b>CHAPITRE III : LA CRUE EXCEPTIONNELLE DE DECEMBRE 1984, SA GENESE, EVOLUTION, EXTENSION ET IMPACTS</b>	86
I. circonstances hydro-pluviométriques de la crue de décembre 1984 dans le bassin versant du saf-saf	87
I.1. À l'échelle mensuelle	87
I.2. l'échelle journalière	87
I.3. l'échelle horaire	89
II. Estimation du débit de pointe de la crue de décembre 1984 au niveau de la plaine et la ville de Skikda (méthode hydraulique de Chézy)	91
III. Les préjudices de la crue de décembre 1984 au niveau du bassin versant du saf-saf et de la ville de Skikda	93
Jour du 29 décembre 1984	94
Jour du 30 décembre 1984	95
État de la zone industrielle secteur : énergie/pétrochimie	96
Jour du 31 décembre 1984	98
Jour du 1er janvier 1985	99
Jour du 2 janvier 1985	100
Jour du 3 janvier 1985	100
Jours du 4 au 12 janvier 1985	101
IV. Discussions	101
<b>Conclusion de la troisième partie</b>	103
<b>QUATRIEME PARTIE</b>	105
<b>ENJEUX, CARTOGRAPHIE DU RISQUE ET ESSAI DE " P.P.R.I "</b>	105
<b>Introduction</b>	106
<b>CHAPITRE I : LA PREDETERMINATION DES CRUES</b>	107
I. estimation des débits maximaux probables par la méthode rationnelle (Turraza)	108
I.1. au niveau de l'ensemble du bassin versant du saf-saf	109
I.2. au niveau du sous bassin versant de oued Zeramna	110
II. Hydrogramme et volume de crue (méthode de l'hydrogramme triangulaire de Sokolovski)	110
II.1. l'ensemble du bassin du saf-saf	111
II.2. sous bassin versant de oued Zeramna	113
III. Les crues annuelles fréquentielles : ajustement à une loi de Fréchet	115
IV. Discussion	117
<b>CHAPITRE II : FACTEURS ANTHROPIQUES AGGRAVANTS DU RISQUE D'INONDATION</b>	120
I. Phases de l'évolution urbaine de la ville de Skikda	120
a) Phases de pré indépendance (avant 1962)	122
b) Phase de post indépendance (1962 – 1975)	122
c) Phase de 1975 à 1985	123
d) La phase de 1985 à 1992	124
II. L'effet anthropique	124
a) Couverture du cours d'eau de l'oued Zeramna	124
b) Juxtaposition des immeubles au lit de l'oued	125
<b>CHAPITRE III : ESSAI DE " P.P.R.I "</b>	127
Essai d'élaboration d'un plan de prévention du risque d'inondation " p.p.r.i " pour la ville de Skikda :	127
I. Délimitation des zones exposées au risque d'inondation	127
A) zone très exposée au risque	133
B) zone exposée au risque	133
II. Détermination des enjeux	133



## Résumé

En raison de son emplacement : Plaine inondable en aval du bassin versant du Saf-Saf, la basse ville de Skikda reçoit l'écoulement en provenance d'un impluvium étendu et actif présentant de grandes aptitudes physico-géographiques et hydro-météorologiques à l'écoulement de surface, notamment à la genèse, l'évolution et la propagation des crues.

L'analyse spatio-temporelle du phénomène des crues a fait ressortir leur étroite liaison avec les pluies, notamment les séquences maximales : facteur générateur et déterminant de l'amplitude et de l'expansion des crues.

Ces crues – de caractère violent, brusque et étendu -, une fois arrivées à la plaine de Skikda, coïncident avec un tissu mal aménagé et qui s'est longtemps évolué sur des terrains de grande inondabilité, et aboutissent par conséquent à de sérieuses atteintes : humaines et socioéconomiques similairement aux inondations exceptionnelles de décembre 1984.

Le P.E.R.I de la ville de Skikda a montré que de larges zones, remembrant des activités humaines, sociales et économiques (zone industrielle) sont enjeux, montrant un niveau de risque élevé.

L'essai de P.P.R.I ainsi réalisé a suggéré des mesures de réduction des dommages, compté un projet d'aménagement global, intégré et complémentaire, à appliquer au niveau de l'ensemble du bassin versant du Saf-Saf, et conjointement au niveau de la ville de Skikda.

**Mots clés :** Bassin versant – Pluie journalière maximale – Débit de pointe – Hydrogramme Inondation – Risque naturel – Vulnérabilité – Enjeux – P.E.R.I – P.P.R.I.

### ملخص

بحكم موقعها: السهل الفيضي أسفل الحوض التجميحي لواد الصفصاف, فإن مدينة سكيكدة تستقبل الجريان الآتي من حوض شاسع, نشيط و ذو خصائص فيزيو-جغرافية و هيدرو-مناخية محفزة للجريان السطحي, و ذات مساهمة فعالة في نشأة, تطور و انتشار الفيضانات.

التحليل الزمني لظاهرة الفيضانات أظهر ارتباطها الوثيق مع عنصر التساقط, سيما الأمطار القصوى كعامل منشئ و متحكم في أهمية الفيضانات و امتدادها المجالي.

هذه الفيضانات – ذات الطابع العنيف, الفجائي و المتسع -, تصادف عند بلوغها السهل الفيضي السكيكدي نسيجاً حضرياً ذا تهيئة شبه منعدمة و لطالما تطور على أراضي ذات قابلية كبيرة للغمر, مؤدية بهذا إلى خسائر هامة: بشرية, اجتماعية و اقتصادية على غرار الفيضانات الاستثنائية في ديسمبر 1984.

مخطط التعرض لخطر الفيضان لمدينة سكيكدة سمح بتطبيق مساحات هامة تشمل عدة نشاطات بشرية و سوسيو-اقتصادية (المنطقة الصناعية) ذات مستوى عالٍ للتعرض للخطر.

إن محاولة لوضع مخطط للوقاية من خطر الفيضان في مدينة سكيكدة اقترحت إجراءات لتقليل الخسائر, متمثلة في مشروع تهيئة يتسم بشموله, اندماجه و تكامله. ويشمل اقتراحات تخص عموم الحوض التجميحي كمنطقة فيضانات و مدينة سكيكدة بصفقتها مجالا حضرياً معرضاً للغمر.

**الكلمات الدلالية:** حوض تجميحي - أمطار يومية قصوى - صبيب فيضي - هيدروغرام - غمر - خطر طبيعي - مستوى التعرض للخطر - رهانات - مخطط التعرض لخطر الفيضان - مخطط للوقاية من خطر الفيضان.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.