**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah**
**Faculté des Sciences et Techniques**
***www.fst-usmba.ac.ma***

**Année Universitaire : 2012-2013**

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

# MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

# Etude Hydrologique du barrage Nouirate sur l'Oued Chemmar dans la province de Sidi Kacem

**Présenté par:**

**Issam BOUSSALLA**

**Encadré par:**

- **Mme. MAjida NAJMEDDINE, NOVEC, Rabat**
- **Mr. Abdelkader EL GAROUANI, FST – Fès**

**Soutenu le 18 Juin 2013 devant le jury composé de :**

- **Mr. Abdelkader El GAROUANI, FST de Fès**
- **Mme. Naoual Rais, FST de Fès**
- **Mr. Raouf JABRANE , FST de Fès**
- **Mme. Majida NAJMEDDINE NOVEC à Rabat**

**Stage effectué à : NOVEC, Rabat**

**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah**
**Faculté des Sciences et Techniques**
*www.fst-usmba.ac.ma*

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Nom et prénom: Issam BOUSSALLA**

**Année Universitaire : 2012/2013**

**Titre: Etude hydrologique du barrage Nouirate dans la province de Sidi Kacem**

## Résumé

Le Maroc dispose de 104 lacs et de 54 barrages collinaires d'une capacité totale de 124 millions de $m^3$. Cependant, l'utilisation de ressources en eau de certaines retenues par les usagers, pose souvent des questions sur la quantité d'eau disponible et sa variabilité saisonnière, sur la durée de vie de l'aménagement ainsi que sur l'efficacité des pratiques de vanne et de chasse des crues.

La présente étude a pour objet l'élaboration d'une part la série des apports et d'autres parts l'étude des crues au niveau du site du barrage de Nouirate et enfin le calcul de l'envasement de la retenue sur plusieurs périodes.

La zone d'étude concerne le Cercle de Mechra Bel Ksiri qui fait partie de la province de Sidi Kacem et regroupe six communes rurales (Nouirate, Sidi Al Kamel, Rmila, Sefsaf, Al Haouafate et Dar Laâslouji). Elle profite d'une situation géographique privilégiée et de ressources en eau et en sol considérables qui ont favorisé un développement agricole et agro-industriel remarquable.

De point de vue méthodologique, il existe plusieurs méthodes de détermination des débits de fréquences rares. Dans le cas de notre étude, nous avons choisi les méthodes de probabilité de Gradex et l'ajustement statistique pour les appliquer au bassin jaugé de Had Kourt dans le but de déterminer ses débits de pointe. La méthode analogique est utilisée pour la transposition de ces débits vers le bassin non jaugé de l'Oued Chemmar.

Ces méthodes ont permis l'estimation des débits de pointe mais ne suffisent pas pour la détermination des volumes des crues de chaque événement. C'est pour ça, il faut déterminer l'hydrogramme de crue type de Had Kourt et les caractéristiques de l'hydrogramme du bassin de l'Oued Chemmar.

# Remerciements

Arrivé au terme de la rédaction de ce mémoire, il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma gratitude et mes remerciements à tous ceux qui, par leur enseignement, leur soutien et leurs conseils, m'ont aidé à sa réalisation.

Ma gratitude va d'abord à Madame **Majida NAJMEDDINE**, qui m'a honoré de sa confiance en acceptant de m'encadrer au sein du bureau d'ingénierie et de conseil NOVEC. J'ai particulièrement été impressionné par ses qualités scientifiques et humaines. Puissent ces lignes être l'expression de ma plus profonde reconnaissance.

Mes vifs remerciements et ma profonde reconnaissance au Pr Mr. **Abdelkader EL GAROUANI** pour son encadrement fructueux et appréciable et pour m'avoir guidée durant tout mon travail.

Monsieur **Mohamed ELMANTOUMI** chef de département ressources en eau à la NOVEC de m'avoir ouvert les portes pour pouvoir passer ce stage.

Je tiens à remercier Madame **Naoual RAIS et Mr. Raouf JABRANE** pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Un spécial remerciement pour **Mr. Mahmoud ZEMZAMI** qui m'a beaucoup aidé au court du présent travail.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes amis et collègues qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de mon travail de mémoire.

# SOMMAIRE

**INTRODUCTION**……..... **2**

**PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL**..... **4**

**Chapitre I- Cadre régional de la zone d'étude (bassin de la plaine du Rharb-Mamora)**……..... **6**

1. Présentation géographique……. ……... **6**

2. Géologie ……..…….….. **6**

3. Hydrologie…….…….……..…. **8**

**Chapitre II- Présentation de la zone d'étude**……..…..…….……..... **10**

1. Situation géographique..... **10**

2. Climatologie.....…..... **11**

3. Géologie……...……...…. **14**

3.1. Géologie régionale…….……...…..…. **14**

3.2. Géologie locale……...…..……...…. **14**

4. Couvert végétal……..……..……...…….……. **14**

**Chapitre III- Etude géomorphologique**..... **17**

1. Introduction……..……..……...……...…. **17**

2. Caractéristiques de la forme du bassin versant……..……. **17**

3. Résultats de l'étude géomorphométrique du bassin versant de Nouirate..... **25**

**Chapitre IV. Elaboration des séries des apports**……..... **28**

1. Méthodologie……..……... **28**

2. Validation de la série des apports au site de Nouirate……..…… **31**

**Chapitre V. Etude des crues………………………………………………………..…...………. 34**

INTRODUCTION..................................................................................................…. 34

1- ajustement statistique………………………..………………………………………..….. 37

1.1- pluies journalières maximales (Pjmax)……………………..………………..……. 37

1.2- ajustement des débits maximums journaliers (Qjmax)…………………….………. 44

1.3- ajustement des débits instantanés maximums (Qp)……………………….….……. 45

2. estimation du ruissellement…………………...………………………….……………….………. 48

3. débits de pointe adoptés………………………………….……………………….…. 50

4. les débits de pointe de la station de Had Kourt par la méthode du Gradex (673 km²…..... 51

5. transposition des débits de pointe vers notre bassin d'étude par la méthode de Francou-Rodier……………………………………………………………………………………… 51

**CONCLUSION……………….………………………………………..………...……….. 53**

**BIBLIOGRAPHIE…………………………………………………………………. 54**

**ANNEXES……………………..……………………………………………………… 55**

## LISTE DES FIGURES

Fig.1 : Situation géographique de la plaine du GHARB…… **6**
Fig.2 : situation du barrage par rapport à la commune de Nouirate…….. **10**
Fig. 3 : carte de situation du site du barrage Nouirate…….…….. **12**
Fig. 4 : Carte des isohyètes de la zone d'étude…….. **13**
Fig.5 : carte géologique du bassin de Nouirate…….. **15**
Fig.6 : Carte du couvert végétal…… **16**
Fig.7 : Profil en long du plus long Talweg……..……..…… **19**
Fig. 8 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Chemmar……..……..…… **22**
Fig. 9 : Modèle numérique de terrain du bassin versant de l'Oued Chemmar…….…… **23**
Fig. 10 : Carte de pente du bassin versant de l'Oued Chemmar…… **24**
Fig. 11 : Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Chemmar……..…… **27**
Fig.12 : Corrélation des apports du site Al Wahda et des apports de la Station de Had Kourt…. **28**
Fig. 13 : Evolution annuelle des apports au niveau du Site du barrage Nouirate…….. **29**
Fig.14 : Simple cumul des modules de Nouirate en m3/s…….. **32**
Fig.15 : Double cumul Nouirate vs Al Wahda……. . **33**
Fig.16 : Ajustement statistique des Pjmax par la loi de Gumbel de la station de –Souk El Had…. **40**
Fig.17 : Ajustement statistique des Pjmax par la loi de Gumbel de la station de –Ouljat Soltane.. **40**
Fig.18 : Ajustement statistique des Pjmax par la loi de Gumbel de la station de –El Kansera-….. **41**
Fig.19 : Ajustement statistique des Pjmax par la loi de Gumbel de la station de –Bittit-……..... **41**
Fig.20 : Ajustement statistique des Pjmax par la loi de Gumbel de la station de –Azib Soltane… **42**
Fig.21 : Ajustement statistique des Pjmax par la loi de Gumbel de la station de –S. Chahed-….. **42**
Fig.22 : Ajustement statistique des Qjmax par la loi de Gumbel…….…….. **44**
Fig.23 : Ajustement statistique des Qp par la loi de Gumbel…….…… **45**
Fig. 24 : Corrélation des Qp des Qjmax…….…… **47**
Fig.25 : Ajustement statistique des du ruissellement observé dans la station de Had Kourt par la loi de Gumbel…….…… **49**
Fig.26 : Ajustement statistique des du ruissellement observé dans la station de Had Kourt par la loi de Gumbel…… **50**

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Bilan hydrologique des principaux oueds à leur entrée dans le bassin Rharb-Mamor **8**

Tableau 2 : table des crues de la plaine Gharb…….. **9**

Tableau 3. Caractéristiques géométriques du bassin versant…….. **25**

Tableau 4. Altitude caractéristique du bassin versant……..... **25**

Tableau 5 : calcul du ratio de transformation…… **29**

Tableau 6 : Série des apports au site de Nouirate [Mm3]……..... **30**

Tableau 7 : modules annuels adoptés…….…….....  **31**

Tableau 8 : Distribution des séries pluviométriques des postes sélectionnés…… **38**

Tableau 9 : Tableau résumant les différents résultats obtenus par l'ajustement statistique des Pjmax…….. **43**

Tableau 10 : Résultats de l'ajustement des débits journaliers maximums…… **44**

Tableau 11 : Résultats de l'ajustement des débits instantanés maximums…… **45**

Tableau 12 : Coefficients de pointe à la station hydrométrique -Had Kourt-…… **46**

Tableau 13 : Calcul du ruissellement à partir des débits journaliers maximums……..... **48**

Tableau 14 : Les débits de pointe adoptés …… **50**

Tableau 15 : Tableau des résultats finals du calcul des débits de pointe……..... **51**

Tableau 16 : Transposition des débits vers le bassin de Nouirate…….. **52**

# INTRODCTION GENERALE

Le Maroc est un pays dont les ressources en eaux sont limitées. Il dispose d'une quantité d'eau de surface estimée à 22,5 milliards de m3, dont seul 16 milliards de m3 sont mobilisables dans les conditions techniques et économiques actuelles (bzioui, 1995). La plupart de ces ressources sont localisées principalement dans les régions du Nord et du Nord-Ouest, ce qui laisse apparaître un grand déficit dans le Sud. Avec les périodes de sécheresse qui sont de plus en plus fréquentes ces dernières années, ce déficit devient très grave et touche presque tout le Royaume.

Pour faire face à cette situation et satisfaire la demande en eau estimée à 20 milliards de m3 à l'horizon 2020 (DGH, 1998), la politique du Maroc en matière des ressources en eau s'est orientée depuis longtemps vers la construction des barrages. Si l'objectif de départ était essentiellement agricole, par l'irrigation d'un million d'hectare à l'an 2000 et l'approvisionnement des grands centres urbains en eau potable, le monde rural quant à lui, et qui constitue plus de 50 % de la population en majorité non desservie, reste le plus touché par le manque d'eau.

Conscient de l'importance de l'eau dans le développement socio-économique et la stabilité de la population, une nouvelle stratégie a été adoptée depuis les années 1980. Cette stratégie, consiste à construire des petites infrastructures hydrauliques, lacs et barrages collinaires, connus au Maroc depuis les années 1930 et utilisés comme moyen de récolte de l'eau de pluie sous le nom de « Ghdirs et Ghattara » (CHAOUNI, 1996). Actuellement le pays dispose de 104 lacs et de 54 barrages collinaires d'une capacité totale de 124 millions de m3.

Oubliées ces dernières années au profit des grands et moyens ouvrages hydrauliques, certaines de ces petites infrastructures se trouvent dans un état critique, dû à la dégradation de leur environnement et à une mauvaise gestion et suivi. Elles sont le siège de toutes sortes de pollution et d'envasement, qui entraînent une dégradation de la qualité de leur eau et une diminution progressive de leur capacité utile.

Malheureusement pour faire face à ces problèmes, l'expérience marocaine sur le plan technique se montre un peu limitée par rapport à celle de nombreux pays méditerranéens, comme la Tunisie et Italie (BZIOUI, 1986). Parmi les facteurs de ce retard, on peut citer le manque de données hydropluviométriques et d'études de faisabilité technique adaptées aux systèmes hydrologiques des petits réservoirs. Le recours aux méthodes empiriques, notamment pour la prévision des écoulements et la charge solide, est pratiquement impossible en raison de l'hétérogénéité des caractéristiques de l'état de surface et du climat. En plus, la gestion pratique de ces retenues au Maroc, est encore très mal définie. Le partage des responsabilités de cette gestion entre l'État et les collectivités locales, n'est pas encore déterminé. De ce fait, l'utilisation de ressources en eau des retenues par les usagers, pose

souvent des questions sur la quantité d'eau disponible et sa variabilité saisonnière, sur la durée de vie de l'aménagement ainsi que sur l'efficacité des pratiques de vanne et de chasse des crues.

L'objectif de ce travail est l'élaboration d'une part de la série des apports et d'autres part l'étude des crues au niveau du site du barrage de Nouirate sur plusieurs périodes de retour.

L'étude est organisée de la manière suivante :

Chapitre 1 : Introduction ;

Chapitre 2 : Présentation du contexte générale de la plaine Rharb et de la zone d'étude ;

Chapitre 3 : Etude géomorphologique du bassin versant du site du barrage Nouirate ;

Chapitre 4 : Elaboration des séries des apports : transposition de la série de Had Kourt (complétées) vers le site du barrage ;

Chapitre 5 : Etude des crues : Rappel de la base données, de la méthodologie et des données des débits de pointes Qp(T), des débits maximums journaliers Qjmax(T) pour divers périodes de retour.

# PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

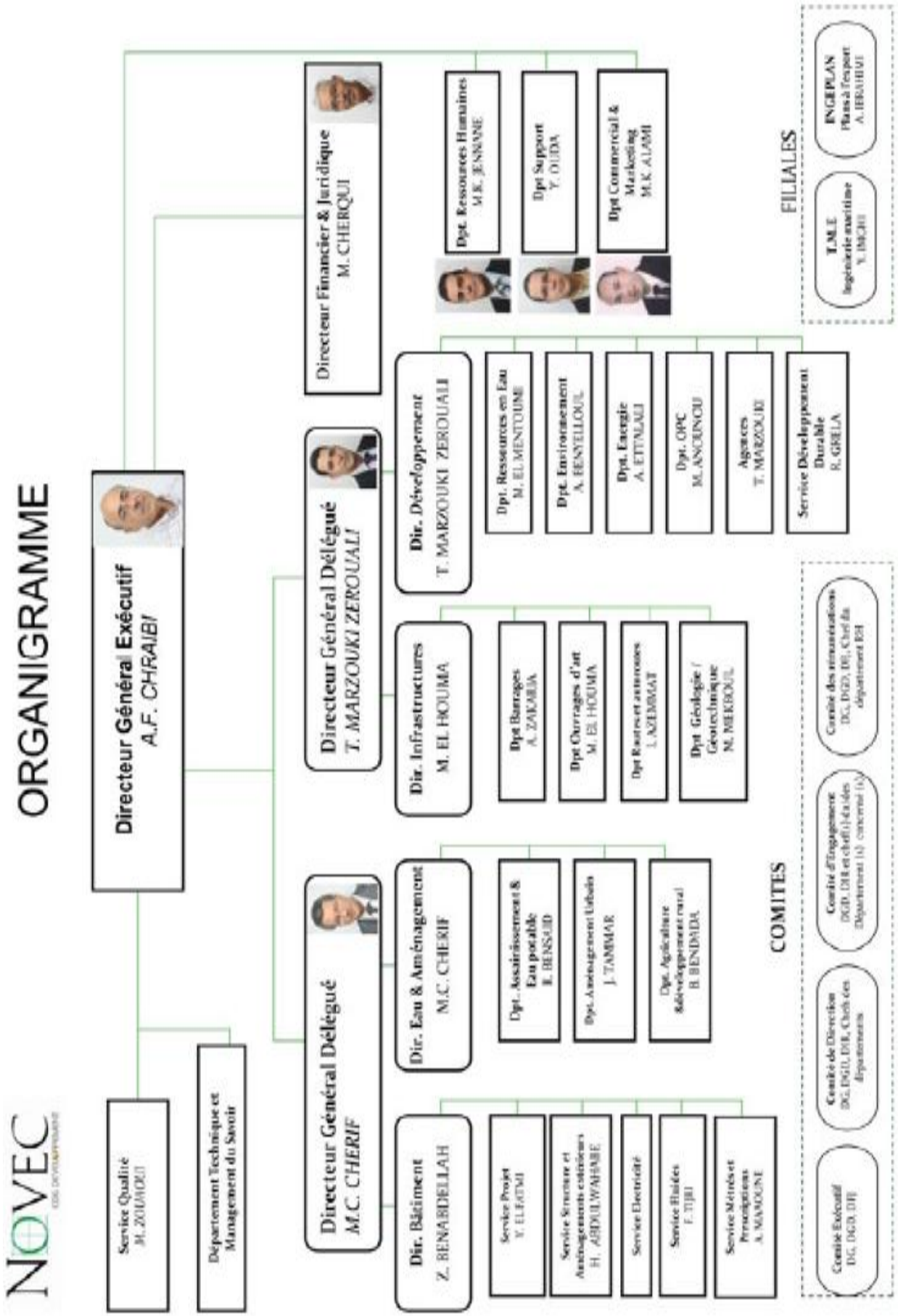
Les assemblées générales extraordinaires des bureaux d'études Ingéma et Scet-Scom, filiales de CDG Développement, réunies en date du 30 novembre 2009, ont entériné de fusion entre les deux entités, donnant naissance à la société Novec.

La convention de fusion entre Scet-Scom et Ingéma avait été signée en juin dernier, au terme d'un processus initié en 2008 par CDG Développement, actionnaire de référence des deux bureaux d'études. L'opération s'inscrit dans le cadre des orientations stratégiques de la holding, axées notamment sur la mise en place de synergie au sein du Groupe.

Ce rapprochement permettra l'émergence d'un leader sur le marché national de l'ingénierie. En effet, la nouvelle entité bénéficiera des expertises sectorielles complémentaires des deux bureaux d'études, dont Novec regroupera désormais les activités et dont il convient de rappeler les plus importantes :
– Scet-Scom : Bâtiment, OPC, Aménagements urbains, Agriculture et Développement rural, Alimentation en eau potable et Assainissement.
– Ingéma : Grandes infrastructures (Barrage, Autoroutes, Ouvrages d'art, Ports, Tunnels), Ressources en eau, Energie et Environnement.

Novec emploiera près de 500 collaborateurs et disposera de nombreuses implantations régionales. La société, dont le siège social est à Rabat, est également présente à l'échelle régionale à travers ses agences de Casablanca, Marrakech, Agadir et bientôt à Tanger et Fès. Elle opère également à l'internationale où elle est appelée à devenir l'un des bureaux de référence, notamment en Afrique et au Moyen-Orient.

A travers la création de Novec, CDG Développement ambitionne de doter le pays d'une ingénierie d'excellence, offrant des services de haut niveau dans les métiers en rapport avec le développement territorial durable, tant à l'intérieur du Royaume qu'à l'international.
Pour mener à bien la fusion de Scet-Scom et Ingéma, Novec a été placée sous la responsabilité de M. Ahmed Fouad Chraïbi, Directeur Général Exécutif. Cet ingénieur de formation fait valoir plus de 30 années d'expérience dans le domaine de l'ingénierie. Titulaire d'un diplôme d'ingénieur civilde l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.


ORGANIGRAMME
NOVEC
Directeur Général Exécutif
A.F. CHRAIBI
Service Qualité
M. ZOUHOUI
Département Technique et Management du Savoir
Directeur Général Délégué
T. MARZOUKI ZEROUALI
Directeur Financier & Juridique
M. CHERQUI
Dir. Développement
T. MARZOUKI ZEROUALI
Dpt. Ressources en Eau
M. EL MENTOUNE
Dpt. Environnement
A. BENYELLOUL
Dpt. Energie
A. ETTNAJI
Dpt. OPC
M. ANOUNOU
Agences
T. MARZOUKI
Service Développement Durable
R. GRELA
Dir. Infrastructures
M. EL HOUMA
Dpt Barrages
A. ZAKARIA
Dpt Ouvrages d'art
M. EL HOUMA
Dpt Routes et annexes
L. AZEMMAT
Dpt Géologie / Géotechnique
N. MEKKOUL
Directeur Général Délégué
M.C. CHERIF
Dir. Eau & Aménagement
M.C. CHERIF
Dpt. Assainissement & Eau potable
R. BENSAID
Dpt. Aménagement Urbain
J. TAMMAR
Dpt. Agriculture &développement rural
B. BENDAIDA
Dir. Bâtiment
Z. BENABDELLAH
Service Projet
Y. ELFATMI
Service Structure et Aménagements extérieurs
H. ABDULWAHABE
Service Electricité
Service Fluides
F. TIJEL
Service Métrés et Principaux
A. MANOUNE
Dpt. Ressources Humaines
M.K. JENANE
Dpt Support
Y. OUIDA
Dpt Commercial & Marketing
M.K. ALAMI
FILIALES
I.M.E
Ingénierie maritime
Y. ISKAH
ENGEPLAN
Plans à Projet
A. IBRAHIMI
COMITES
Comité Exécutif
DG, DGD, DF
Comité de Direction
DG, DGD, DF, Chefs des départements
Comité d'Engagement
DGD, DR et chef(s) d'études (département (s) concerné (s))
Comité des rémunérations
DG, DGD, DF, Chef du département RH
Edité le 27 octobre 2010
Validé par : A.F.CHRAIBI

# Chapitre I :

# CADRE REGIONAL DE LA ZONE D'ETUDE (BASSIN DE LA PLAINE DU RHARB-MAMORA)

## I.1. Présentation géographique

La superficie du bassin hydrogéologique Rharb-Mamora est de 7 500 km2; ses limites sont constituées par l'océan Atlantique à l'West, les collines de Lalla-Zohra au Nord, celles de Ksiri, Bou-Drâa, Outita à l'Est et par les reliefs entre Khémissete et Tiflete au Sud (Fig.1). La moitié nord du bassin, correspondant à la plaine du Rharb, a environ 4000 km**2** de superficie. La morphologie de l'ensemble du bassin correspond à une vaste cuvette dont les 4/5 sont à une altitude inférieure à 20 m, alors que les bordures présentent des reliefs très doux. L'oued Sebou pénètre dans la plaine par l'Est, y dessine une ample courbe vers le Nord avant de revenir au Sud pour atteindre l'Océan par la trouée de Kenitra-Mehdia ; toujours endigué dans ses propres levées qui dominent partout la plaine environnante, l'oued a un trajet en méandres de 223 Km pour 107 Km de trajet réel en ligne droite suivant l'axe de la gaine fluviale. Son principal affluent l'oued Beth, est canalisé dans la plaine de façon à assurer la permanence de l'exutoire au Sebou. Le centre de la plaine, naturellement marécageux, était initialement impraticable six mois par an aux cavaliers ; d'importants travaux de drainage ont considérablement amélioré cette situation.

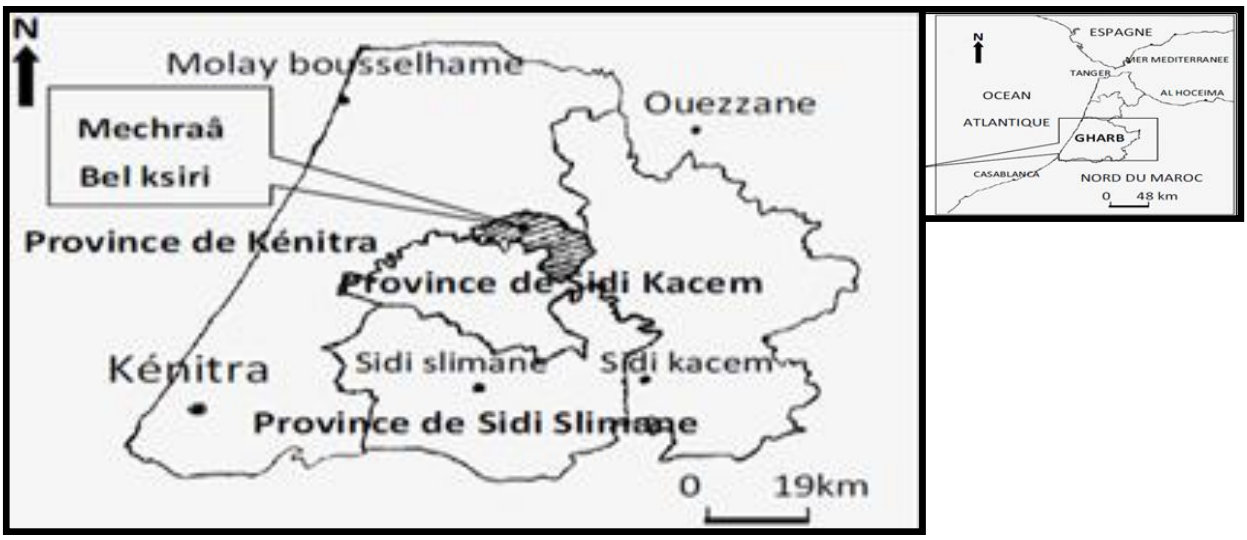



**Fig.1 : Situation géographique de la plaine du GHARB**

A l'échelle nationale, la raffinerie de pétrole de Sidi-Kacem, les usines de traitement de la betterave sucrière à Sidi-Slimane, Sidi-Allal-Tazi et Mechra-bel-Ksiri et de l'eucalyptus pour cellulose à Sidi-Yahya ainsi que la Compagnie marocaine des cartons et papiers et la Compagnie marocaine de fabrication cotonnière à Kénitra, constituent des entreprises employant jusqu'à 600 personnes. Quelques entreprises secondaires conditionnent des produits agricoles locaux et sont implantées essentiellement à Kénitra qui possède de nombreux atouts pour devenir à moyen terme un important centre industriel.

## I.2. Géologie

Sur le plan géologique, la plaine du Gharb constitue la charnière entre deux ensembles structuraux qui diffèrent par la nature et l'âge des terrains d'une part et par le style tectonique et l'âge de la déformation d'autre part :

- Sur la marge septentrionale : le Rif qui est marqué par une grande instabilité jusqu'à l'actuel ;
- Sur la marge méridionale : la Méséta avec un socle paléozoïque rigide et relativement stable plongeant régulièrement du Sud vers le Nord avec une pente de 3°.

Le bassin du Gharb a été individualisé au Miocène terminal suite à l'obstruction du sillon sud-rifain par la remontée isostatique su seuil de Taza et le glissement de la nappe prérifaine du Nord vers le corridor sud-rifain. En outre, l'instabilité de la marge prérifaine et le basculement dû à la surrection rifaine provoquent le déversement d'énormes quantités de matériaux terrigènes, souvent fins et le glissement d'un énorme olistostrome. La moitié septentrionale du Gharb repose directement sur cet olistostrome alors que la moitié méridionale repose sur les formations de la Méséta occidentale formant le substratum autochtone du Rif.

Le comblement du bassin du Gharb, au Miocène terminal, est le résultat de la combinaison de plusieurs facteurs :

- L'accumulation d'énormes apports en provenance de deux zones émettrices, bien définies par la nature et la granulométrie des matériaux :
  - La marge septentrionale prérifaine ne fournit que des éléments très fins, sito-argileux, parmi lesquelles sont transportés des tests de micro-organismes arrachés aux formations crétacées et tertiaires de l'arrière pays ainsi que des carapaces d'ostracodes.
  - La marge mésétienne, libère des matériaux beaucoup plus grossiers, principalement vers le sommet de la série ;
- La remontée isostatique du seuil de Taza ;
- L'arrivée de la nappe prérifaine.

C'est l'interaction entre la subsidence tectonique et les changements du niveau marin qui façonne la morphologie d'ensemble des sédiments néogènes. Les changements eustatiques peuvent avoir joué un rôle important dans les parties les moins profondes du bassin. L'aspect le plus important de l'histoire tectonique du bassin du Gharb est l'initiation et la propagation des failles synsédimentaires initiées par un déséquilibre gravitaire. Ce dernier résulte à la fois

de la forme pentée du substratum et des fractures qui permettent l'accommodation par le flux sédimentaire.

### I.3. Hydrologie

Le bas Sebou est le collecteur terminal des eaux d'un bassin versant de 34 000 km2 qui s'étend sur les domaines du Rif (essentiellement imperméable) du Moyen Atlas (calcaire) et de la Méséta (essentiellement imperméable) où les massifs montagneux sont largement représentés et bien arrosés (jusqu'à 2 m de pluie par an). Or ce collecteur est un goulet d'étranglement qui s'avère, une année sur deux, incapable d'évacuer les énormes quantités d'eaux qui déferlent à la suite d'une période pluvieuse un peu prolongée, et provoquent de catastrophiques inondations dans la plaine.

Tous les oueds sont soumis au régime pluvial si bien que les précipitations persistantes et généralisées sur l'ensemble du bassin sont particulièrement redoutables en plaine, en raison des risques d'inondation ; par ailleurs ces oueds adoptent les irrégularités saisonnières du climat et ne débitent en été que des volumes d'eau insuffisants en regard des potentialités en terres irrigables. La salure des eaux demeure toujours peu élevée et varie entre 400 et 700 mg/l de résidu sec, en raison inverse du débit.

**Tableau 1 : Bilan hydrologique des principaux oueds à leur entrée dans le bassin Rharb-Mamora.**

| Fleuve | Station de mesure | Superficie du bassin versant ($Km^2$) | Altitudes moyennes du bassin versant (m) | Débits moyens interannuels ($m^3/s$) | | | Crues ($m^3/s$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Du mois le plus humide | Moyen | Du mois le plus sec | Moyenne (1an sur 2) | Maxi connu |
| SEBOU | AZIB SOLTANE | 16276 | 940 | 129,2 | 69,5 | 19,7 | 700 | 4000 |
| OUERRHA | KHENICHET | 7200 | 680 | 231,4 | 101,3 | 7,4 | 2700 | 7000 |
| MDA | ALI-CHERIF | 360 | 140 | - | 01 | 0,0 | - | 200 |
| RDAT | ROUTE | 729 | 190 | - | 0,2 | 0,0 | - | - |
| TNINE | - | 435 | 140 | - | 0,1 | 0,0 | - | 500 |
| RDOM | SOUK-EL-HAD | 1796 | 670 | - | 0,5 | 0,3 | 160 | 400 |
| BEHT | EL-KENSRA | 4536 | 870 | 26,5 | 11,4 | 1,8 | 600 | 1100 |
| **Total des debits moyens** | | | | - | 183,1 | 29,2 | | |

La largeur du Sebou endigué dans ses propres levées, sa faible pente sur 230 Km de son cours dans la plaine (1/10 000 aux hautes eaux) et l'influence de la marée dynamique qui se fait sentir jusqu'à 85 Km de l'embouchure, ne permettent pas au fleuve d'évacuer plus de 1 600 m3/s à Mechra-bel-Ksiri et 2 000 m3/s à Sidi-Allal-Tazi, débits de l'ordre des crues moyennes (fréquence 1 an sur 5) de son seul grand affluent : l'Ouerrha. De fait, entre 1944 et 1972, trente sept années ont été marquées par des débordements ; pour juger de l'ampleur des dommages causés, il suffit de se souvenir que les berges du Sebou dominent la plaine de plusieurs mètres, et que par conséquent les eaux de débordement envahissent rapidement de vastes superficies qu'elles ne pourront quitter par le trajet inverse, stagnant donc, souvent pendant plusieurs semaines.

Les crues les plus dangereuses se produisent lorsqu'il y a conjonction des crues particulières du Sebou et de l'Ouerrha auxquelles s'ajoutent généralement celles des autres petits affluents. Quelques chiffres, obtenus pour certaines années montrent l'ampleur du désastre :

**Tableau 2 : table des crues de la plaine Gharb**

| D a t e | Conjonction des D a t e débits les plus forts en m3/s | Durée des débordements en heures | Superficies inondées en hectares |
|---|---|---|---|
| Décembre 1951 | 8000 | 45 | 159 000 |
| Février 1955 | 3100 | 163 | 72 000 |
| Janvier 1960 | 4600 | 82 | 100 000 |
| Janvier 1963 | 10000 | 165 | 180 000 |
| Janvier 1970 | 11000 | 408 | 150 000 |

# Chapitre II :

# PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

## II.1. Situation géographique

La zone d'étude, le Cercle de Mechra Bel Ksiri, fait partie de la province de Sidi Kacem et regroupe six communes rurales (Nouirate, Sidi Al Kamel, Rmila, Sefsaf, Al Haouafate et Dar Laâslouji) Fig. (2). Elle profite d'une situation géographique privilégiée et de ressources en eau et en sol considérables qui ont favorisé un développement agricole et agro-industriel remarquable ; avec 16 % du potentiel national d'irrigation (ORMVAG 2002). Longée par l'Oued Sebou à proximité d'une zone irriguée, la ville de Mechra Bel Ksiri s'étend sur une superficie d'environ 8 $Km^2$ (800 ha), elle se situe au cœur de la région du Gharb au carrefour entre le Nord et le Saiss dans le coin Est de ce dernier.

Le site du barrage est situé sur l'Oued Chemmar à une distance de 3,652 Km de la commune rurale de Nouirate (Fig. 3).

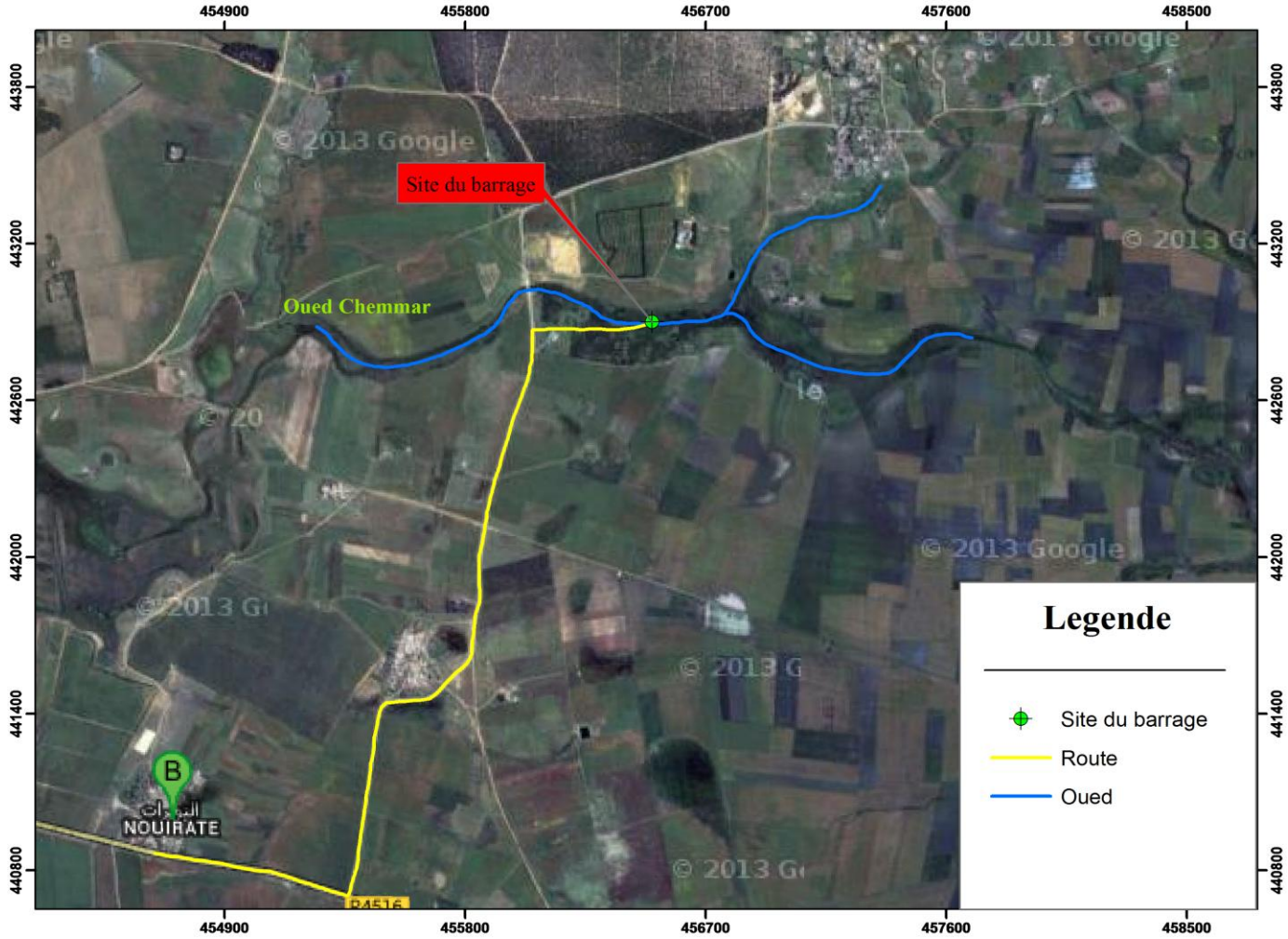



**Fig.2 : situation du barrage par rapport à la commune de Nouirate**

### II.2. Climatologie

Le climat de Mechra Bel Ksiri est de type continental, caractérisé par une période sèche qui va du mois d'Avril à Octobre et une période relativement humide de Novembre à Mars, avec une pluviométrie souvent irrégulière entraînant une moyenne annuelle variant de 500 à 550 mm d'après la carte des isohyètes (période 1932-2006) avec en moyenne 60 jours de pluies par an. En été, saison chaude et sèche (Fig. 4).

La zone subit l'influence des vents d'Ouest-Est avec certaines périodes de Chergui, particulièrement aux mois Juillet et Août, alors qu'en hiver, saison froide et pluvieuse, avec des valeurs modales en décembre (98 mm), novembre (90 mm) et janvier (82 mm).

Les températures moyennes de Mechra Bel Ksiri varient de 28 °C à 30 °C en été et entre 15 °C à 26 °C en hiver (ORMVAG 2002). Selon la classification d'Emberger (1952), Mechra Bel Ksiri a un coefficient qui est égal à 59,66, donc il appartient à l'étage bioclimatique semi aride supérieur.

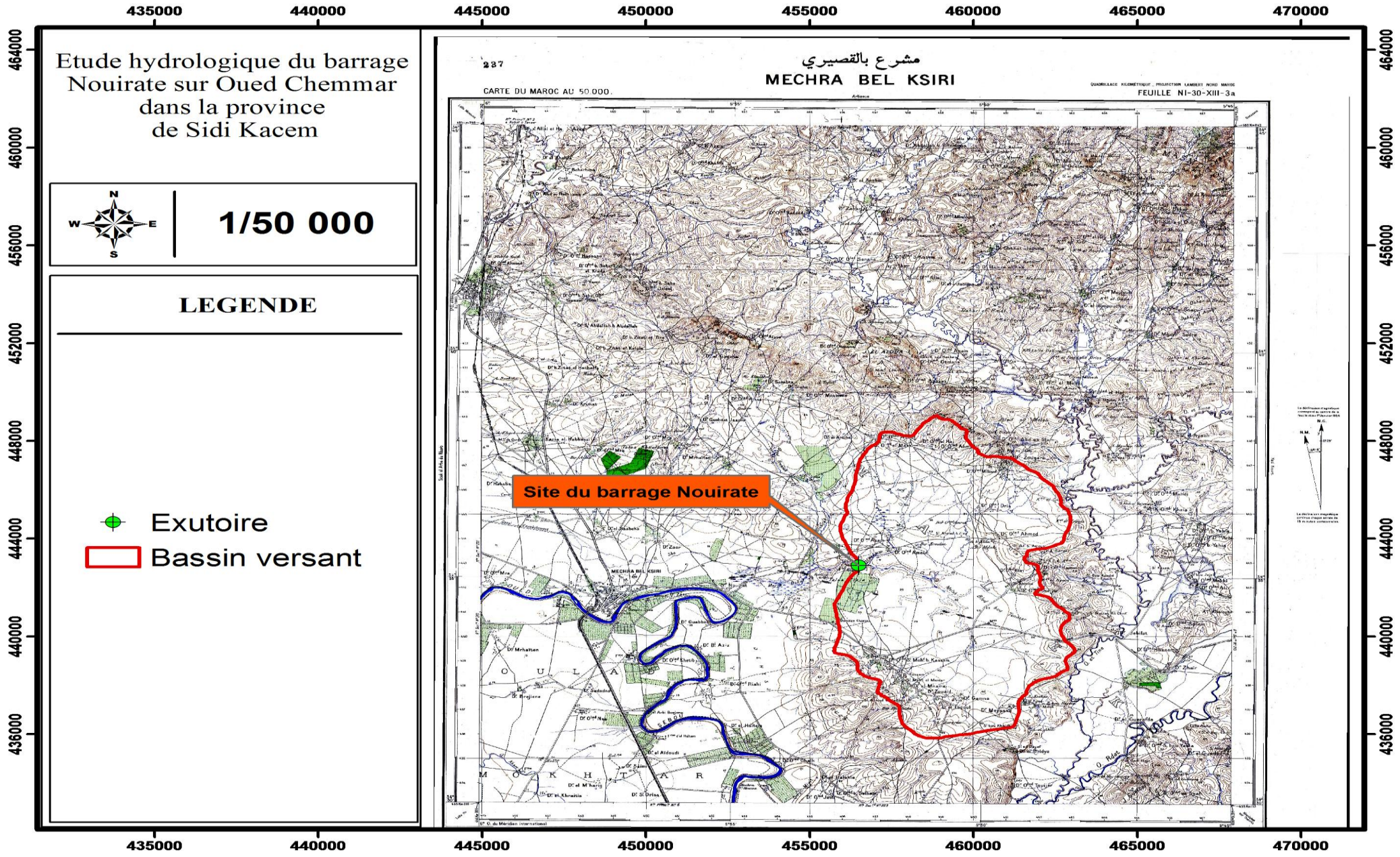



**Fig. 3 : carte de situation du site du barrage Nouirate**

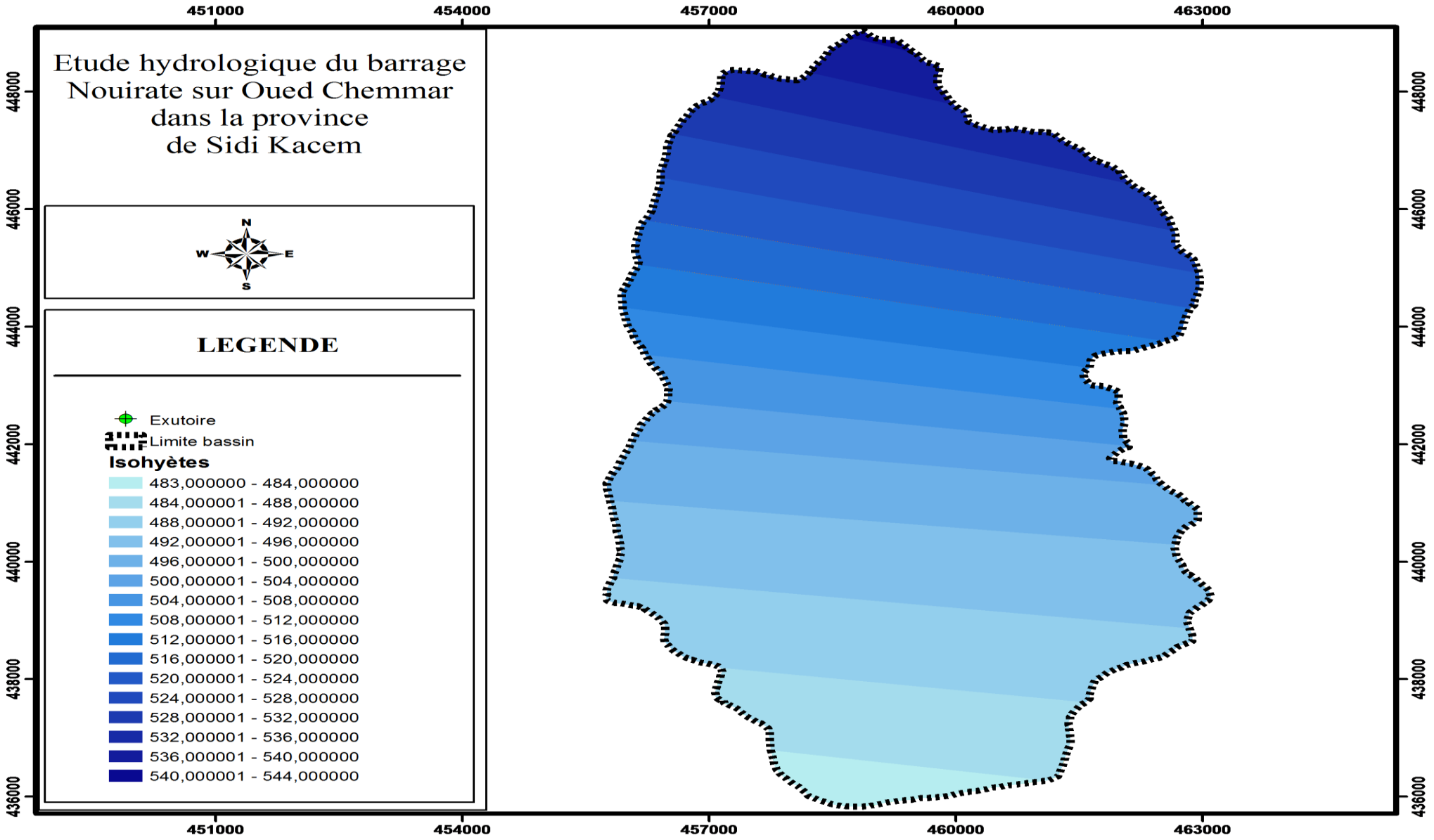



**Fig. 4 : Carte des isohyètes de la zone d'étude**

## II.3. Géologie

3.1 Géologie régionale

Les conditions géologiques ont été aussi vérifiées pour les trois axes qui se situent dans le même contexte géologique régional. En effet la zone du projet se situe dans le domaine des collines du Gharb, constituant la zone d'extension de la nappe prérifaine et faisant partie du domaine Rifain.

3.2 Géologie locale

Localement les terrains au droit du site sont constitués principalement de collines en relief généralement mou sous forme des dunes. Ces collines possèdent un substratum constituer par une épaisse série marneuse qui date du pliocène (Miocène supérieur), surmonté par des dépôts quaternaires du Villafranchien composés de sable graveleux, sables fin argileux des limons plus ou moins sableux *(dess)* soit des sols noirs argileux *(tirs)* (Fig.5). **INGEMA, 1975 : Rapport géologique**

- . **Influence de la géologie sur l'allure de l'hydrogramme résultant**

Les roches peuvent absorber une certaine quantité des eaux de précipitation, pour la reconstituer sous forme d'écoulement hypodermique ou complètement comme recharge des nappes. L'infiltration est contrôlée tous d'abord par la nature des formations géologiques : les fissures ou diaclases des roches naturellement imperméables, les formations rocheuses altérées, Nouirate les formations sableuses et limoneuses favorisent l'infiltration. Mais étant donner que ces formation s reposent sur un substratum marneux généralement constitué des marnes bleues imperméables, on peut parler d'une infiltration superficielle.

## II.4. Couvert végétal

La connaissance de la couverture végétale est prépondérante lorsqu'il s'agit d'une étude hydrologique. L'analyse de la carte phytogéographique du Maroc (région du nord) permet une bonne connaissance de la distribution des différentes espèces végétales au niveau des versants la végétation dominante dans la plaine Gharb est constituée de plusieurs typologies différentes de couvert végétal le cèdre, le chêne liége, oléastre, doum et lentisques. Notre zone d'étude est caractérisée par la présence du chêne-liège dans la zone Sud et celle du Nord du bassin versant et la dominance de l'oléastre, le doum et le lentisque dans la partie centrale du bassin (Fig.6).

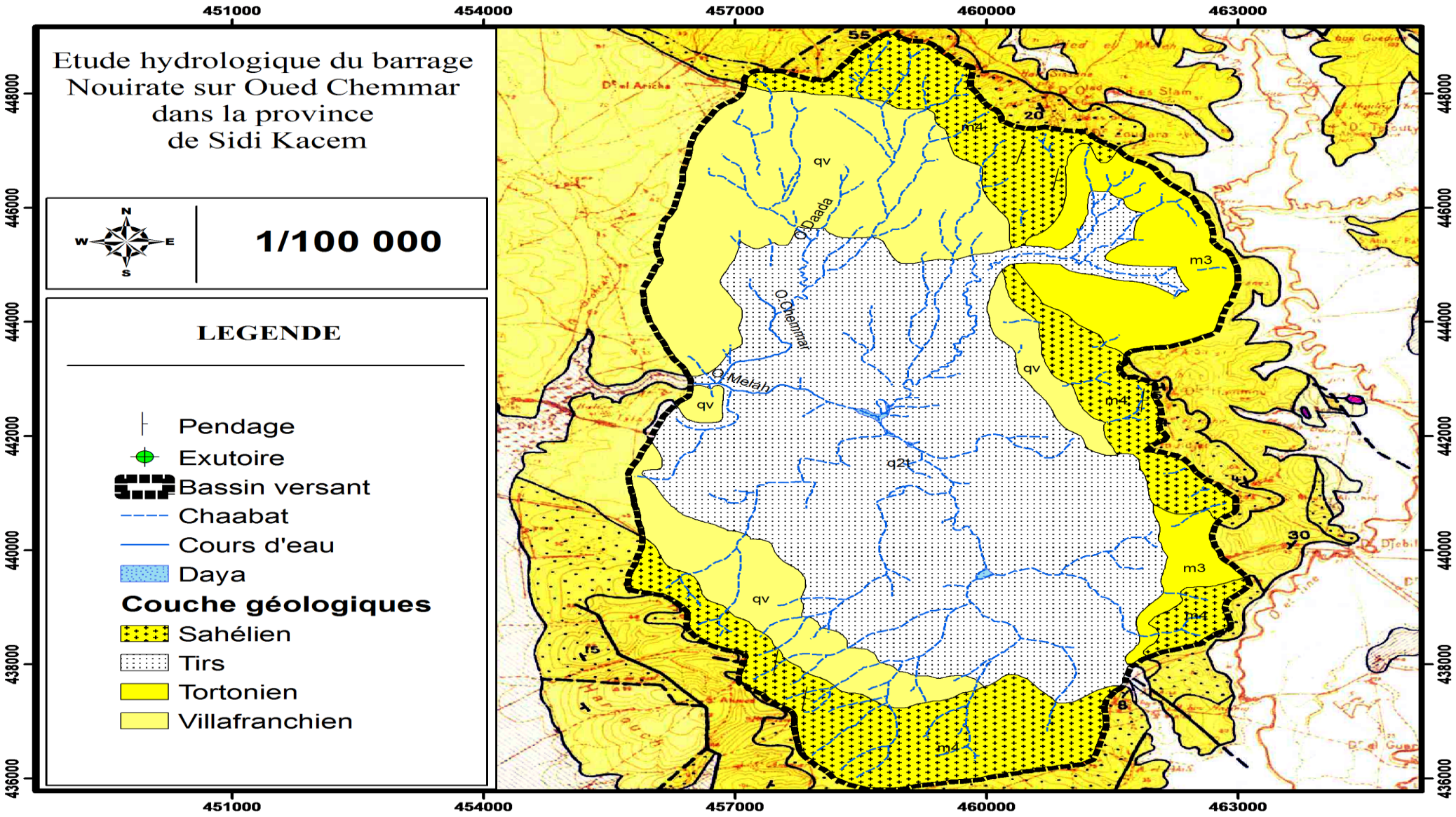



**Fig.5 : carte géologique du bassin de Nouirate**

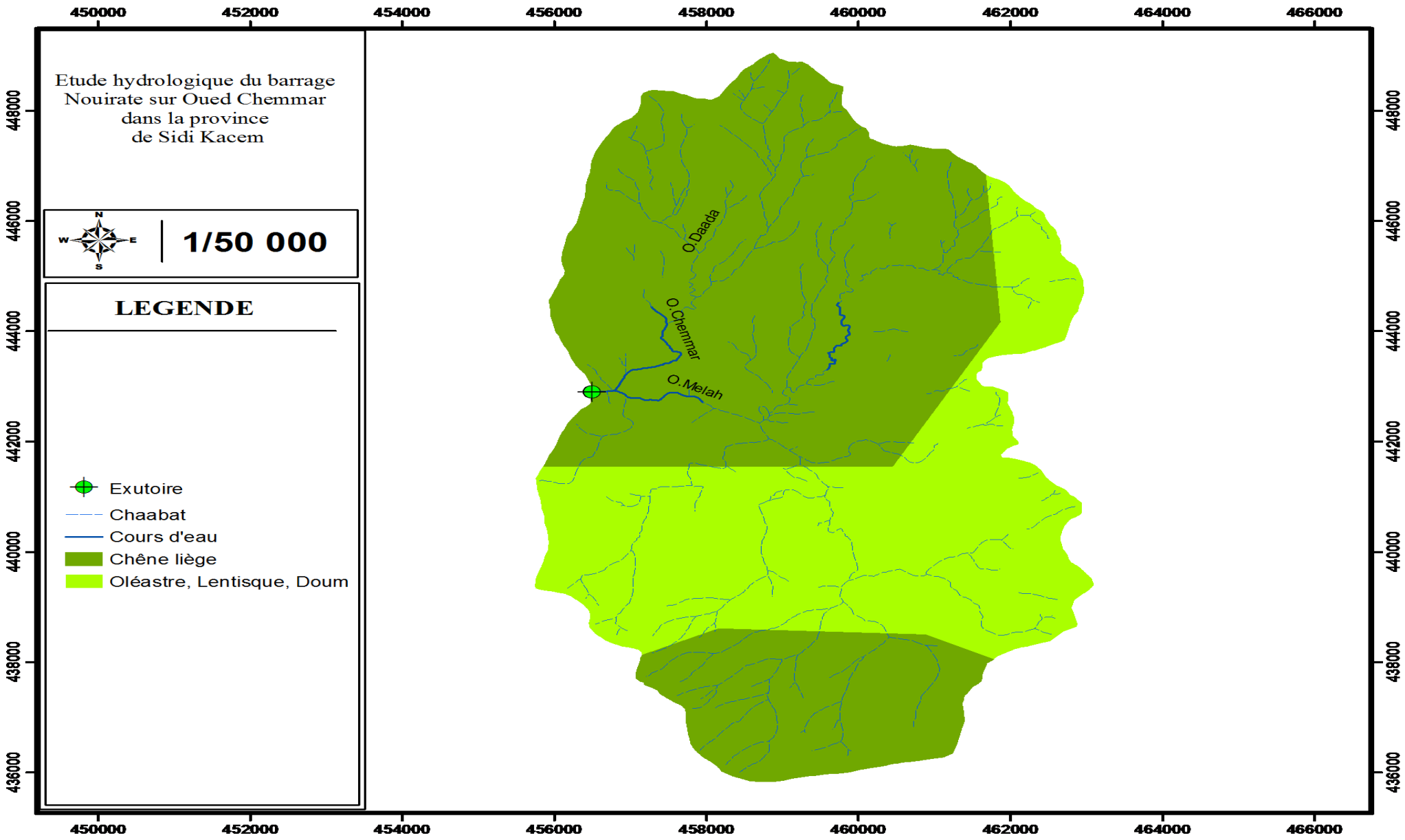



**Fig.6 : Carte du couvert végétal**

# Chapitre III :

# ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE

## III.1. Introduction

La connaissance des différents paramètres physiographiques constitue la première étape de toute analyse ultérieure d'un bassin versant. La géométrie, la pente, l'hypsométrie et d'autres paramètres constituent le contexte physique général d'un système géologique, hydrologique et hydrogéologique. C'est ainsi qu'il faut bien cerner ces différentes caractéristiques pour comprendre mieux l'aspect physique général du système

## III. 2. Caractéristiques de la forme du bassin versant

L'Oued Chemmar est une petite rivière de plaine longue de 10.37 Km. Il draine un bassin versant de 69.5 km² de superficie et de 37.7 Km de périmètre. L'exutoire, situé à une altitude de 10 m, alors le point le plus haut se trouve à 146 m.

La forme d'un bassin versant influence directement l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Il existe plusieurs indices morphologiques permettant de caractériser la forme d'un bassin versant. Parmi ceux-ci, on peut citre l'indice de Gravelius et celui de compacité de Horton.

- Indice de compacité de Gravelius

Il est défini par le rapport du périmètre du bassin versant (P) au périmètre du cercle ayant la même surface A.

$$Kg = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \times \frac{37.7}{\sqrt{69.5}} = 1.26$$

**P** : périmètre du bassin versant
**A** : surface du bassin versant

Dans le cas de l'Oued Chemmar, cet indice est légèrement supérieur à 1 (1,28), ce qui indique que le bassin versant du cours d'eau une forme légèrement allongée. Cette forme, en raison des temps plus longs d'acheminement de l'eau à l'exutoire, favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue. Ce phénomène est lié au de temps de concentration des eaux dans le lit du cours d'eau.

❖ Indice de compacité de Horton

Cet indice exprime le rapport de la largeur moyenne (A) du bassin versant à la longueur (L) du cours d'eau principal. Il est calculé de la manière suivante :

$$Kh = \frac{A}{L^2} = \frac{69.5}{107.54} = 0.65(1$$

Dans le cas du BV de l'Oued Chemmar, cet indice est ≤ 1 (0,65). Il confirme ainsi la forme allongée de ce bassin.

❖ Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent permet de comparer le comportement hydrologique de bassins ou de sous bassins différents. Il permet également de calculer certains indices de pente qui nécessitent la connaissance des dimensions de ce rectangle.
La notion du rectangle équivalent a été introduite par Roche. Il s'agit d'une transformation géométrique par laquelle on assimile le bassin à un rectangle ayant le même périmètre et la même superficie.

Les dimensions du rectangle équivalent se calculent par les formules suivantes :

$$Leq = \frac{Kg\sqrt{A}}{1.12}\left[1+\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{Kg}\right)^2}\right] = 13.82Km$$

$$leq = \frac{Kg\sqrt{A}}{1.12}\left[1-\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{Kg}\right)^2}\right] = 5.03Km$$

❖ Pentes du bassin et du cours d'eau

- **Pente du cours d'eau**

Il existe plusieurs façons pour décrire la pente du cours d'eau, parmi les plus utilisées on peut citer :

La pente Sc : $$Sc = \frac{\Delta Zc}{Lc} = \frac{100}{10370} = 0.01m/m = 1\%$$

La pente moyenne : $$Pmoy = \frac{2Hmoy(m)}{Lc(Km)} = \frac{2\times 58}{10.37} = 11.21m/Km$$

Avec :

$\Delta Z_C$ : Dénivellation entre les 2 points définissant la longueur Lc.

**Lc** : longueur du cours d'eau principal depuis l'exutoire jusqu'à la source.

**$H_{moy}$** : hauteur moyenne du profil en long du cours d'eau.

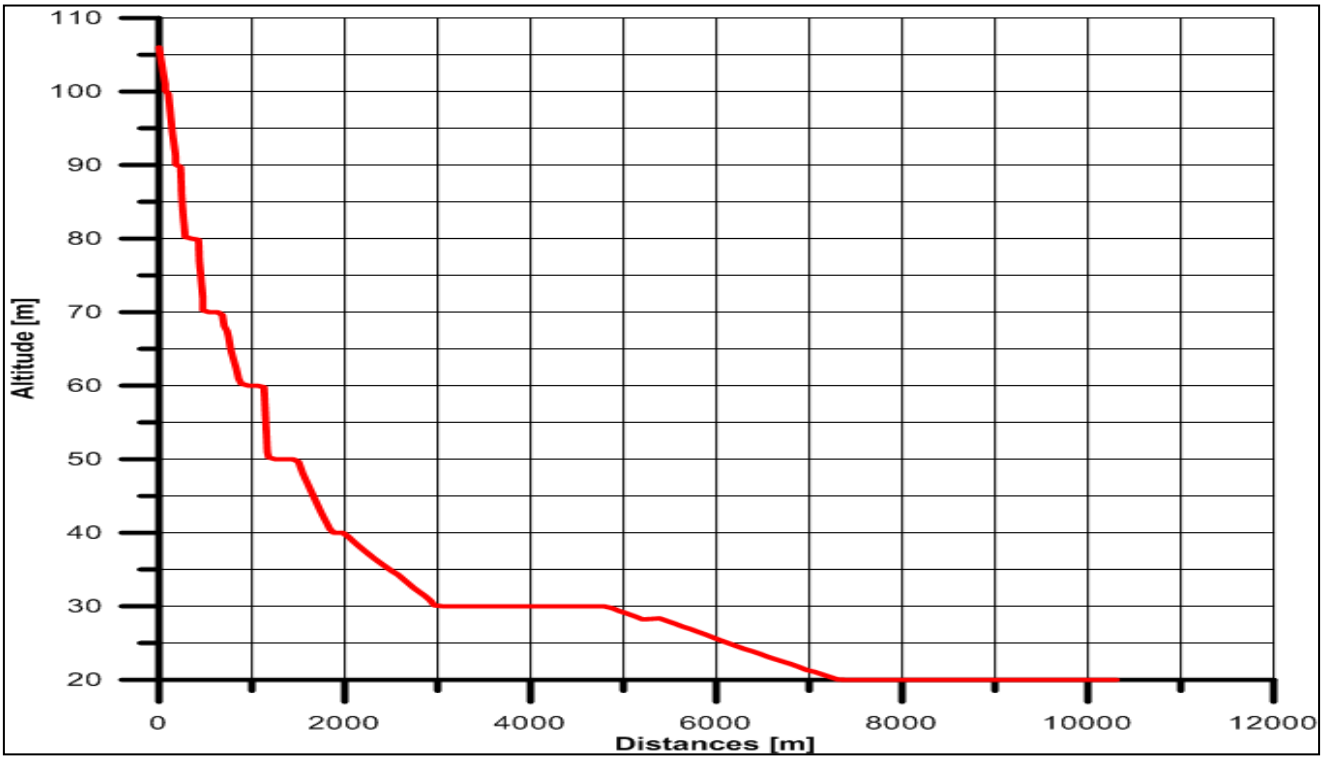



**Fig.7 : Profil en long du plus long Talweg**

D'après la figure 5, l'Oued de Chemmar a globalement un profil en long très raide. Le cours d'eau est encore jeune et n'a pas encore atteint son équilibre puisque sa partie médiane présente la forme d'une hyperbole.

- **Pentes du bassin versant**

Il existe plusieurs méthodes pour calculer la pente d'un bassin versant. Sa connaissance est d'une grande importance dans toute étude hydrologique et hydraulique. Il est évident que le ruissellement est d'autant plus important que la pente des versants est grande. C'est ainsi qu'en montagne on rencontre, pour une averse donnée, des crues plus importantes qu'en plaine où les pentes sont beaucoup plus faibles. C'est pour cela que le temps et l'amplitude du ruissellement dans le bassin sont très influencés par la répartition de la superficie en fonction du relief (voir courbe et carte hypsométrique).

Ainsi la pente moyenne est définie par :

$$Pmoy = \frac{2Hmoy(m)}{Lc(Km)} = \frac{2 \times 45}{10.37} = 8.68 m/Km$$

Avec :

**Alt moy** : est l'altitude moyenne du bassin versant
**Lc** : longueur du cours d'eau principal

En réalité cette formule ne donne qu'une valeur générale de la pente du bassin versant, c'est pour cela qu'il faut calculer d'autres indices de pente (comme l'Indice de pente globale, la densité de drainage ...) pour mieux caractériser le ruissellement dans notre bassin.

- **Indice de pente globale**

L'indice de Roche étant cependant trop long à évaluer pour des études rapides, on a proposé un indice encore plus simple : la pente globale... Ig = $\frac{D}{L}$

D étant la dénivelée h5 % - h95 %, définie sur la courbe hypsométrique ou même directement à l'œil sur la carte topographique ; L étant la longueur du rectangle équivalent.

$$Ig = \frac{D}{Leq} = \frac{H5\% - H95\%}{Leq} = \frac{90-25}{14040} = 0.005 m/m$$

- **Dénivelée spécifique Ds**

L'indice Ig décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes.

La dénivelée spécifique Ds ne présente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale Ig en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à $\sqrt{A}$ :

$D_s = Ig\sqrt{A} = \frac{D}{L}\sqrt{Ll} = D\sqrt{\frac{l}{L}}$

$$Ds = D\sqrt{\frac{leq}{Leq}} = (90-25)\times\sqrt{\frac{4.95}{14.04}} = 38.6$$

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie (D = H5% - H95 %) et de la forme du bassin (l/L). Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M., indépendante des surfaces des bassins :

| | | |
|---|---|---|
| R1 | Relief très faible | Ds < 10 m |
| R2 | Relief faible | 10 m < Ds < 25 m |
| **R3** | **Relief assez faible** | **25 m < Ds < 50 m** |
| R4 | Relief modéré | 50 m < Ds < 100 m |
| R5 | Relief fort | 100 m < Ds < 250 m |
| R6 | Relief assez fort | 250 m < Ds < 500 m |
| R7 | Relief très fort | 500 m < Ds |

D'après le tableau on déduit qu'il s'agit d'un bassin versant de relief assez faible (Ds = 38.6).

- **la courbe hypsométrique**

La courbe hypsométrique est une représentation des tranches d'altitudes en fonction de la surface cumulée. Elle permet de donner une idée sur les altitudes caractéristiques du bassin versant (altitude moyenne, médiane…) facilement par une simple projection, et aussi renseigne sur l'état de maturité du bassin versant pour le bassin versant de l'Oued Chemmar (Fig. 8)

- **Caractéristiques du relief**

La connaissance du relief est primordiale pur les études hydrologiques et la modélisation hydraulique. Pour cette raison on a illustré différentes représentations du relief.

❖ Modèle numérique de terrain

La connaissance du model numérique de terrain est un élément important pour une compréhension facile du contexte topographique et géomorphologique général de la région. Le relief est en effet l'un des critères conditionnant l'installation des phénomènes hydrologiques, climatologiques et géomorphologiques. La restitution de la troisième composante spatiale (Z) facilite la lecture des informations topographiques et permet une exploitation facile des données (Fig. 9).

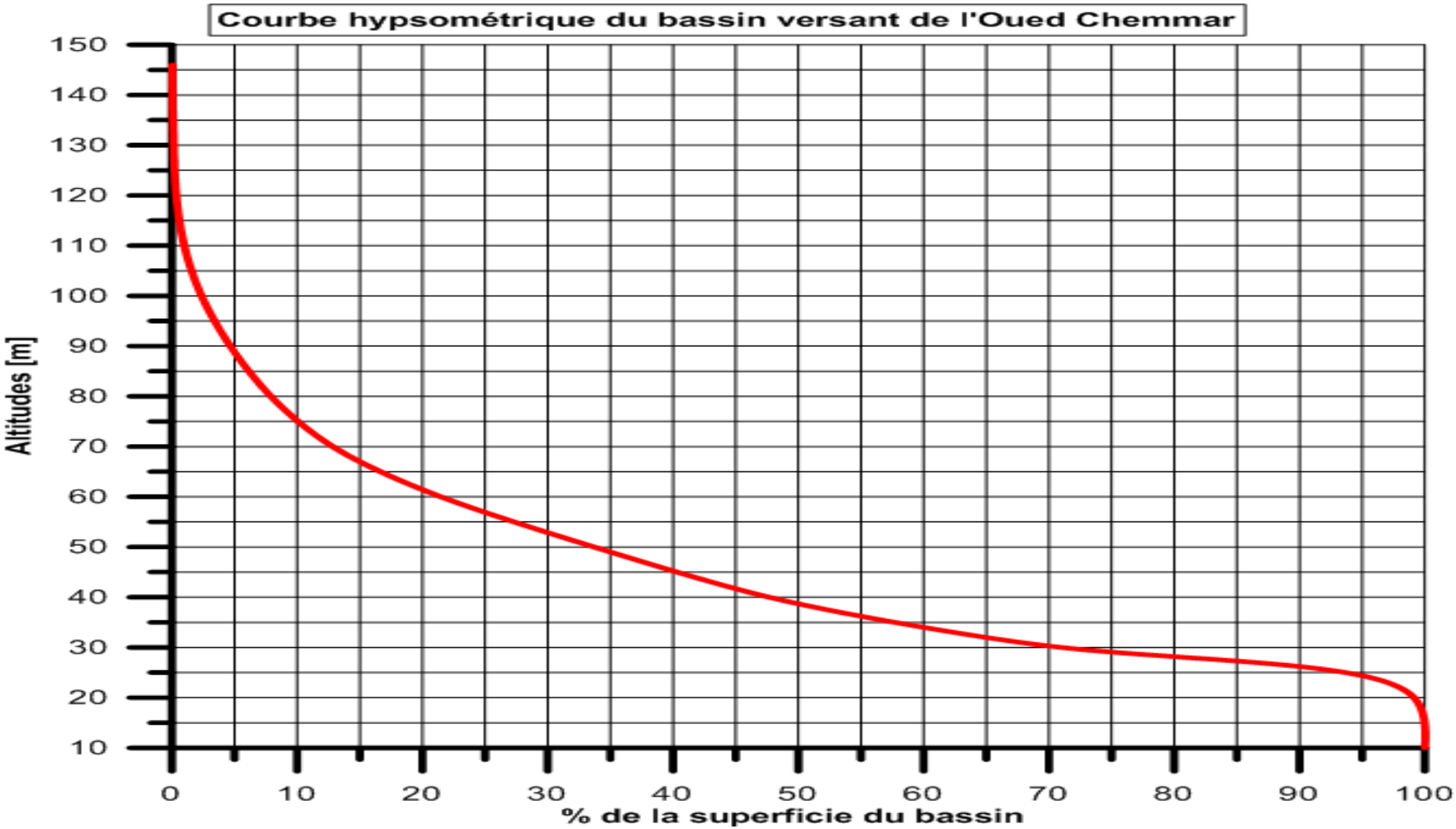



**Fig. 8 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Chemmar**

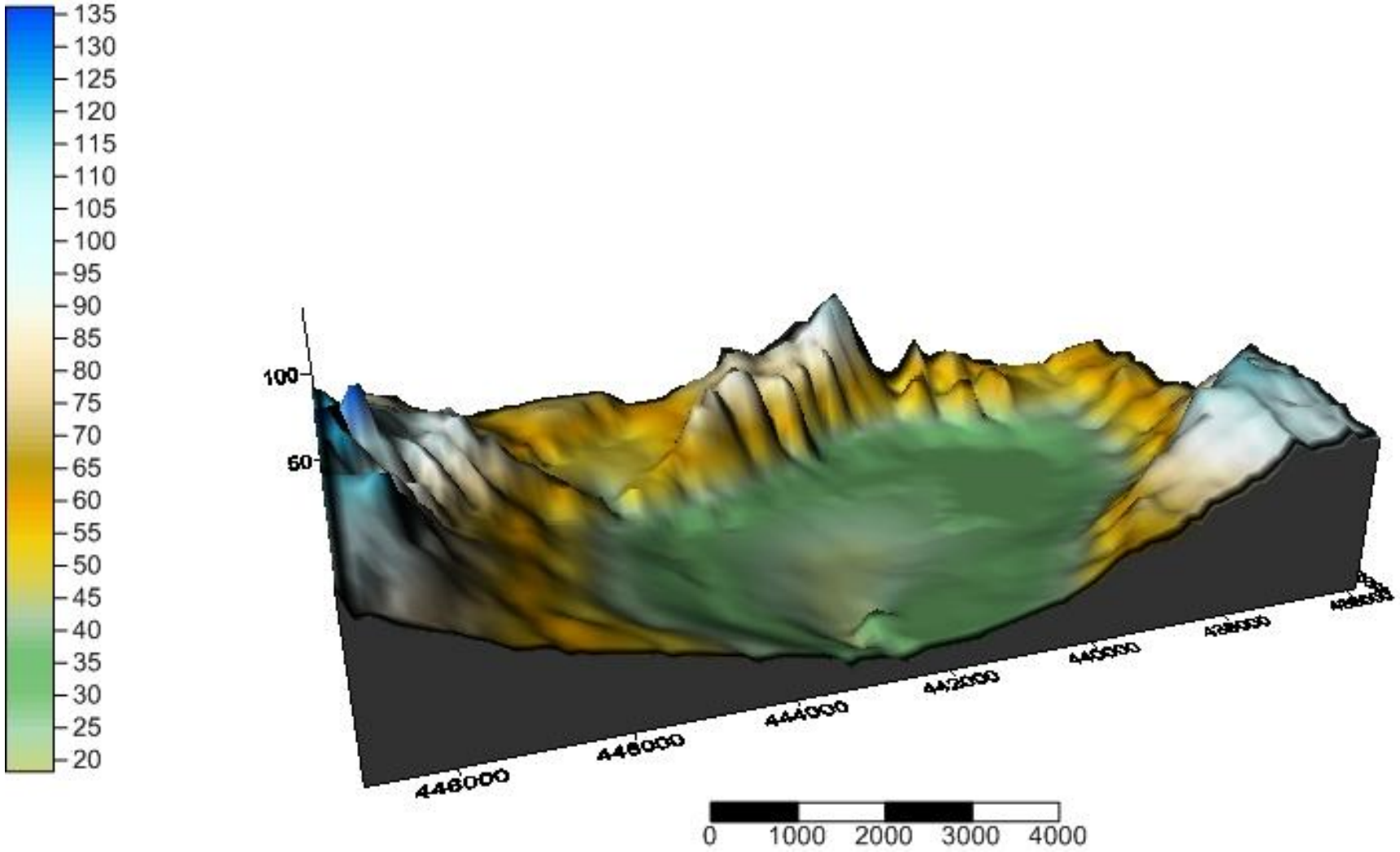



**Fig. 9 : Modèle numérique de terrain du bassin versant de l'Oued Chemmar**

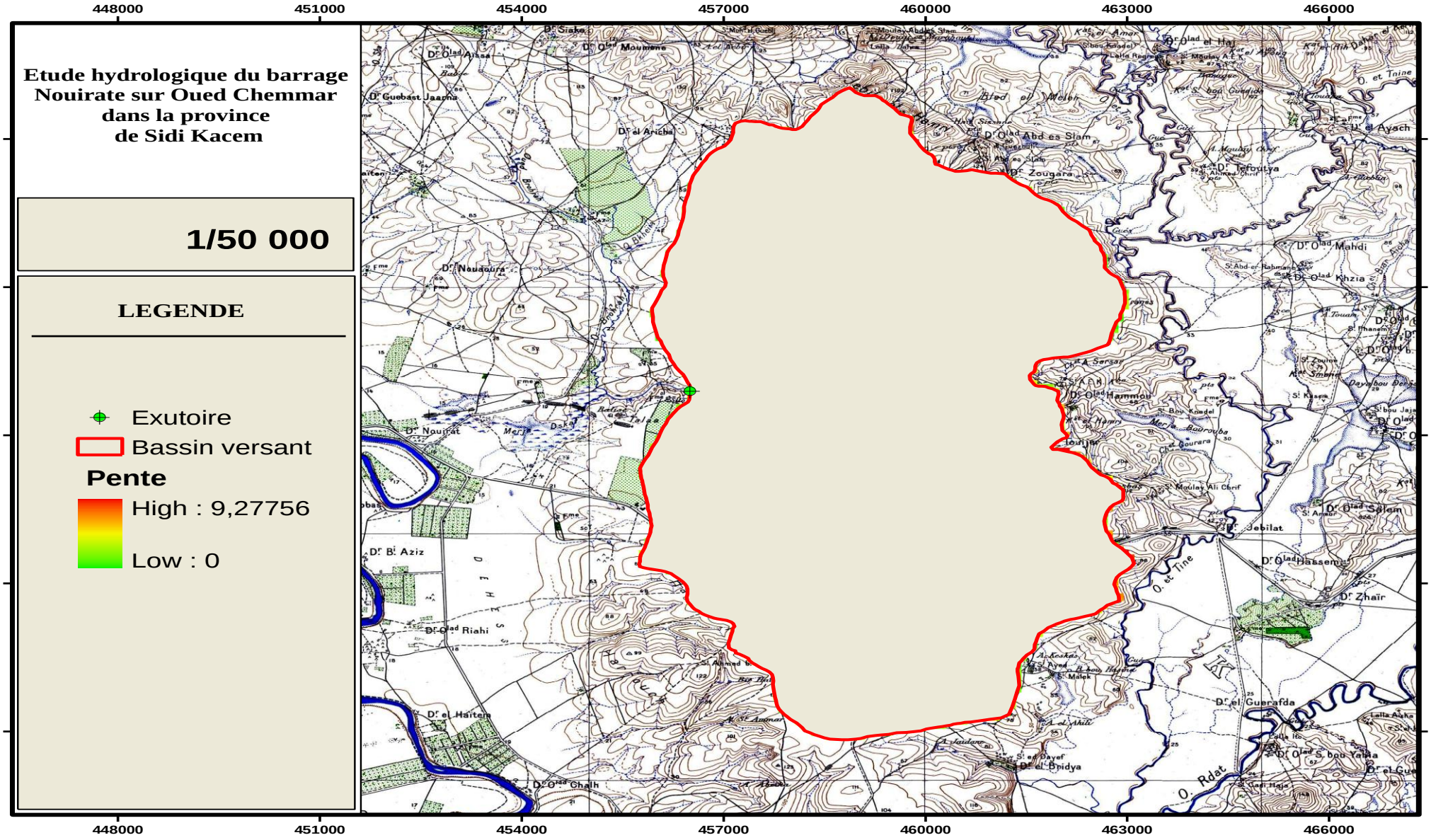



**Fig. 10 : Carte de pente du bassin versant de l'Oued Chemmar**

## III.3. Résultats de l'étude géomorphométrique du bassin versant de Nouirate

L'établissement d'une base de données SIG s'est avéré trés utile, afin de mieux cerner les caractéristiques conditionnant la réponse hydrographique du bassin versant et dont les cartes et résultats seront détaillées dans cette partie de l'étude.

- Géométrie du bassin versant

Etant donné que le bassin de Nouirate s'étend sur une superficie de 69.5 Km2 avec une forme ramassée (KG=1.26), la réponse à la crue sera évidemment caractérisée par un temps de concentration moyen et un débit de pointe relativement important ceci en se basant uniquement sur la géométrie du bassin.

**Tableau 3. Caractéristiques géométriques du bassin versant**

| | |
|---|---|
| **Surface ($Km^2$)** | **69.5** |
| **Périmètre (Km)** | **37.7** |
| **Longueur du plus long talweg (Km)** | **10.37** |
| **Indice de Gravelius (KG)** | **1.28** |
| **Longueur équivalent Léq (Km)** | **14.04** |
| **Largeur équivalent léq (Km)** | **4.95** |
| **Pente Moyenne** | **1.31** |

- Hypsométrie du bassin versant

La courbe hypsométrique traduisent la répartition des altitudes à l'intérieur du bassin versant et permettent, en outre, de déterminer les altitudes caractéristiques suivantes :

* Altitude moyenne : c'est l'abscisse moyenne de la courbe hypsométrique. Alt.moy = (alt.max + alt.min)/2, ou aussi par la méthode pondérale

* Altitude la plus fréquente : c'est le maximum de la courbe des fréquences altimétriques ou aussi c'est l'altitude de la plus grande surface élémentaire comprise entre deux courbes de niveau successives.

* Altitude de fréquence ½ : c'est l'altitude correspondant au point d'ordonnée 50% de la courbe hypsométrique.

**Tableau 4. Altitude caractéristique du bassin versant**

| | |
|---|---|
| **Altitude moyenne (m)** | **45** |
| **Altitude la plus fréquente (m)** | **20** |
| **Altitude médiane (m)** | **48** |
| **Altitude maximale (m)** | **146** |
| **Altitude minimale (m)** | **10** |
| **Altitude 5%** | **90** |
| **Altitude 95%** | **25** |

L'allure de la courbe hypsométrique renseigne sur l'état de maturité du bassin versant pour le bassin de Nouirate elle est de forme adoucis ce qui indique vieux bassin ; de point de vue structurale présentent, une plaine douce près d'un cours d'eau où l'altitude varie très peu malgré une superficie importante et que seul l'érosion hydrique est prépondérant et n'affecte que la partie superficielle du sol. D'autre part les altitudes sont peu modérées, variant de 22 à 98 mètres. On remarque également que la superficie est relativement importante par rapport au changement d'altitude initiale mis à part certains reliefs localisés à l'amont et aux bordures du bassin.

- La carte hypsométrique

A partir de la carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Chemmar, on constate que les altitudes les plus importantes se trouvent au Nord et au sud du bassin versant alors que les faibles altitudes se situent au niveau de la partie Centrale du bassin (Fig. 8).

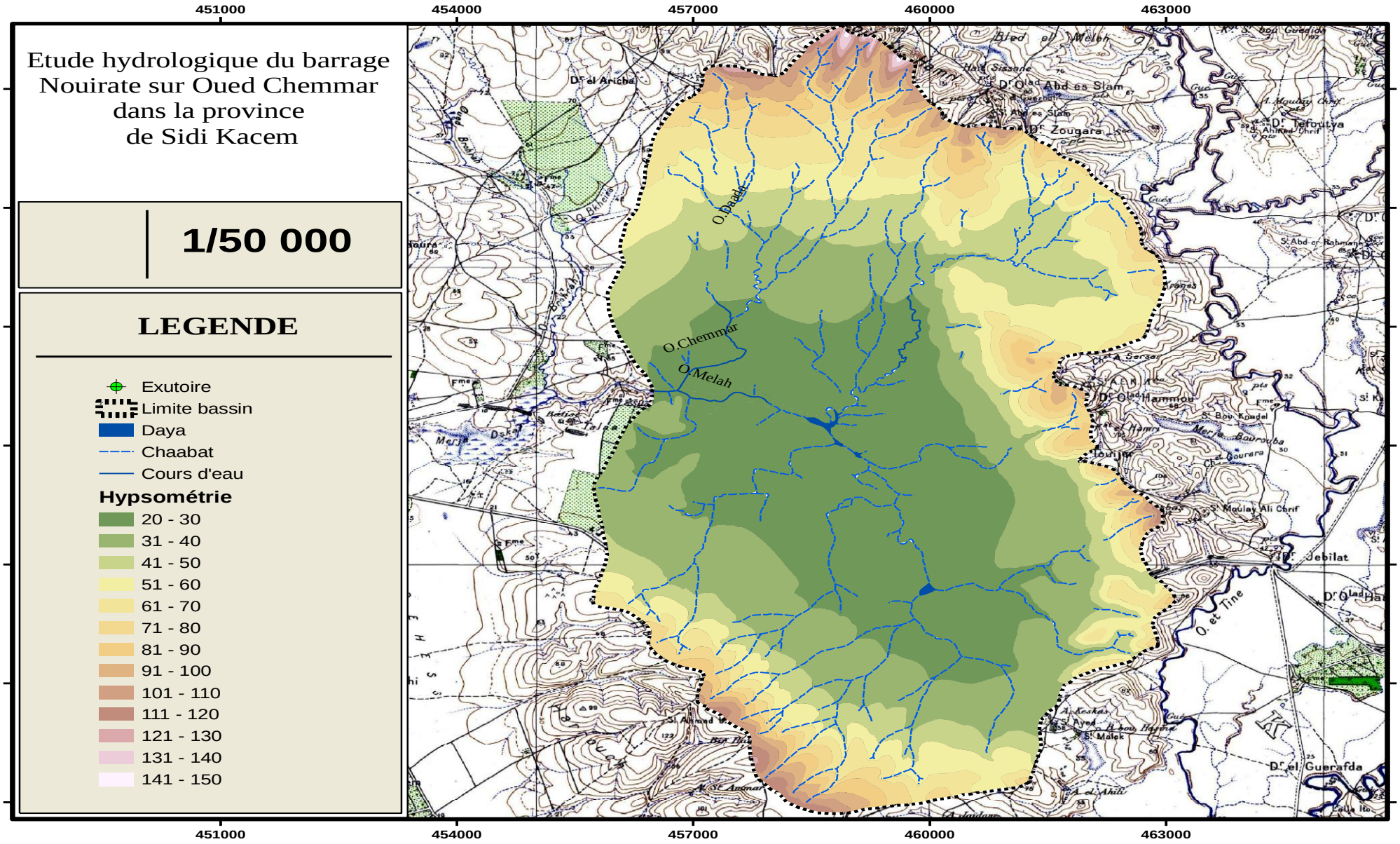



**Fig. 11 : Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Chemmar**

# Chapitre IV :

# Elaboration des séries des apports

## IV.1. Méthodologie

La détermination des séries des apports mensuelles et annuelles au site du barrage de Nouirate a pour objectif d'évaluer les ressources en eau disponible, en se basant sur la série des débits mensuelles de la station de Had Kourt s'étalant de 1966-2009 ainsi que celle du site Al Wahda.

A fin de compléter les lacunes de données de série de Had Kourt on a effectué une corrélation entre la série des apports de Had Kourt et celle du site Al Wahda, ceci pour déterminer un coefficient de corrélation pour faire une transposition par rapport de pluie et de surface de cette série du site Al Wahda au bassin de Had Kourt. Enfin on a une série générée s'étalant sr une période de 1966 à 2009. La comparaison entre les deux séries a aboutit a un coefficient de corrélation égale à 0,89 (Fig.12).

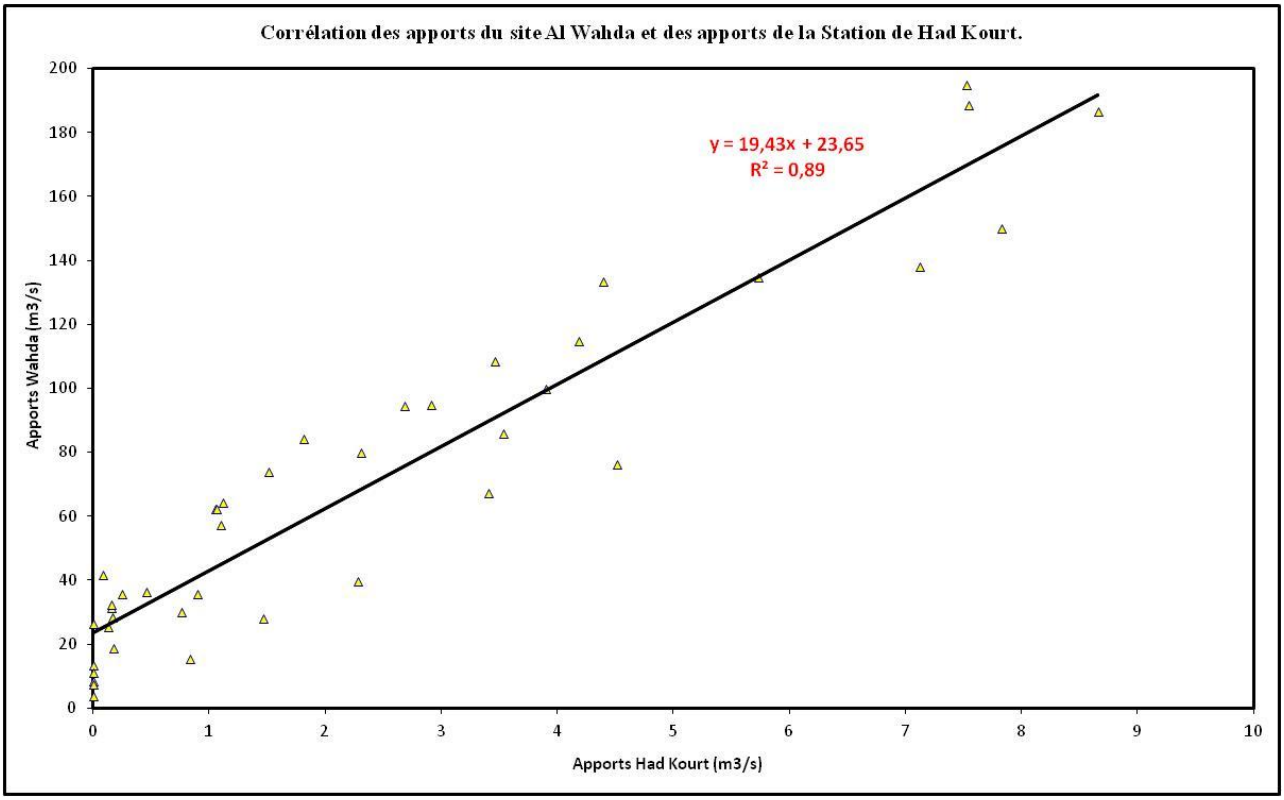



**Fig.12 : Corrélation des apports du site Al Wahda et des apports de la Station de Had Kourt.**

Après avoir déterminé la série des débits mensuels de la station de Had Kourt on passe à l'élaboration de la série des apports du site de Nouirate qui s'étant sur une superficie de S = 69,5 Km². Ceci est fait par une transposition des débits de la station de Had Kourt s'étalant sur une superficie de S = 673 Km², par rapport de surface et pluie afin de déterminer

un ratio de transformation. La transposition se fait en multipliant les débits de la station de Had Kourt par ce ratio, et par la suite on obtient une série des débits du site de Nouirate.

La formule utilisée pour le calcul des débits au site de Nouirate est la suivante :

Avec:

$$Q_{Nouirate} = Q_{Had\ Kourt} * \left( \frac{S_{Nouirate}}{S_{Had\ Kourt}} \right)$$

**Q**: Débit mensuel;

**S**: Surface du basin versant;

**Pan**: pluie moyenne annuelle.

Le tableau ci-dessous présente les paramètres de transposition:

**Tableau 5 : calcul du ratio de transformation**

| BV | Surface (Km²) | Pan (mm) |
|---|---|---|
| **Nouirate** | 69,5 | 508,21 |
| **Had Kourt** | 673 | 530 |
| **Ration Nouirate /Had Kourt** | 0,10 | 0,96 |
| **Ratio de transformation** | **0,10** | |

La transposition donne une série dont les caractéristiques sont:

- Apport moyen annuel : 9,01 $Mm^3$
- Maximum : 54,48 $Mm^3$ en 2009
- Minimum : 0 $Mm^3$

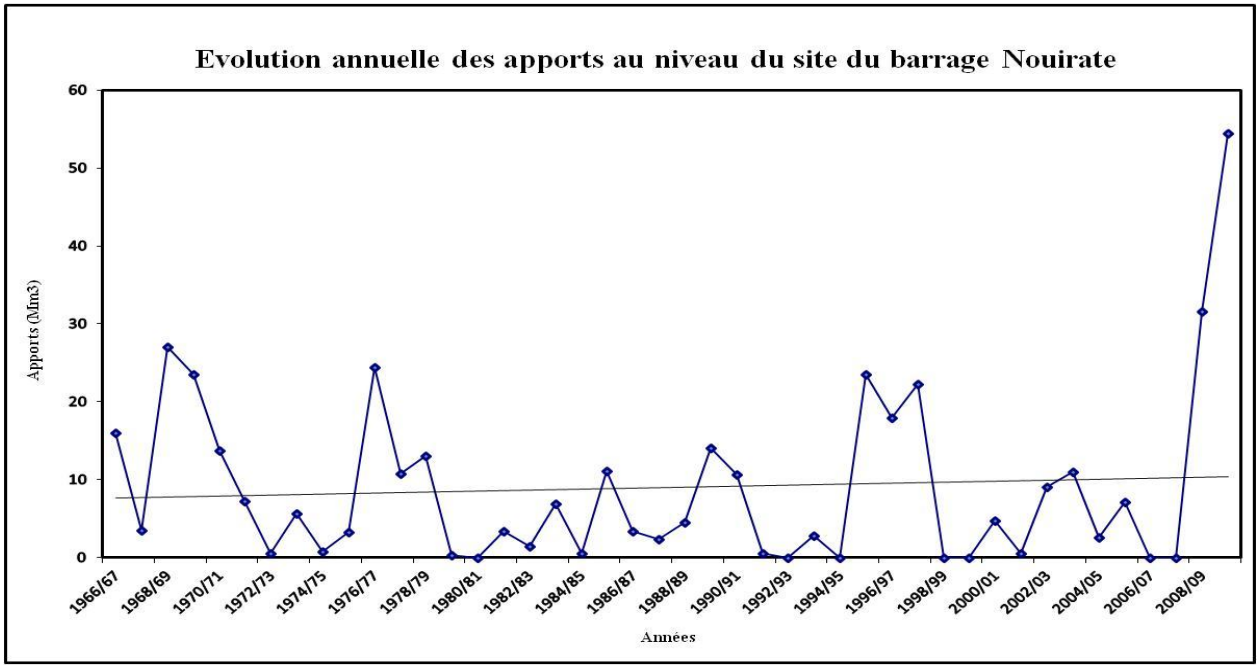



**Fig 13 :Evolution annuelle des apports au niveau du Site du barrage Nouirate**

En ajoutant une courbe de tendance au graphe de l'évolution des apports du site de Nouirate en constate une tendance évolutive légèrement ascendante des apports du site. La série des apports du barrage de Nouirate est consignée dans le tableau suivant :

**Tableau 6 : Série des apports au site de Nouirate [$Mm^3$]**

| Année | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juil | Août | [$Mm^3$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1966/67** | 0,34 | 4,13 | 5,39 | 2,11 | 3,75 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **15,97** |
| **1967/68** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,92 | 1,33 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **3,50** |
| **1968/69** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,18 | 5,57 | 9,34 | 6,37 | 2,05 | 0,27 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | **27,04** |
| **1969/70** | 0,00 | 0,00 | 0,26 | 2,65 | 18,30 | 0,72 | 0,53 | 0,77 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **23,49** |
| **1970/71** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,86 | 0,48 | 1,86 | 7,70 | 1,59 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | **13,74** |
| **1971/72** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,33 | 1,92 | 3,45 | 0,26 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **7,21** |
| **1972/73** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,27 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,50** |
| **1973/74** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,06 | 0,00 | 0,48 | 0,27 | 3,34 | 0,53 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **5,67** |
| **1974/75** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,53 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,79** |
| **1975/76** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,27 | 0,00 | 1,20 | 0,27 | 0,51 | 1,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **3,30** |
| **1976/77** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4,77 | 12,20 | 6,95 | 0,53 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **24,45** |
| **1977/78** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,53 | 1,06 | 2,16 | 1,86 | 2,57 | 2,12 | 0,51 | 0,00 | 0,00 | **10,81** |
| **1978/79** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,33 | 9,10 | 2,12 | 0,51 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **13,06** |
| **1979/80** | 0,00 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,27** |
| **1980/81** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,00** |
| **1981/82** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,27 | 1,06 | 0,72 | 0,00 | 1,28 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **3,33** |
| **1982/83** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,44 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **1,44** |
| **1983/84** | 0,02 | 0,02 | 0,51 | 5,30 | 0,00 | 0,00 | 0,27 | 0,00 | 0,80 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **6,92** |
| **1984/85** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,27 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,50** |
| **1985/86** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,06 | 7,91 | 1,59 | 0,51 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **11,07** |
| **1986/87** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,53 | 2,64 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **3,43** |
| **1987/88** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,27 | 1,86 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **2,36** |
| **1988/89** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,20 | 0,80 | 1,80 | 0,53 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | **4,58** |
| **1989/90** | 0,00 | 0,00 | 0,77 | 5,30 | 2,39 | 1,20 | 1,06 | 1,03 | 1,06 | 0,77 | 0,53 | 0,00 | **14,11** |
| **1990/91** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,59 | 0,00 | 1,68 | 5,04 | 1,28 | 1,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **10,65** |
| **1991/92** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,51 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,51** |
| **1992/93** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,00** |
| **1993/94** | 0,00 | 0,00 | 0,51 | 0,00 | 0,53 | 0,72 | 0,80 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **2,81** |
| **1994/95** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,00** |
| **1995/96** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,80 | 14,32 | 2,64 | 2,39 | 0,51 | 2,12 | 0,51 | 0,27 | 0,00 | **23,55** |
| **1996/97** | 0,26 | 0,27 | 0,51 | 7,16 | 7,43 | 0,96 | 0,53 | 0,51 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **17,89** |
| **1997/98** | 0,00 | 0,27 | 2,82 | 7,43 | 1,59 | 9,34 | 0,53 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **22,24** |
| **1998/99** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,00** |
| **1999/00** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,00** |
| **2000/01** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,33 | 2,65 | 0,48 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **4,72** |
| **2001/02** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,51 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,51** |
| **2002/03** | 0,00 | 0,00 | 3,34 | 0,53 | 2,65 | 0,48 | 1,33 | 0,51 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **9,10** |
| **2003/04** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,18 | 0,27 | 0,24 | 0,53 | 1,03 | 4,77 | 0,77 | 0,27 | 0,00 | **11,05** |
| **2004/05** | 0,00 | 0,00 | 0,51 | 0,53 | 0,53 | 0,24 | 0,80 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **2,61** |
| **2005/06** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,27 | 2,40 | 3,18 | 1,03 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **7,14** |
| **2006/07** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,00** |
| **2007/08** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,00** |
| **2008/09** | 0,26 | 0,53 | 1,28 | 5,57 | 6,90 | 11,50 | 3,18 | 1,03 | 0,53 | 0,26 | 0,27 | 0,27 | **31,56** |
| **2009/10** | 0,26 | 0,27 | 0,26 | 5,57 | 16,71 | 15,57 | 13,00 | 1,54 | 0,53 | 0,26 | 0,27 | 0,27 | **54,48** |

### IV.2. Validation de la série des apports au site de Nouirate

Pour valider la série des apports élaborée pour le site de Nouirate, on établie un simple et un double cumul entre le site du barrage de Nouirate et le site du barrage Al Wahda (Fig.15).

Le tableau suivant donne les modules annuels adoptés :

**Tableau 7 : modules annuels adoptés**

| Année | Module Nouirate | Cumul Nouirate | Module Al Wahda | Cumul Al Wahda |
|---|---|---|---|---|
| **1966/67** | 0,51 | 0,51 | 25,30 | 25,30 |
| **1967/68** | 0,12 | 0,63 | 64,08 | 89,39 |
| **1968/69** | 0,88 | 1,51 | 186,64 | 276,03 |
| **1969/70** | 0,74 | 2,25 | 194,76 | 470,79 |
| **1970/71** | 0,44 | 2,69 | 133,46 | 604,25 |
| **1971/72** | 0,23 | 2,93 | 80,02 | 684,27 |
| **1972/73** | 0,02 | 2,94 | 31,40 | 715,67 |
| **1973/74** | 0,18 | 3,13 | 84,18 | 799,85 |
| **1974/75** | 0,03 | 3,15 | 35,74 | 835,59 |
| **1975/76** | 0,11 | 3,26 | 62,37 | 897,96 |
| **1976/77** | 0,79 | 4,05 | 150,16 | 1048,12 |
| **1977/78** | 0,35 | 4,40 | 108,61 | 1156,73 |
| **1978/79** | 0,44 | 4,84 | 114,71 | 1271,44 |
| **1979/80** | 0,01 | 4,85 | 41,59 | 1313,04 |
| **1980/81** | 0,00 | 4,85 | 26,34 | 1339,38 |
| **1981/82** | 0,11 | 4,96 | 62,14 | 1401,52 |
| **1982/83** | 0,05 | 5,01 | 36,28 | 1437,80 |
| **1983/84** | 0,22 | 5,23 | 94,58 | 1532,38 |
| **1984/85** | 0,02 | 5,24 | 32,20 | 1564,58 |
| **1985/86** | 0,38 | 5,62 | 99,77 | 1664,35 |
| **1986/87** | 0,12 | 5,73 | 57,12 | 1721,47 |
| **1987/88** | 0,08 | 5,81 | 29,89 | 1751,36 |
| **1988/89** | 0,15 | 5,96 | 27,98 | 1779,34 |
| **1989/90** | 0,45 | 6,41 | 76,24 | 1855,58 |
| **1990/91** | 0,34 | 6,75 | 67,36 | 1922,94 |
| **1991/92** | 0,02 | 6,77 | 18,81 | 1941,74 |
| **1992/93** | 0,00 | 6,77 | 8,38 | 1950,12 |
| **1993/94** | 0,09 | 6,86 | 35,66 | 1985,78 |
| **1994/95** | 0,00 | 6,86 | 3,68 | 1989,46 |
| **1995/96** | 0,75 | 7,61 | 188,40 | 2177,86 |
| **1996/97** | 0,57 | 8,18 | 134,65 | 2312,51 |
| **1997/98** | 0,73 | 8,91 | 138,11 | 2450,62 |
| **1998/99** | 0,00 | 8,91 | 7,34 | 2457,96 |
| **1999/00** | 0,00 | 8,91 | 13,32 | 2471,27 |
| **2000/01** | 0,15 | 9,06 | 73,91 | 2545,18 |
| **2001/02** | 0,02 | 9,08 | 28,26 | 2573,44 |
| **2002/03** | 0,29 | 9,37 | 94,72 | 2668,16 |
| **2003/04** | 0,35 | 9,72 | 85,71 | 2753,87 |
| **2004/05** | 0,08 | 9,80 | 15,44 | 2769,30 |
| **2005/06** | 0,23 | 10,03 | 39,76 | 2809,07 |
| **2006/07** | 0,00 | 10,03 | 10,97 | 2820,03 |

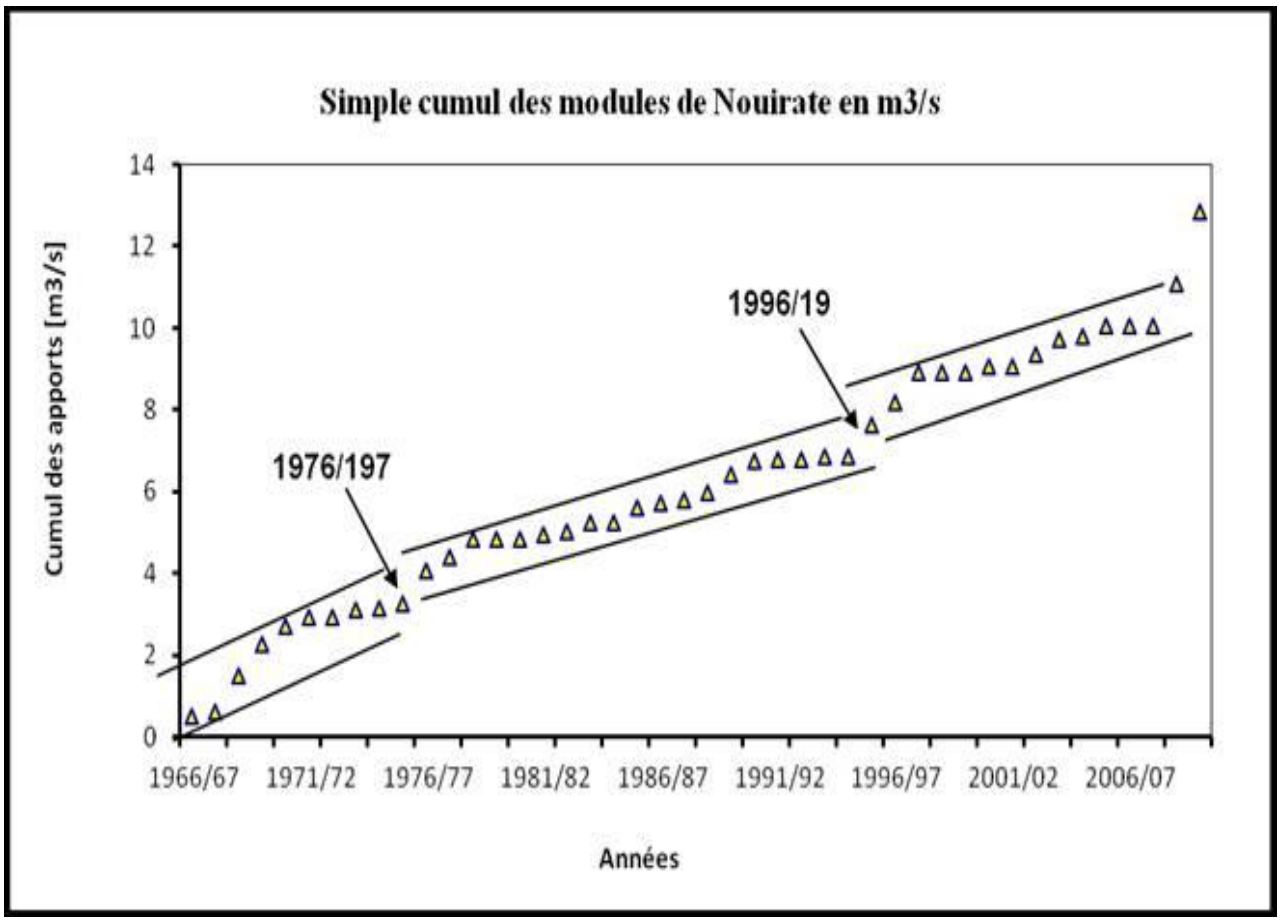



**Fig.14 : Simple cumul des modules de Nouirate en $m^3/s$**

L'analyse en simple cumul montre l'existence de trois pérdiodes distincts :

- Une période allant de 1966 à 1976 ;
- Une période allant de 1976 à 1996 ;
- Une période allant de 1996 à 2008.

Pour valider la série, on a fait un double cumul entre la série du barrage de Nouirate et la série du barrage Al Wahda, afin de faire une comparaison et en déduire la corrélation entre les deux sites, on voit bien qu'il y a une bonne corrélation avec un coefficient de Corrélation égal à 0,98 entre les deux séries come le montre la figure suivante :

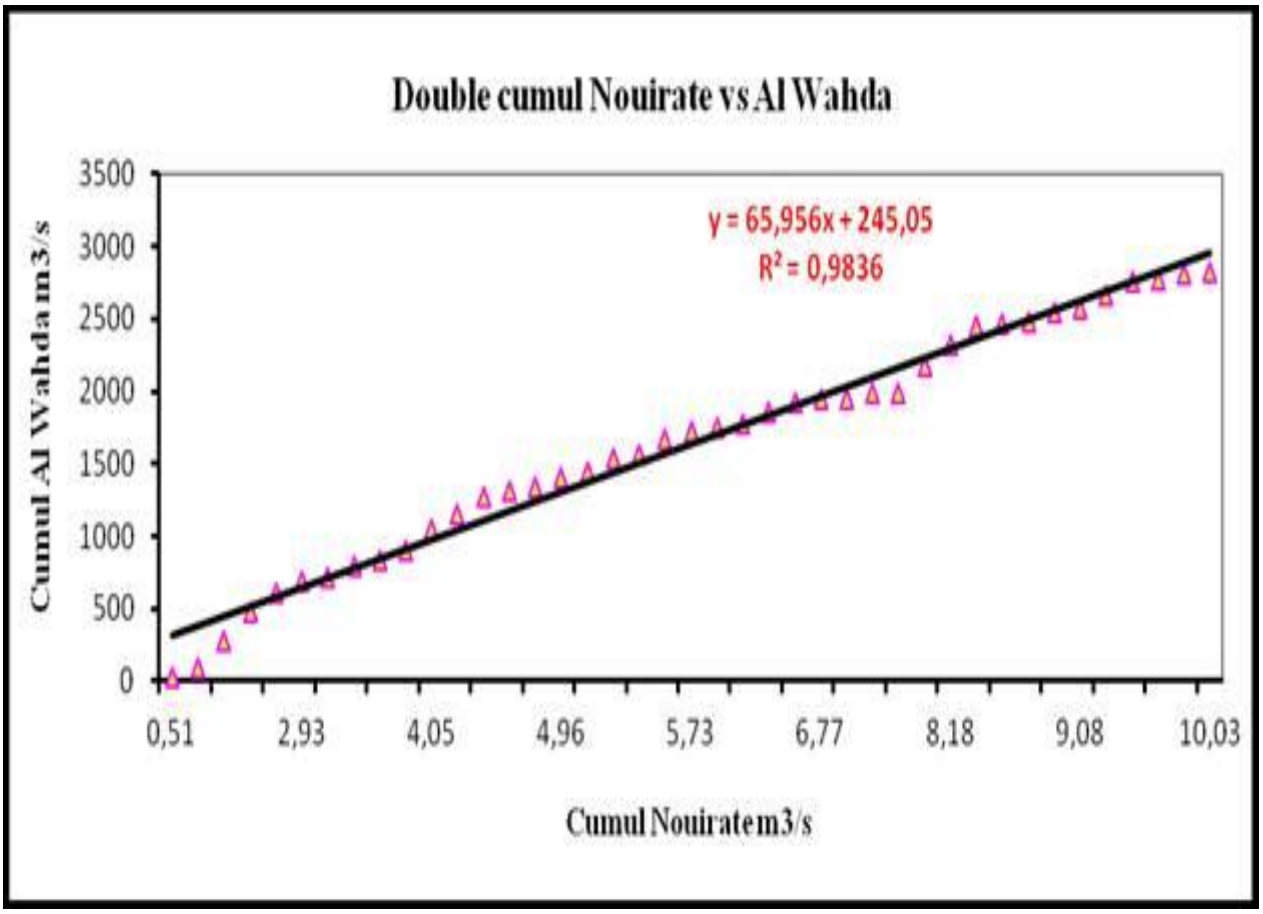



**Fig.15 : Double cumul Nouirate vs Al Wahda**

# Chapitre V :

# Etude des crues

## INTRODUCTION

À l'heure actuelle, la plupart des prévisions de crues des rivières sont faites au moyen d'une méthode en deux étapes. Tout d'abord, un calcul de la propagation des crues est effectué, normalement à l'aide de modèles hydrologiques. Les débits de pointe de crue qui en résultent sont ensuite convertis en des prévisions de niveau d'eau à l'aide d'un modèle hydraulique à écoulement permanent (**Musy 1998**).

L'évaluation des risques de crues extrêmes a toujours été un problème important pour l'aménagement d'un pays, en raison de la concentration des activités humaines et des grandes voies de circulation dans les vallées.

L'objectif de l'étude hydrologique est de reconnaître les « crues de projet » par les aspects du débit de pointe et de l'hydrogramme de crue. Pour l'étude des crues, nous utiliserons la méthode du Gradex.
C'est la méthode de référence pour les bassins versant des zones de reliefs est utilisée dans de nombreux pays . Cette méthode est choisit afin d'atteindre deux sous-objectifs :

- estimer les débits de pointe (Qp) à l'exutoire du bassin versant étudié, pour des périodes de retour allant de 10 à 1000 ans ;
- déterminer la forme de l'hydrogramme des crues et estimer les volumes de crues.

### ❖ Notion de période de retour

Il est de coutume d'associer à chaque risque d'un événement donné une probabilité d'apparition de cet événement en tenant compte de la vulnérabilité du milieu à ce risque.

Une crue de débit maximum QT et de période de retour T ans signifie qu'on a une probabilité P égale à $1-\frac{1}{T}$ que le débit ne dépasse pas la valeur de QT.

Soit une variable aléatoire « i » (pluies, débit…), alors la fréquence de non dépassement est $F(x_i)=P(i \le x_i)$ et la fréquence d'apparition est $1-F(x_i)=1-P(i \le x_i)$. Donc $F(x_i)=1-\frac{1}{T}$.

Cependant une crue de période de retour T=100 ans ne veut pas dire qu'elle survient 1 fois tous les 100 ans mais que cette crue a 1% de chance d'arriver chaque année pendant 100 ans.

### ❖ Ajustement statistique

L'ajustement statistique ou l'analyse fréquentielle est une méthode qui permet de prédire et d'évaluer le risque pluviométrique et le risque hydrologique associé.

Généralement la prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel ou bien d'une loi de probabilité, qui est une équation décrivent le comportement statistique d'un processus. la validité des résultats d'une analyse fréquentielle dépend du choix de la loi et plus particulièrement de son type.

Plusieurs lois existent la plus courant dans l'analyse des événements hydrologiques extrêmes est la loi de Gumbel; c'est une loi qui permet de prévoir des fréquences d'apparitions des valeurs extrêmes (maximums ou minimums) d'un phénomène de nature continue et qui s'écartent parfois considérablement de leurs limites normales de variation comme les précipitations et les débits ( **Musy 1998**).

On signale ici que la fonction de répartition de la loi de Gumbel s'exprime de la manière suivante :

$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right]$ Si on considère la variable suivante $u = \frac{x-a}{b}$ , alors la distribution s'écrit comme suit :

Avec : **a** et **b** les paramètres de la variable de Gumbel à déterminer

$F(x) = \exp\left[-\exp(-u)\right]$ et $u = -\ln\left(-\ln\left(F(x)\right)\right)$ ; u étant la variable de Gumbell.

Il s'agit donc essentiellement d'estimer la probabilité de non dépassement $F(x_i)$ qu'il convient d'attribuer à chaque valeur $x_i$ . Il existe plusieurs formules d'estimation de la fonction de répartition $\hat{F}(x)$ . Dans le présent travail nous allons utiliser la distribution empirique de Hazen définit par $\frac{r-0.5}{n}$ où r est le rang et n la taille de l'échantillon.

Il suffit donc de déterminer les valeurs numériques de **a** et $\mathbf{x_0}$ lorsqu'on étudie un échantillon donné pour connaître la probabilité de n'importe quelles valeurs $\mathbf{x_i}$. A cette fin, en utilise la méthode graphique de régression linéaire car il donne des résultats plus précis.

- Méthodologie d'ajustement statistique des échantillons :

L'ajustement d'une loi à un échantillon est une pratique qui permet de déduire les valeurs rares du phénomène caractérisé par l'échantillon des valeurs observées.

La détermination d'une loi se fait par extrapolation de la courbe hors de l'intervalle des points de mesures ce qui est équivalent de déterminer la courbe

expérimentale qu'on aurait obtenue à partir d'une série beaucoup plus long de relevés après la définition d'une fréquence empirique (**Musy 1998**).

La détermination se fait par définition des fréquences empiriques de l'échantillon étudié à cause de sa taille qui est le plus souvent petite (inférieure à 50) et qui ne permet pas d'établir la courbe expérimentale des fréquences, représentatives de l'échantillon.

Pour une détermination de fréquences empiriques, on va classer les événements xi, observés dans un ordre chronologique donné, par ordre croissant, de sorte que $\mathbf{x_1}$ sera la plus petite valeur et $\mathbf{x_n}$ est la plus grande ($x1<x2<x3<\ldots<xn$), après on peut donc estimer pour chaque valeur classée de rang **i**, une fréquence dite empirique de non dépassement qui sera assimilée à la probabilité de non dépassement de la population-mère, définie dans le cas des valeurs extrêmes par :

$F_{exp} = \frac{i}{N+1}$ expression due à Gumbel **i** est le rang dans l'échantillon classé.

Après on associe à chaque fréquence empirique un temps de retour. C'est l'inverse du chiffre 1 moins la fréquence : $T = \frac{1}{1-F}$ .

Par la suite on a qu'a calculé la variable réduite de Gumbel par la relation suivante :

$$\mathbf{U = -Ln\ (-Ln(F))}$$

- **Méthode du Gradex**

D'après Rémy Garçon (2001), la méthode Gradex est une méthode probabiliste : « Comparée à d'autres outils d'aide à la détermination de la crue de projet, la première caractéristique de la méthode du Gradex est de prendre place dans la famille des méthodes probabilistes, par opposition à celle des méthodes maximalistes. Il ne s'agit pas de fournir une estimation du maximum possible (ou « probable») du débit d'une rivière en un lieu donné, mais d'estimer la probabilité de dépasser des valeurs extrêmement fortes. Cette approche des valeurs extrêmes permet au projeteur d'afficher un niveau de fiabilité explicite vis- à-vis du risque de crue, niveau qui dépendra généralement de la vulnérabilité de la vallée aux conséquences d'une crue dépassant la crue de projet » (**LABORDE 2000**).

« La référence à une crue « maximale » ou à une fraction de celle-ci peut alors être abandonnée au profit d'un dimensionnement à une crue de durée de retour donnée, par exemple la crue milléniale ou la crue décamillennale (celles ayant une chance sur mille ou sur dix mille d'être dépassées une année donnée) ».

Le succès de cette méthode est en particulier lié à sa (relative) facilité de mise en œuvre, qui résulte de la simplification extrême du processus de transformation de la pluie en débit.

❖ **Méthodologie :**

La méthode s'applique dans les bassins jaugés, ayant une station hydrométrique de référence, selon les étapes proposées par NOVEC :

- Ajustement des pluies journalières à la loi de Gumbel et estimation des Pjmax (T) par postes pour les temps de retour de T=2 à 10 000 ans.
- A partir de la moyenne des Gradex des postes pluviométriques situés dans le bassin versant de la station hydrométrique et des bassins limitrophes, on estime la pluie maximale journalière Pjmax(T) du bassin versant de temps de retour de T=20 à T=10 000 ans.
- A partir des Pjmax du bassin de la station hydrométrique, on obtient les Pjmax (A, T) sur l'ensemble du bassin d'étude, par simple application de l'ARF (coefficient d'battement spatial) zone B des USA.
- Ajustement des Qjmax enregistrés à la station à la loi de Gumbel et estimation de ces quantiles rares Qjmax de temps de retour de T=20 à T=100 ans, puis calcul du ruissellement $R_0j(T)$, Qjmax(T) de T=20 à T=10 000 ans.
- Calcul des débits de pointes Qp(T) par utilisation du coefficient de pointe Cp. Les Cp issus de l'analyse statistique des couples (Qp-Qjmax) des crues marquantes.
- Les calculs des débits de pointe Qp(T) permettant l'estimation des coefficients de Francou Rodier Kp(T) à la station de référence.

## V.1. Ajustement statistique :

### 1.1- Pluies journalières maximales (Pjmax) :

Pour une détermination des crues extrêmes au niveau du bassin de l'oued Chemmar, on va se baser sur les données pluviométriques et hydrométriques disponibles au niveau du bassin de Sebou.

Ce bassin comporte plusieurs postes pluviométriques. Nous avons retenu pour notre étude que les postes qui ont une influence sur la génération des crues du bassin et qui présentent une cohérence dans la distribution des précipitations. Ces postes étant : **Souk El Had, Ouljat Soltane, El Kansera, Bittit, Azib Soltane et S. Chahed.** Les séries pluviométriques des postes sont distribuées comme suit :

## Tableau 8 : Distribution des séries pluviométriques des postes sélectionnés

| Année hydro | El Kansera | Azib Solatane | Ouljat Soltane | Bittit | Souk El Had | S. Chahed |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1935** | 47 | | | | | |
| **1936** | 29 | | | | | |
| **1937** | 23 | | | | | |
| **1938** | 33 | | | | | |
| **1939** | 26 | | | | | |
| **1940** | 38 | | | | | |
| **1941** | 27 | | | | | |
| **1942** | 36 | | | | | |
| **1943** | 32 | | | | | |
| **1944** | 28 | | | | | |
| **1945** | 24 | | | | | |
| **1946** | | | | | | |
| **1947** | 9 | | | | | |
| **1948** | 58 | | | | | |
| **1949** | 31 | | | | | |
| **1950** | 42 | | | | | |
| **1951** | 34 | | | | | |
| **1952** | 41 | | | | | |
| **1953** | 28 | | | | | |
| **1954** | 23 | | | | | |
| **1955** | 40 | | | | | |
| **1956** | 24 | | | | | |
| **1957** | 37 | | | | | |
| **1958** | 27 | | | | | |
| **1959** | 44 | | | | | |
| **1960** | 49 | | | | | |
| **1961** | 18 | | | | | |
| **1962** | 39 | 67 | | | | |
| **1963** | 36 | 37 | | | | |
| **1964** | 30 | 38 | | | | |
| **1965** | 66 | 39 | | | | |
| **1966** | 25 | 39 | | | | |
| **1967** | 39 | 50 | | | | |
| **1968** | 45 | 36 | | | | |
| **1969** | 61 | 20 | | | | |
| **1970** | 30 | 29 | | | | |
| **1971** | 29 | 26 | | | | |
| **1972** | 28 | 26 | | | | |
| **1973** | 50 | 28 | | | | |
| **1974** | 21 | 39 | | | | |
| **1975** | 50 | 72 | | | | |
| **1976** | 31 | 41 | | | | |
| **1977** | 22 | 43 | | 44 | | |
| **1978** | 26 | 29 | | 38 | | |
| **1979** | 33 | 56 | | 32 | | |
| **1980** | 11 | 28 | | 49 | | |
| **1981** | 70 | 23 | | 34 | | |
| **1982** | | 55 | | 52 | | |
| **1983** | 24 | 38 | 18 | 40 | | |
| **1984** | 30 | 39 | 43 | 35 | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1985** | 13 | 46 | 39 | 30 | | |
| **1986** | | 36 | 38 | 45 | | |
| **1987** | | 25 | 29 | 38 | | |
| **1988** | | 34 | 40 | 48 | | |
| **1989** | | 100 | 78 | 48 | | |
| **1990** | 34 | 73 | 41 | 37 | 33 | |
| **1991** | 31 | 37 | 40 | 33 | 32 | |
| **1992** | 20 | 43 | 24 | 34 | 26 | |
| **1993** | 27 | 44 | 53 | 42 | 37 | 38 |
| **1994** | 35 | 41 | 39 | 26 | 59 | 33 |
| **1995** | 53 | 47 | 29 | 57 | 46 | 65 |
| **1996** | 35 | 41 | 25 | 54 | 34 | 39 |
| **1997** | 47 | 38 | 42 | 43 | 28 | 27 |
| **1998** | 19 | 26 | 34 | 36 | 23 | 29,3 |
| **1999** | 25 | 22 | 23 | 26 | 19 | 30 |
| **2000** | 26 | 43 | 42 | 34 | 34 | 37 |
| **2001** | 18 | 39 | 150 | 50 | 28 | 27,3 |
| **2002** | 50 | 75 | 67 | 78 | 62 | 52 |
| **2003** | 48 | 55 | 47 | 53 | 59 | 33 |
| **2004** | 54 | 27 | 28 | 71 | 35 | 40,5 |
| **2005** | 28 | 71 | 43 | 35 | 51 | 41 |
| **2006** | 39 | 31 | 69 | 67 | 67 | 42 |
| **2007** | 31 | 40 | 42 | 56 | 33 | 66 |
| **2008** | 27 | 53 | 31 | 38 | 42 | 50 |
| **2009** | 112 | 45 | 47 | 48 | 26 | 63,6 |
| **2010** | 97 | 85 | | 54 | | 132,1 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **n** | 70,0 | 49,0 | 27,0 | 34,0 | 20,0 | 18,0 |
| **M** | 35,9 | 43,2 | 44,5 | 44,3 | 38,7 | 47,0 |
| **S** | 17,2 | 17,1 | 25,3 | 12,3 | 14,0 | 24,7 |
| **Me** | 31,0 | 39,0 | 40,0 | 42,5 | 34,0 | 39,8 |
| **Max** | 112,0 | 100,0 | 150,0 | 78,0 | 67,0 | 132,1 |
| **Min** | 9,0 | 20,0 | 18,0 | 26,0 | 19,0 | 27,0 |

On a effectué ajustement statistique des séries pluviométriques des différents postes sélectionnés suivant la loi de Gumbel. Les graphes ci-dessous illustrent les résultats :

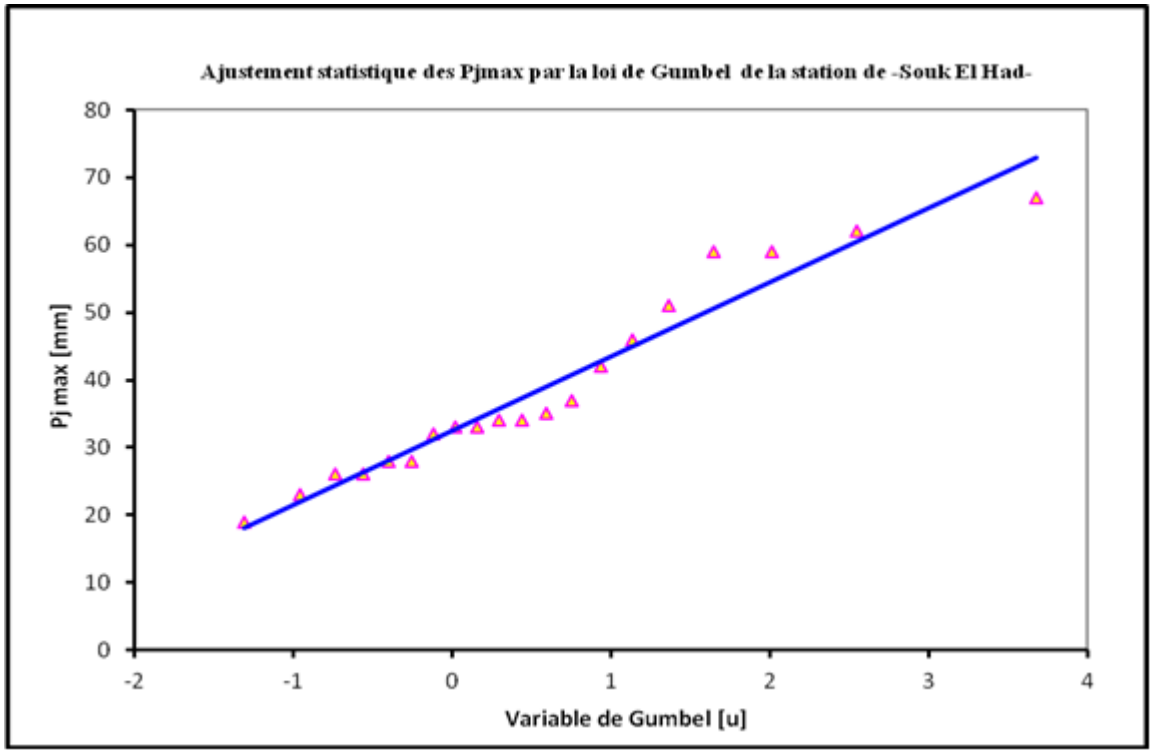



**Fig.16 : Ajustement statistique des Pjmax par la loi de Gumbel de la station de – Souk El Had-**

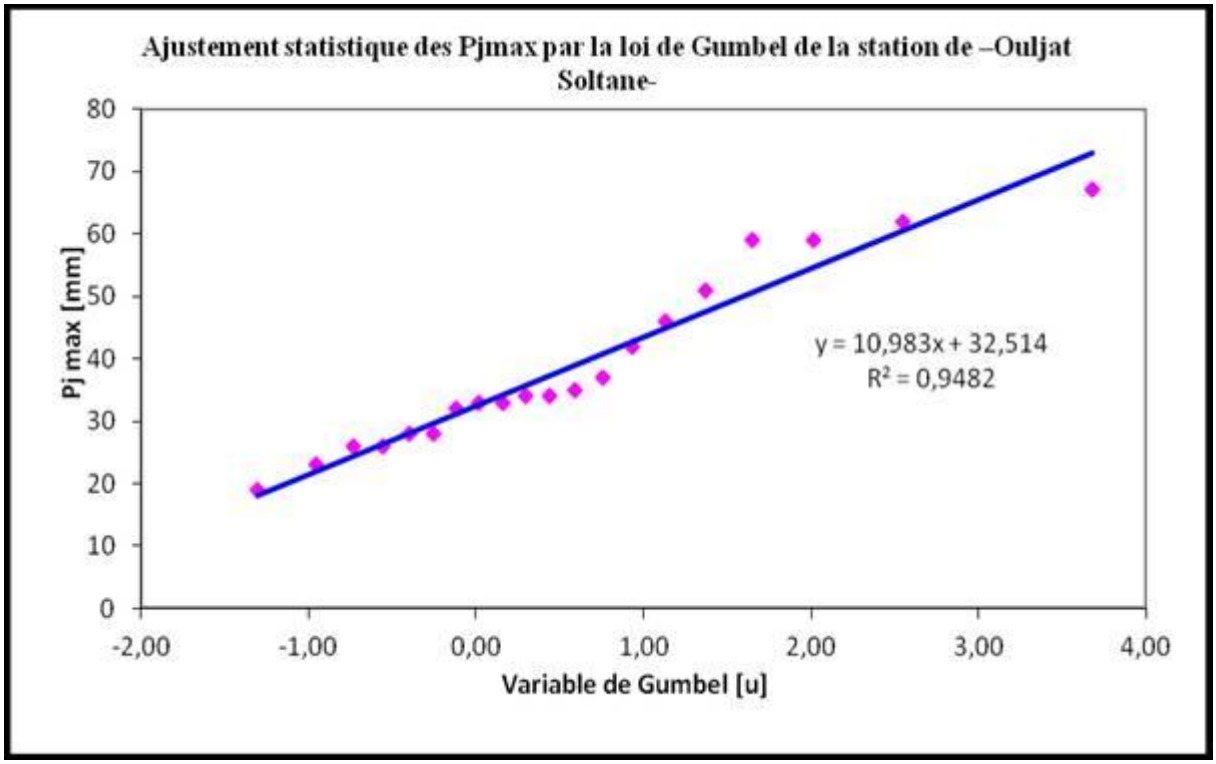



**Fig.17 : Ajustement statistique des Pjmax par la loi de Gumbel de la station de – Ouljat Soltane-**

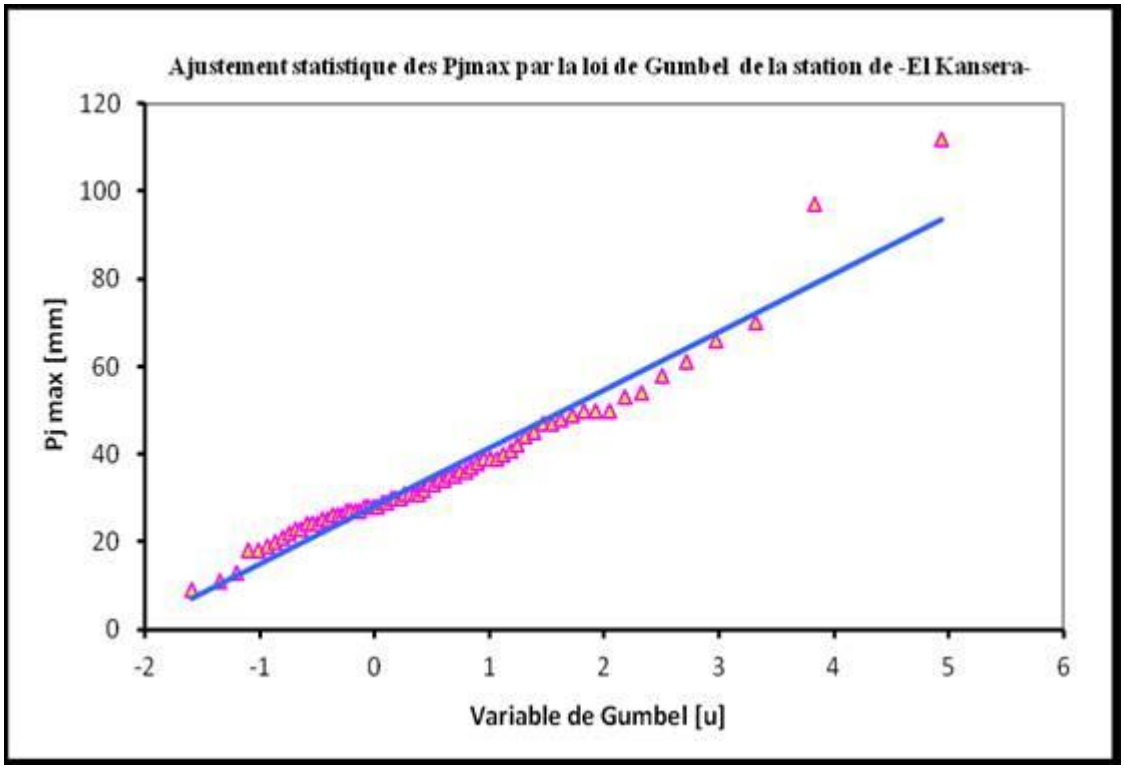



**Fig.18 : Ajustement statistique des Pjmax par la loi de Gumbel de la station de – El Kansera-**

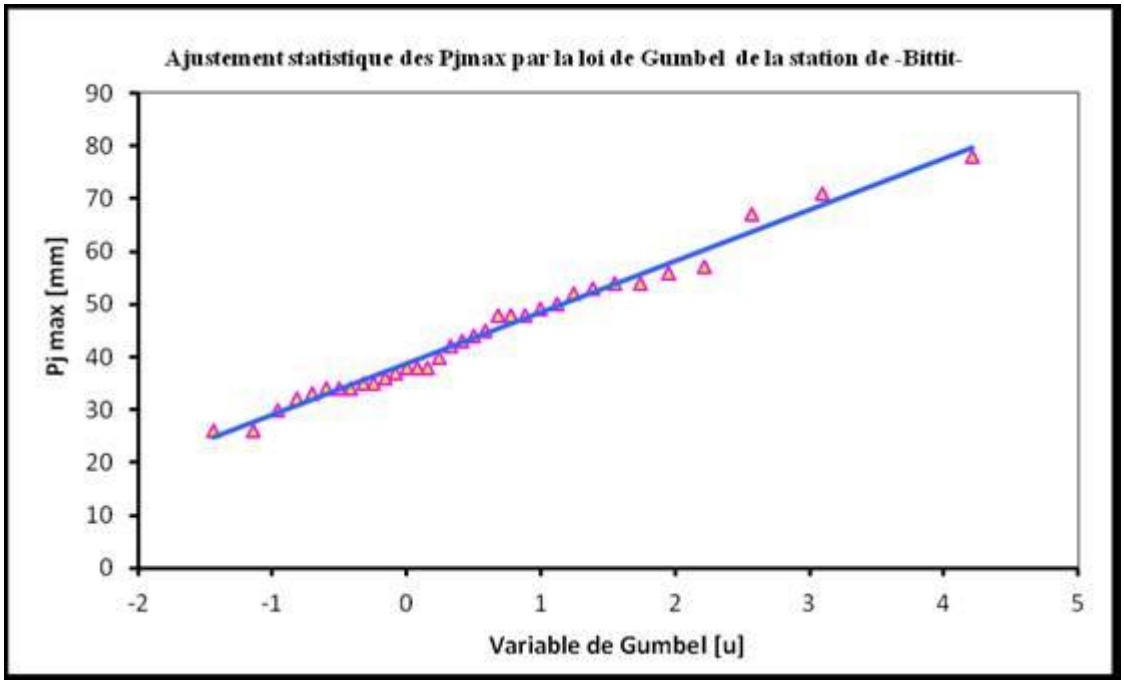



**Fig.19 : Ajustement statistique des Pjmax par la loi de Gumbel de la station de – Bittit-**

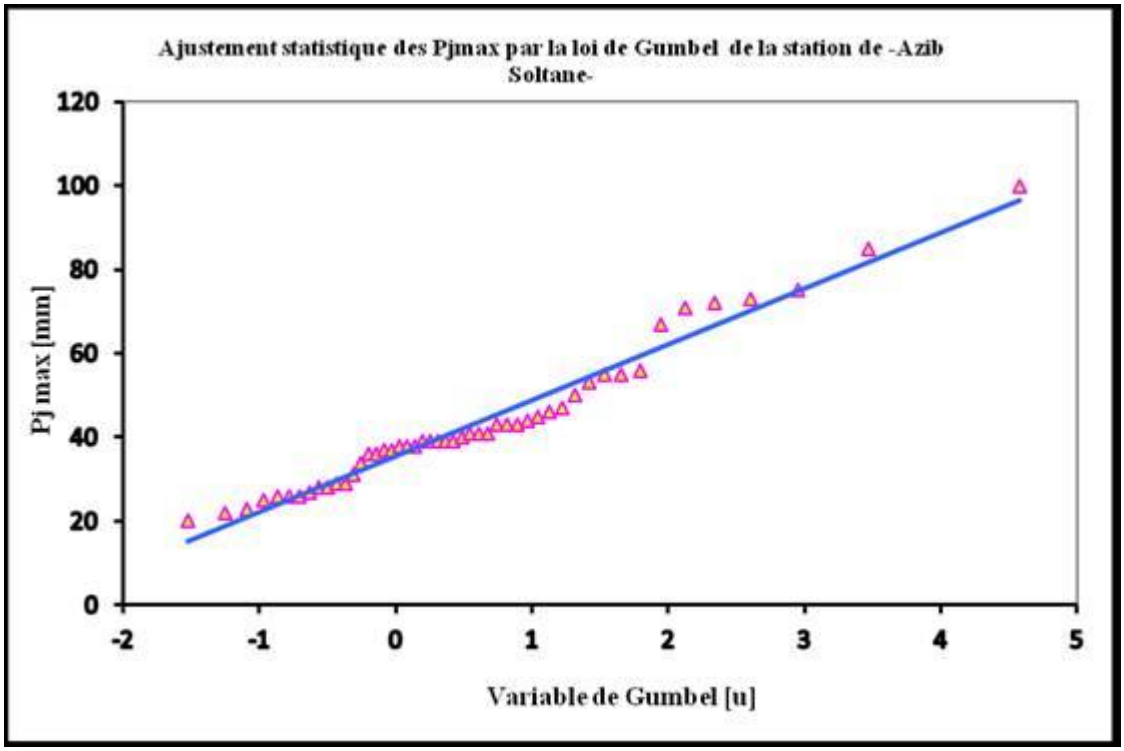



**Fig.20 : Ajustement statistique des Pjmax par la loi de Gumbel de la station de – Azib Soltane-**

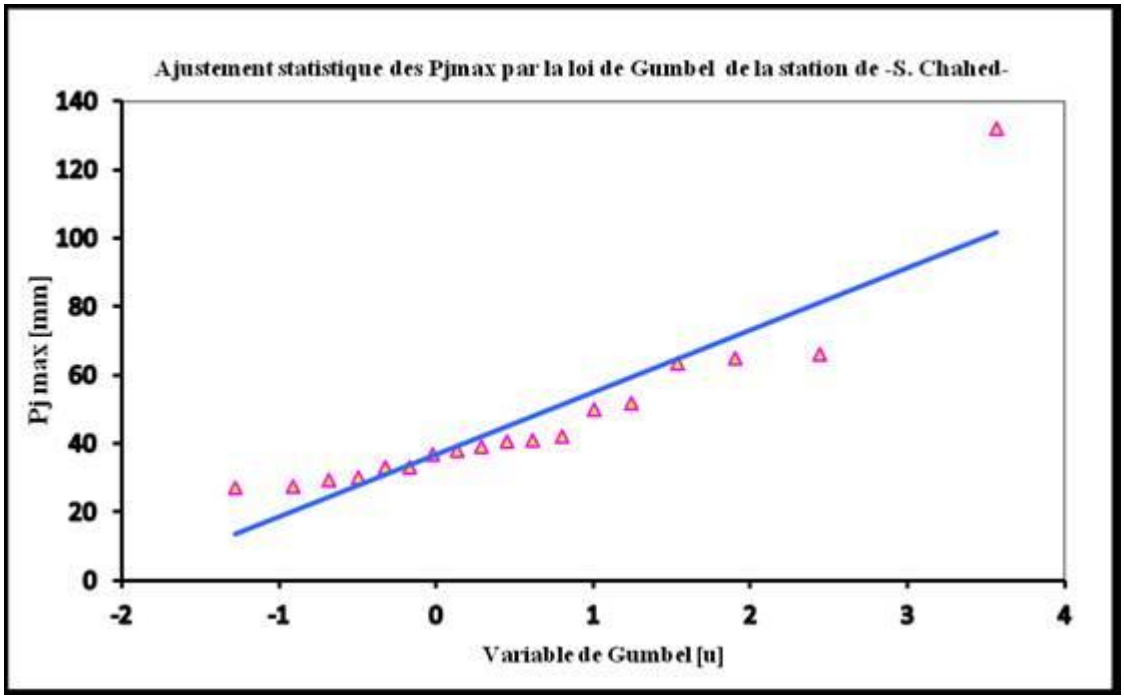



**Fig.21 : Ajustement statistique des Pjmax par la loi de Gumbel de la station de – S. Chahed-**

Le tableau suivant résume les différents résultats obtenus :

**Tableau 9 : Tableau résumant les différents résultats obtenus par l'ajustement statistique des Pjmax.**

| Poste pluviométrique | n | G | Po | M | S |
|---|---|---|---|---|---|
| Souk al Had | 20 | 10,98 | 32,51 | 38,7 | 14,03 |
| Ouljat Soltane | 27 | 18,26 | 34,13 | 44,48 | 25,29 |
| El Kansera | 70 | 13,21 | 28,33 | 35,9 | 17,2 |
| Bittit | 34 | 9,72 | 38,74 | 44,3 | 12,3 |
| Azib Soltane | 49 | 13,33 | 35,55 | 43,2 | 17,1 |
| S.Chahed | 18 | 18,19 | 36,77 | 47 | 24,7 |
| **M** | | **13,95** | **34,34** | **42,26** | **18,44** |

- **Coefficient d'abattement spatial (ARF) :**

C'est le rapport entre les Gradex ponctuels et le Gradex de la lame d'eau sur le bassin versant. Une première méthode de procéder après la détermination de la moyenne des Gradex ponctuels de stations retenues, est de déterminer un coefficient d'abattement empirique spatial **ARF** (Areal Reduction Factors), en fonction de la surface du bassin versant du site Nouirate.

Ce coefficient est défini expérimentalement dans 3 zones dans les Etats Unis ; Zone A, Zone B et Zone C. Pour notre bassin versant on va se baser su l'abaque de la zone B pour le calcul de ce coefficient à cause de la ressemblance en terme des caractéristiques pluviométriques entre les 2 zones.

Le coefficient est déterminé par interpolation en termes de surfaces, l'abaque est représenté en annexe, alors que la valeur estimée du coefficient d'abattement est de **0,78.**

La multiplication des pluies journalières maximales extrêmes de la station par ce coefficient permet d'avoir les pluies journalières maximales sur l'ensemble du bassin de la station. (Les résultats figurent dans le **Tableau 15)**

### 1.2- Ajustement des débits maximums journaliers (Qjmax)

Après l'estimation du Gradex spatial des pluies, l'ajustement statistique des débits journaliers maximums annuels de 40 ans au droit de la station de Had Kourt à la loi de Gumbel.

Le graphe ci-après illustre le résultat :

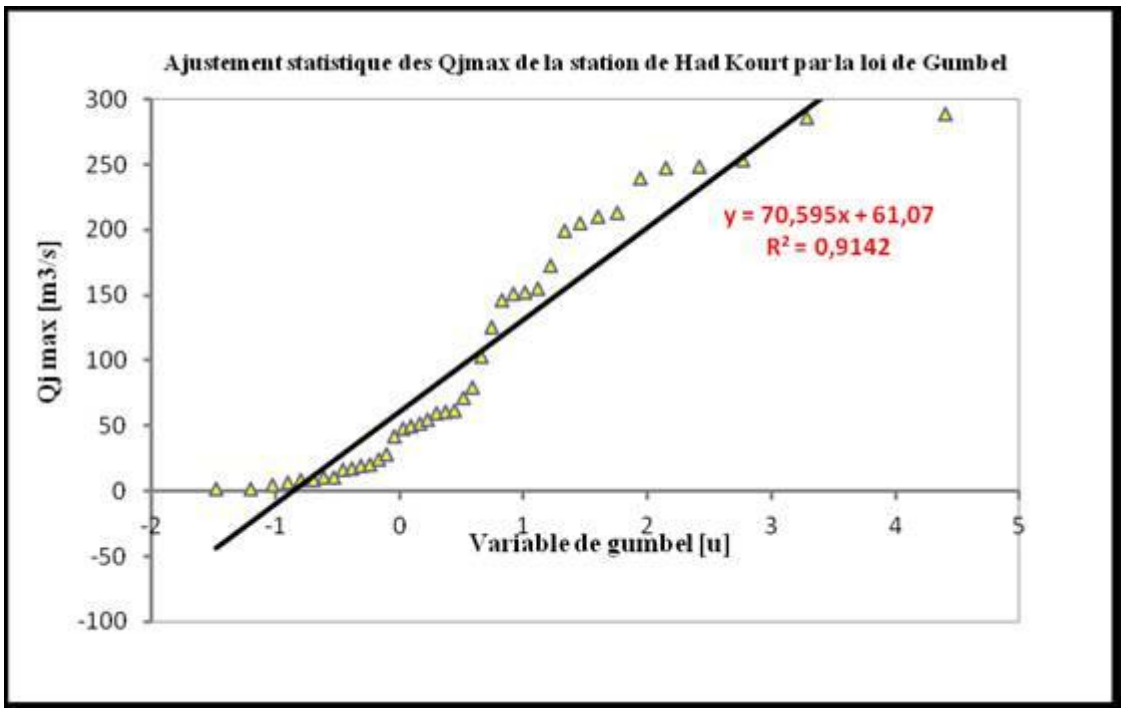



**Fig.22 : Ajustement statistique des Qjmax par la loi de Gumbel**

Les points de journaliers maximums paraissent alignés sur la droite de l'équation :

**Y= 70,595 X + 61,07**

Vers les valeurs les plus importantes des débits, on constate que les points sont quasiment alignés a une droite, se qui confirme la nature exponentielle de la branche supérieure de la distribution.

Les quantiles des débits journaliers maximums se déterminent selon l'équation de la droite d'ajustement des débits. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 10 : Résultats de l'ajustement des débits journaliers maximums**

| T | F | μ | Qjmax(T) |
|---|---|---|---|
| 2 | 0.5 | 0.4 | 22.4 |
| 5 | 0.8 | 1.5 | 91.6 |
| 10 | 0.9 | 2.3 | 137.5 |
| 20 | 0.95 | 3.0 | 181.5 |
| 50 | 0.98 | 3.9 | 238.4 |
| 100 | 0.99 | 4.6 | 385.9 |

### 1.3- Ajustement des débits instantanés maximums (Qp)

Pour l'extraction directe des crues extrêmes à partir d'une série de 41 ans des débits instantanés maximums annuelles, on procède à un ajustement statistique selon la loi de Gumbel.

Le graphe ci-après présente l'ajustement des Qp à la loi d Gumbel dans la station de Had Kourt :

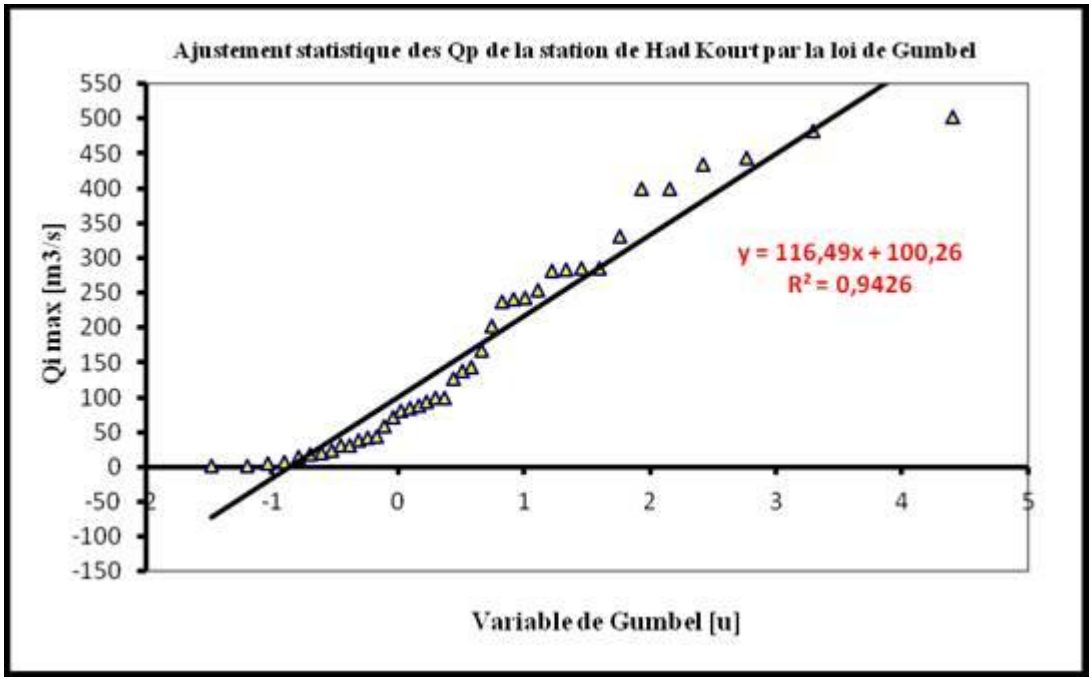



**Fig.23 : Ajustement statistique des Qp par la loi de Gumbel**

Les débits instantanés maximums annuels paraissent alignés sur la droite d'ajustement statistique : **Y= 116,49 X + 100,26.** Ce qui conforme l'ajustement des débits à la loi de Gumbel.

Les quantiles des crues sont déterminés à partir de l'équation d'ajustement pou les différentes périodes de retour, le tableau suivant résume les résultats obtenus :

**Tableau 11 : Résultats de l'ajustement des débits instantanés maximums**

| T | F | µ | Qjmax(T) |
|---|---|---|---|
| 2 | 0.5 | 0.4 | 143.0 |
| 5 | 0.8 | 1.5 | 275.0 |
| 10 | 0.9 | 2.3 | 362.5 |
| 20 | 0.95 | 3.0 | 446.3 |
| 50 | 0.98 | 3.9 | 554.9 |
| 100 | 0.99 | 4.6 | 636.2 |

- **Estimation du coefficient de pointe Cp :**

Le passage des débits journaliers extrapolés vers le débit de pointe correspondant a été effectué par le biais du coefficient de pointe Cp.

Ce coefficient se définit comme étant le rapport du débit instantané maximum annuel Qp et du débit journalier maximum annuel Qjmax. Il traduit une relation Qp-Qjmax.

Le tableau suivant présente les Cp observés à la station Had Kourt :

**Tableau 12 : Coefficients de pointe à la station hydrométrique -Had Kourt-**

| Année hydro | Qi max | Qjmax | Cp | Rang | F | T | T>2ans | Q>100m3/s |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1999 | 1,06 | 1,79 | 0,59 | 1 | 0,01 | 1,01 | | |
| 2007 | 1,70 | 1,42 | 1,20 | 2 | 0,04 | 1,04 | | |
| 1998 | 4,91 | 6,88 | 0,71 | 3 | 0,06 | 1,07 | | |
| 1992 | 6,36 | 4,57 | 1,39 | 4 | 0,09 | 1,10 | | |
| 2004 | 14,63 | 8,27 | 1,77 | 5 | 0,11 | 1,13 | | |
| 1980 | 18,10 | 8,33 | 2,17 | 6 | 0,14 | 1,16 | | |
| 1991 | 19,90 | 16,30 | 1,22 | 7 | 0,16 | 1,19 | | |
| 1979 | 24,50 | 10,40 | 2,36 | 8 | 0,19 | 1,23 | | |
| 1993 | 31,00 | 23,80 | 1,30 | 9 | 0,21 | 1,27 | | |
| 1972 | 31,50 | 20,20 | 1,56 | 10 | 0,24 | 1,31 | | |
| 1984 | 37,80 | 19,30 | 1,96 | 11 | 0,26 | 1,36 | | |
| 2001 | 41,26 | 28,10 | 1,47 | 12 | 0,29 | 1,40 | | |
| 1974 | 44,20 | 17,40 | 2,54 | 13 | 0,31 | 1,45 | | |
| 2005 | 58,48 | 41,70 | 1,40 | 14 | 0,34 | 1,51 | | |
| 1988 | 71,10 | 47,90 | 1,48 | 15 | 0,36 | 1,57 | | |
| 1987 | 79,80 | 59,80 | 1,33 | 16 | 0,39 | 1,63 | | |
| 1986 | 85,00 | 54,90 | 1,55 | 17 | 0,41 | 1,70 | | |
| 1975 | 87,40 | 50,00 | 1,75 | 18 | 0,44 | 1,78 | | |
| 1971 | 92,70 | 71,40 | 1,30 | 19 | 0,46 | 1,86 | | |
| 1967 | 99,10 | 60,40 | 1,64 | 20 | 0,49 | 1,95 | | |
| 1981 | 99,70 | 51,90 | 1,92 | 21 | 0,51 | 2,05 | 1,92 | |
| 1982 | 127,00 | 61,70 | 2,06 | 22 | 0,54 | 2,16 | 2,06 | 2,06 |
| 1973 | 138,00 | 79,00 | 1,75 | 23 | 0,56 | 2,29 | 1,75 | 1,75 |
| 1977 | 144,00 | 126,00 | 1,14 | 24 | 0,59 | 2,42 | 1,14 | 1,14 |
| 2000 | 167,00 | 103,00 | 1,62 | 25 | 0,61 | 2,58 | 1,62 | 1,62 |
| 1990 | 202,00 | 152,00 | 1,33 | 26 | 0,64 | 2,76 | 1,33 | 1,33 |
| 2003 | 237,93 | 151,00 | 1,58 | 27 | 0,66 | 2,96 | 1,58 | 1,58 |
| 1970 | 240,00 | 146,00 | 1,64 | 28 | 0,69 | 3,20 | 1,64 | 1,64 |
| 1997 | 241,87 | 173,00 | 1,40 | 29 | 0,71 | 3,48 | 1,40 | 1,40 |
| 1969 | 254,00 | 210,00 | 1,21 | 30 | 0,74 | 3,81 | 1,21 | 1,21 |
| 1996 | 282,34 | 155,00 | 1,82 | 31 | 0,76 | 4,21 | 1,82 | 1,82 |
| 2008 | 283,59 | 249,00 | 1,14 | 32 | 0,79 | 4,71 | 1,14 | 1,14 |
| 1968 | 286,00 | 253,00 | 1,13 | 33 | 0,81 | 5,33 | 1,13 | 1,13 |
| 1985 | 286,00 | 213,00 | 1,34 | 34 | 0,84 | 6,15 | 1,34 | 1,34 |
| 2002 | 330,80 | 205,00 | 1,61 | 35 | 0,86 | 7,27 | 1,61 | 1,61 |
| 1995 | 399,91 | 289,00 | 1,38 | 36 | 0,89 | 8,89 | 1,38 | 1,38 |
| 1983 | 400,00 | 248,00 | 1,61 | 37 | 0,91 | 11,43 | 1,61 | 1,61 |
| 1978 | 434,00 | 199,00 | 2,18 | 38 | 0,94 | 16,00 | 2,18 | 2,18 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1976 | 444,00 | 240,00 | 1,85 | 39 | 0,96 | 26,67 | 1,85 | 1,85 |
| 1989 | 482,63 | 286,00 | 1,69 | 40 | 0,99 | 80,00 | 1,69 | 1,69 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **n** | 40 | 40 | 40 | | | | 20 | 19 |
| **M** | 158,28 | 103,59 | 1,55 | | | | 1,57 | 1,55 |
| **S** | 143,04 | 93,04 | 0,40 | | | | 0,31 | 0,30 |
| **Me** | 99,40 | 61,05 | 1,55 | | | | 1,61 | 1,61 |
| **Max** | 482,63 | 289,00 | 2,54 | | | | 2,18 | 2,18 |
| **Min** | 1,06 | 1,42 | 0,59 | | | | 1,13 | 1,13 |

L'analyse du Cp s'est basée sur 40 couples QP-Qjmax on note :

- La moyenne des coefficients de pointe est : 1,55
- La moyenne des coefficients de pointe T $\geq$ 2 est : 1,55

Afin de vérifier la conformité des résultats obtenus et de confirmer la valeur finale du coefficient de pointe on a fait une corrélation entre les débits de pointes et les débits journaliers maximums.

Le graphe suivant illustre la corrélation Qp-Qjmax au niveau de la station de Had Kourt :

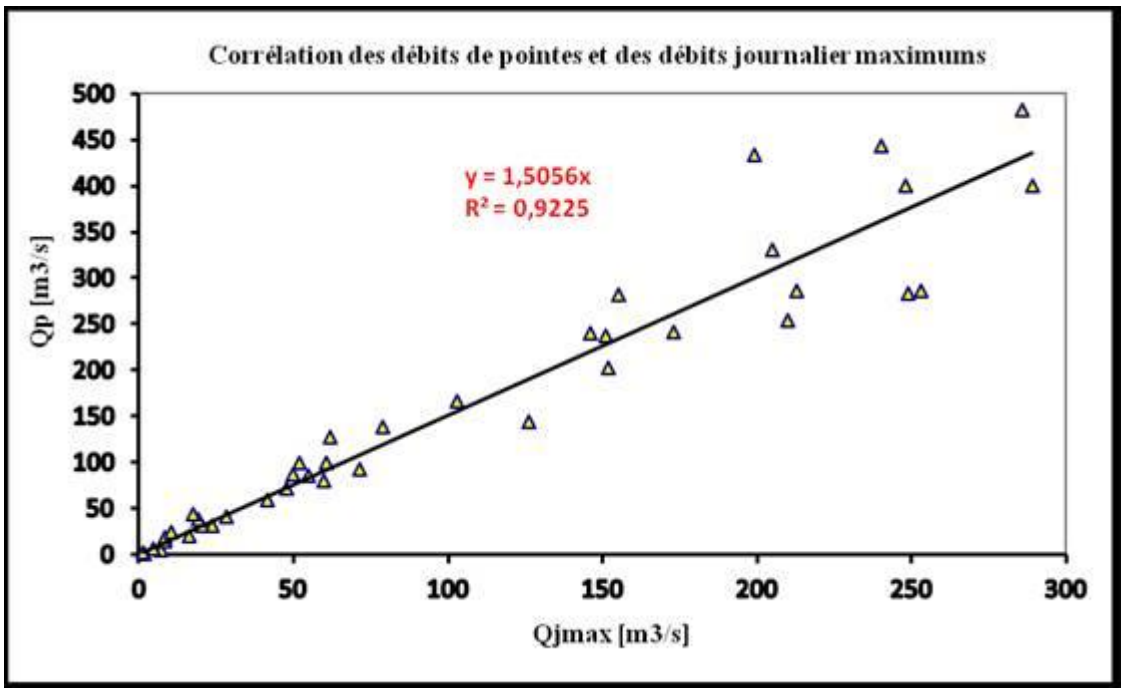



**Fig. 24 : Corrélation des Qp des Qjmax**

Les points sont quasiment alignés sur la droite de corrélation avec un bon coefficient de corrélation **$R^2$= 0,9225**, de ce fait la corrélation débits de pointe-débits journaliers maximums (Qp-Qjmax), qui a donné un coefficient de pointe **Cp = 1,5**, on en déduit une corrélation linéaire satisfaisante. D'après ce qui précède, on résume que

les coefficients de pointe sont homogène et cohérents, de ce fait on adoptera un Cp égale à 1,5.

## 2. Estimation du ruissellement

Le ruissellement est calculé pour chaque année à partir des débits journaliers maximums en multipliant les débits journaliers maximums par l'unité du temps et en le subdivisant par unité de surface.

Le tableau suivant représente le résultat de la transformation des débits journaliers maximums en ($m^3/s$) en ruissellement en (mm) :

**Tableau 13 : Calcul du ruissellement à partir des débits journaliers maximums**

| Année hydrologique | Qjmax [$m^3/s$] | Ruissellement Observé [mm] |
|---|---|---|
| 2007 | 1,42 | 0,18 |
| 1999 | 1,79 | 0,23 |
| 1992 | 4,57 | 0,59 |
| 1998 | 6,88 | 0,88 |
| 2004 | 8,27 | 1,06 |
| 1980 | 8,33 | 1,07 |
| 1979 | 10,4 | 1,34 |
| 1966 | 10,8 | 1,39 |
| 1991 | 16,3 | 2,09 |
| 1974 | 17,4 | 2,23 |
| 1984 | 19,3 | 2,48 |
| 1972 | 20,2 | 2,59 |
| 1993 | 23,8 | 3,06 |
| 2001 | 28,1 | 3,61 |
| 2005 | 41,7 | 5,35 |
| 1988 | 47,9 | 6,15 |
| 1975 | 50 | 6,42 |
| 1981 | 51,9 | 6,66 |
| 1986 | 54,9 | 7,05 |
| 1987 | 59,8 | 7,68 |
| 1967 | 60,4 | 7,75 |
| 1982 | 61,7 | 7,92 |
| 1971 | 71,4 | 9,17 |
| 1973 | 79 | 10,14 |
| 2000 | 103 | 13,22 |
| 1977 | 126 | 16,18 |
| 1970 | 146 | 18,74 |
| 2003 | 151 | 19,39 |
| 1990 | 152 | 19,51 |
| 1996 | 155 | 19,90 |
| 1997 | 173 | 22,21 |
| 1978 | 199 | 25,55 |
| 2002 | 205 | 26,32 |
| 1969 | 210 | 26,96 |
| 1985 | 213 | 27,35 |
| 1976 | 240 | 30,81 |
| 1983 | 248 | 31,84 |
| 2008 | 249 | 31,97 |
| 1968 | 253 | 32,48 |
| 1989 | 286 | 36,72 |
| 1995 | 289 | 37,10 |

| | | |
|---|---|---|
| **n** | 41 | 41 |
| **M** | 101,32 | 13,01 |
| **S** | 93,01 | 11,94 |
| **Me** | 60,4 | 7,75 |
| **Max** | 289 | 37,10 |
| **Min** | 1,42 | 0,18 |

- **détermination de la période de retour charnière (T*)**

La période de retour charnière correspond au temps à partir duquel l'infiltration devient indépendante de l'intensité de la pluie autrement dis, c'est le temps de saturation du sol à partir duquel tout supplément des précipitations se transforme en ruissellement. Elle se détermine graphiquement à partir de la cassure de l pente de la droite d'ajustement statistique du ruissellement observé dans al station Had Kourt.

Le graphe suivant illustre le résulta de l'ajustement du ruissellement observé :

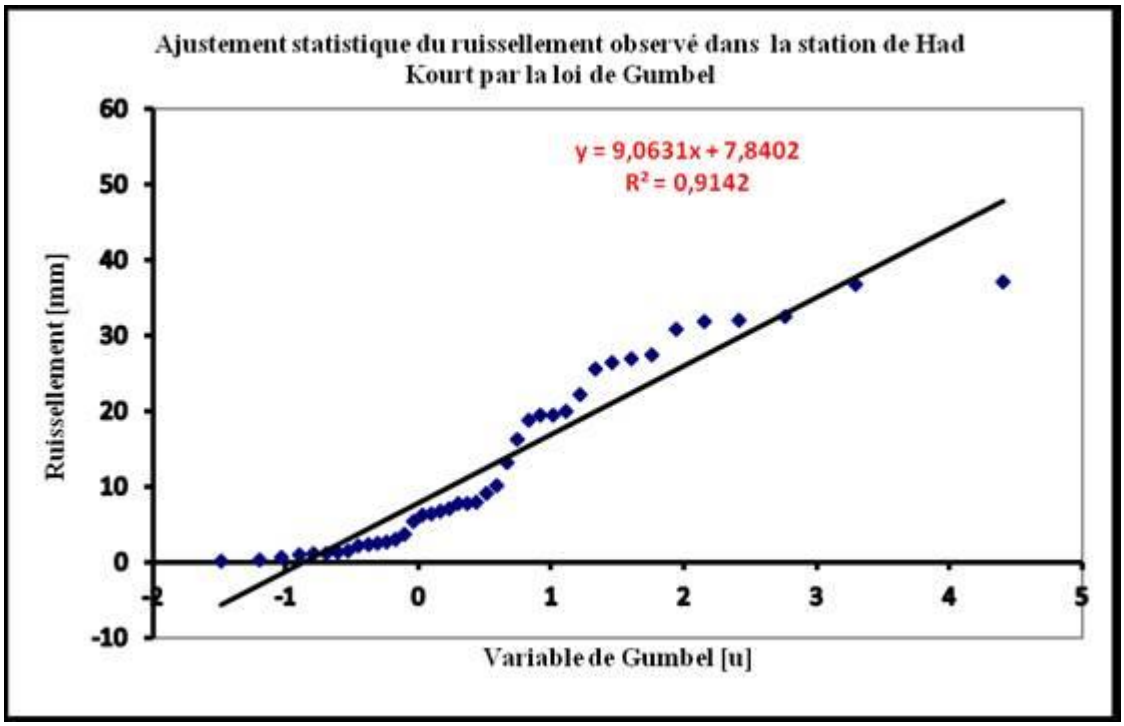



**Fig.25 : Ajustement statistique des du ruissellement observé dans la station de Had Kourt par la loi de Gumbel**

Après l'ajustement de la série du ruissellement, et vu la cohérence entre les données il reste difficile de déterminer la cassure dans la série, de ce fait en rajoute des données au graphique afin de réduire l'échelle et avoir une vu plus global de la séries et de sa continuité.

Le graphe suivant présente le résultat finale après l'ajout des données des pluies journalières maximales ponctuelles **Pjmax (T)** et spatial **Pjmax (A,T)** :

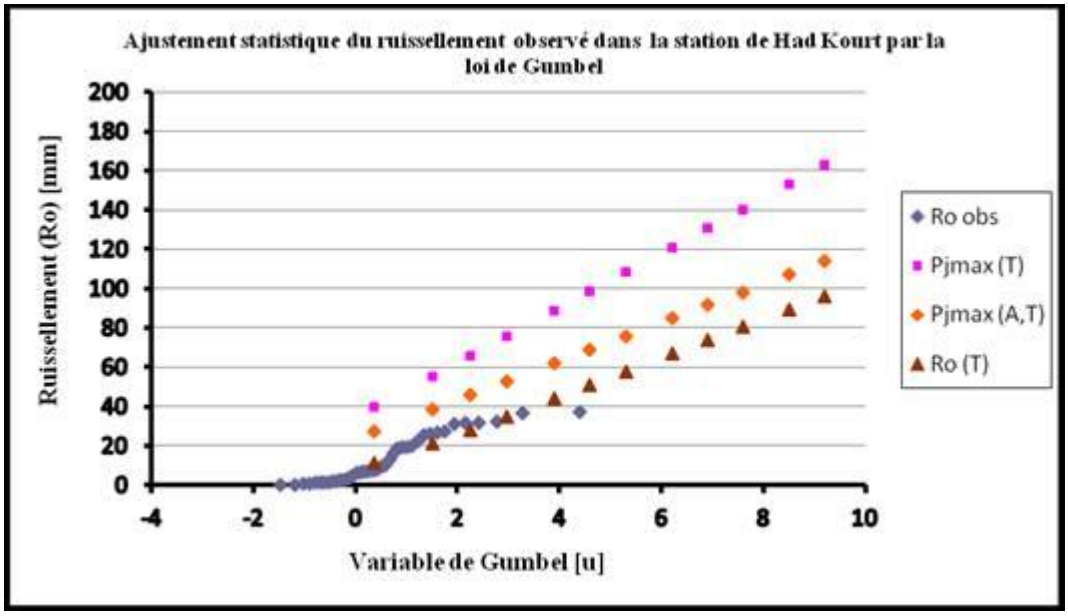



**Fig.26 : Ajustement statistique des du ruissellement observé dans la station de Had Kourt par la loi de Gumbel**

Ainsi le 2ème graphe mis en évidence le point de cassure de la pente du ruissellement observé ou le temps charnière (**T*),** ce point représenté généralement en abscisse la valeur correspondante à la période de retour charnière **(T*).** Dans notre cas elle est égale à **20 ans.**

### 3. Débits de pointe adoptés

Le débit de pointe adopté est celui de la l'ajustement statistique pour les périodes de retour T ≤ T* ans car cette méthode donne des valeurs sûrs sur courte durée, alors que pour T > T* la méthode Gradex donne les résultats plus fiables car l'extrapolation est contrôlée par le gradient de l'ajustement des observations pluviométriques.

- Les Qp de 2 à T* sont ceux obtenus par l'ajustement statistique des Qp ;
- Les Qp de T* à 10 000 sont obtenus par la multiplication des Qjmax(T) par Cp.:

**Tableau 14 : Les débits de pointe adoptés**

| T | Ajustement statistique | Gradex | Adopté |
|---|---|---|---|
| 2 | 143 | 130,5 | 143 |
| 5 | 275 | 250,5 | 275 |
| 10 | 362,5 | 330,0 | 362,5 |
| **20** | **446,3** | **406,2** | **446,3** |
| 50 | 554,9 | 518,4 | 518,4 |
| 100 | 636,2 | 598,0 | 598,0 |
| 200 | | 677,4 | 677,4 |
| 500 | | 782,1 | 782,1 |
| 1000 | | 861,2 | 861,2 |
| 2000 | | 940,3 | 940,3 |
| 5000 | | 1044,9 | 1044,9 |
| 10000 | | 1124,0 | 1124,0 |

### 4. les débits de pointe de la station de Had Kourt par la méthode du Gradex (673 km²)

Après la détermination des paramètres nécessaire le tableau suivant présente le rassemble les résultats finals du calcul des débits de pointe de la station Had Kourt :

**Tableau 15 : Tableau des résultats finals du calcul des débits de pointe**

| Poste pluviométrique | n | G | Po | M | S |
|---|---|---|---|---|---|
| Souk al Had | 20 | 10,98 | 32,51 | 38,7 | 14,03 |
| Ouljat Soltane | 27 | 18,26 | 34,13 | 44,48 | 25,29 |
| El Kansera | 70 | 13,21 | 28,33 | 35,9 | 17,2 |
| Bittit | 34 | 9,72 | 38,74 | 44,3 | 12,3 |
| Azib Soltane | 49 | 13,33 | 35,55 | 43,2 | 17,1 |
| S.Chahed | 18 | 18,19 | 36,77 | 47 | 24,7 |
| **M** | | **13,95** | **34,34** | **42,26** | **18,44** |
| **ARF** | 0,7 | | | | |
| **T*** | 20 | | | | |
| **Pjmax (T*)** | 75,8 | | | | |
| **Pjmax (A,T*)** | 53,04 | | | | |
| **Qjmax (T*)** | 270,8 | | | | |
| **Roj (T*)** | 34,76 | | | | |
| **Cp** | 1,5 | | | | |
| **ϕs** | 17,77 | Taux d'infiltration pour lequel le sol est saturé | | | |

| T | u | Pjmax(T) | Pjmax (A,T) | Roj(T) | Qjmax(T) | Qp(T) | Kp(T) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 0,4 | 39,5 | 27,62 | 11,17 | 87,0 | 130,5 | 2,5 |
| 5 | 1,5 | 55,3 | 38,68 | 21,44 | 167,0 | 250,5 | 3,0 |
| 10 | 2,3 | 65,7 | 46,01 | 28,24 | 220,0 | 330,0 | 3,3 |
| **20** | **3,0** | **75,8** | **53,04** | **34,76** | **270,8** | **406,2** | **3,4** |
| 50 | 3,9 | 88,8 | 62,13 | 44,37 | 345,6 | 518,4 | 3,6 |
| 100 | 4,6 | 98,5 | 68,95 | 51,18 | 398,7 | 598,0 | 3,8 |
| 200 | 5,3 | 108,2 | 75,74 | 57,98 | 451,6 | 677,4 | 3,9 |
| 500 | 6,2 | 121,0 | 84,71 | 66,94 | 521,4 | 782,1 | 4,0 |
| 1000 | 6,9 | 130,7 | 91,48 | 73,71 | 574,2 | 861,2 | 4,1 |
| 2000 | 7,6 | 140,4 | 98,25 | 80,48 | 626,9 | 940,3 | 4,1 |
| 5000 | 8,5 | 153,1 | 107,20 | 89,43 | 696,6 | 1044,9 | 4,2 |
| 10000 | 9,2 | 162,8 | 113,96 | 96,20 | 749,3 | 1124,0 | 4,3 |

### 5. Transposition des débits de pointe vers notre bassin d'étude par la méthode de Francou-Rodier

Pour la détermination des débits de pointe du bassin versant de Nouirate qui n'est pas jaugé, on a transposé les débits de pointe de la station de Had Kourt après une détermination du coefficient de Francou-Rodier, **Kp**.

- **méthode de Francou-Rodier**

La méthode de Francou-Rodier est une méthode de détermination des débits de pointe pour les bassins non jaugés, en se basant sur ceux des bassins jaugés. La méthode des courbes-enveloppes ou la méthode de Francou-Rodier est très utile pour l'étude des crues exceptionnelles, elle permet d'avoir des valeurs régionales des débits après la détermination d'un coefficient caractéristique de Francou-Rodier (**Musy 1998**).

La formule s'écrit sous la forme :

$$\frac{Q}{10^6} = \left(\frac{A}{10^8}\right)^{(1-0.1K)}$$

$$Kp = 10\left[1 - \left(\frac{Ln\left(Q/10^6\right)}{Ln\left(A/10^8\right)}\right)\right]$$

Avec :

Q : Débit (m3/s) ;

A : Superficie du bassin (km²) ;

Kp : Coefficient de Francou-Rodier.

Le tableau suivant résume les résultats de la transposition des débits du pointe sur le bassin su site étudié Nouirate :

**Tableau 16 : Transposition des débits vers le bassin de Nouirate**

| | | **bassin de Had Kourt** | **Bassin de Nouirate** |
|---|---|---|---|
| **S [Km²]** | | 624 | 69,5 |
| **T** | **Kp** | **Qp** | |
| 2 | 2,5 | 143 | 23,71 |
| 5 | 3,0 | 275,04 | 51,55 |
| 10 | 3,3 | 362,47 | 71,57 |
| 20 | 3,4 | 446,33 | 91,66 |
| 50 | 3,6 | 518,38 | 122,55 |
| 100 | 3,8 | 598,03 | 145,28 |
| 200 | 3,9 | 677,39 | 168,52 |
| 500 | 4,0 | 782,09 | 199,97 |
| 1000 | 4,1 | 861,23 | 224,29 |
| 2000 | 4,1 | 940,33 | 249,02 |
| 5000 | 4,2 | 1044,88 | 282,33 |
| 10000 | 4,3 | 1123,96 | 307,95 |

# CONCLUSION

L'étude hydrologique qui a été basée sur des modèles empiriques adaptés à la région, a été couronnée par la détermination des débits de fréquences rares. Ces débits ont permis d'avoir une idée sur l'importance hydrologique du bassin versant de l'Oued Chemmar.

De point de vue méthodologique, il existe plusieurs méthodes de détermination des débits de fréquences rares. Dans le cas de notre étude, nous avons choisi les méthodes de probabilité de Gradex et l'ajustement statistique pour les appliquer au bassin jaugé de Had Kourt dans le but de déterminer ses débits de pointe. La méthode analogique est utilisée pour la transposition de ces débits vers le bassin non jaugé de l'Oued Chemmar.

Ces méthodes ont permis l'estimation des débits de pointe mais ne suffisent pas pour la détermination des volumes des crues de chaque événement. C'est pour ça, il faut déterminer l'hydrogramme de crue type de Had Kourt et les caractéristiques de l'hydrogramme du bassin de l'Oued Chemmar.

# BIBLIOGRAPHIE

**DJERBOUA A.,** (2001), Prédétermination des pluies et crues extrêmes dans les alpes Franco-italiennes, Prévision quantitative des pluies journalières par la méthode des analogues ;

**Eric GAUME et Al.,** 2003. Module de statistique. Note et support de cours, Engref/Grese ;

**INGEMA, 2007,** Aménagement de L'oued Fnideq- Etude Hydrologique, Rapport d'étude ;

**INGEMA, 1975,** Barrage Nouirate sur Oued Chemmar Rapport Géologique. Rapport d'étude ;

**INGEMA, 1975**, Barrage Nouirate sur Oued Chemmar Mémoire technique et justificatif. Rapport d'étude,

**INGEMA, 1975,** Barrage Nouirate sur Oued Chemmar Calcul hydraulique. Rapport d'étude ;

**LABORDE J.P**. **2000**, Eléments d'hydrologie de surface, Edition 2009,202 pages ;

**Musy A. 1998,** Hydrologie Appliquée. Edition *H*G*A*, Bicarest, 365 pages

**SERVICE GEOLOGIQUE DU MAROC-Rabat-, 1971.** Ressources en eau du Maroc, Tome 2 : Plaines et bassins du Maroc atlantique. Etude, Rabat, 460 pages ;

**U.S. Army corps of Engineers**, 1997. Hydrologic Engineering Requirements Reservoirs; Site Web URL: http://publications.usace.army.mil/publications/eng-manuals/;

**U.S. Department of interior**, bureau of reclamation, (1977). Design of small Dams, URL: http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/pubs/manuals_monographs.html.

# Annexes

**Liste des Annexes :**

**Annexe 1:** Série des apports de la station de Had Kourt……. **56**

**Annexe 2:** Série des apports de du site du barrage Al Wahda ……. **57**

**Annexe 3:** Ajustement statistique des Pjmax de la station de Souk El Had…….. **58**

**Annexe 4:** Ajustement statistique des Pjmax de la station Ouljat Soltane…… **59**

**Annexe 5:** Ajustement statistique des Pjmax de la station El Kansera…….. **60**

**Annexe 6:** Ajustement statistique des Pjmax de la station de Bittit…….. **62**

**Annexe 7:** Ajustement statistique des Pjmax de la station Azib Soltane……... **64**

**Annexe 8:** Ajustement statistique des Pjmax de la station S. Chahed……... **66**

**Annexe 9:** Tables (ARF) des Zones A, B et C des USA……... **67**

**Annexe 10:** Ajustement statistique des Qjmax de la station de Had Kourt…….. **68**

**Annexe 11:** Ajustement statistique des Qp de la station de Had Kourt…… **70**

**Annexe 12:** Carte phytogéographique du Maroc (region du nord)…… **72**

**Annexe 13:** Carte des isohyètes de Sebou…….…… **73**

# Annexe 1 : Série des apports de la station de Had Kourt

| Année | Sep | Oct | Nov | Déce | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juill | Août | Module |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1966/67** | - | | | | | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,13** |
| **1967/68** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 8,00 | 5,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **1,12** |
| **1968/69** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 12,0 | 21,0 | 39,0 | 24,0 | 8,00 | 1,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | **8,66** |
| **1969/70** | 0,000 | 0,000 | 1,00 | 10,0 | 69,0 | 3,00 | 2,00 | 3,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **7,52** |
| **1970/71** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 7,00 | 2,00 | 7,00 | 30,0 | 6,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | **4,40** |
| **1971/72** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 5,00 | 8,00 | 13,0 | 1,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **2,31** |
| **1972/73** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,16** |
| **1973/74** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,00 | 0,000 | 2,00 | 1,00 | 13,0 | 2,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **1,82** |
| **1974/75** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,25** |
| **1975/76** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,00 | 0,000 | 5,00 | 1,00 | 2,00 | 4,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **1,06** |
| **1976/77** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 18,0 | 46,0 | 29,0 | 2,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **7,83** |
| **1977/78** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,00 | 4,00 | 9,00 | 7,00 | 10,0 | 8,00 | 2,00 | 0,000 | 0,000 | **3,46** |
| **1978/79** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 5,00 | 38,0 | 8,00 | 2,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **4,18** |
| **1979/80** | 0,000 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,08** |
| **1980/81** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,00** |
| **1981/82** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,00 | 4,00 | 3,00 | 0,000 | 5,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **1,07** |
| **1982/83** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 6,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,46** |
| **1983/84** | | | 2,00 | 20,0 | 0,000 | 0,000 | 1,00 | 0,000 | 3,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **2,68** |
| **1984/85** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,16** |
| **1985/86** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,00 | 33,0 | 6,00 | 2,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **3,90** |
| **1986/87** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,00 | 11,0 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **1,10** |
| **1987/88** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,00 | 7,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,76** |
| **1988/89** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 5,00 | 3,00 | 7,00 | 2,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | **1,47** |
| **1989/90** | 0,000 | 0,000 | 3,00 | 20,0 | 9,00 | 5,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 3,00 | 2,00 | 0,000 | **4,52** |
| **1990/91** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 6,00 | 0,000 | 7,00 | 19,0 | 5,00 | 4,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **3,41** |
| **1991/92** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,18** |
| **1992/93** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,00** |
| **1993/94** | 0,000 | 0,000 | 2,00 | 0,000 | 2,00 | 3,00 | 3,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,90** |
| **1994/95** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,00** |
| **1995/96** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,00 | 54,0 | 11,0 | 9,00 | 2,00 | 8,00 | 2,00 | 1,00 | 0,000 | **7,54** |
| **1996/97** | 1,00 | 1,00 | 2,00 | 27,0 | 28,0 | 4,00 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **5,73** |
| **1997/98** | 0,000 | 1,00 | 11,0 | 28,0 | 6,00 | 39,0 | 2,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **7,12** |
| **1998/99** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,00** |
| **1999/00** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,00** |
| **2000/01** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 5,00 | 10,0 | 2,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **1,51** |
| **2001/02** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,16** |
| **2002/03** | 0,000 | 0,000 | 13,0 | 2,00 | 10,0 | 2,00 | 5,00 | 2,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **2,92** |
| **2003/04** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 12,0 | 1,00 | 1,00 | 2,00 | 4,00 | 18,0 | 3,00 | 1,00 | 0,000 | **3,54** |
| **2004/05** | 0,000 | 0,000 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 3,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,84** |
| **2005/06** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,00 | 10,0 | 12,0 | 4,00 | 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **2,28** |
| **2006/07** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,00** |
| **2007/08** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | **0,00** |
| **2008/09** | 1,00 | 2,00 | 5,00 | 21,0 | 26,0 | 48,0 | 12,0 | 4,00 | 2,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | **10,11** |
| **2009/10** | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 21,0 | 63,0 | 65,0 | 49,0 | 6,00 | 2,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | **17,45** |
| **2010/11** | L'année 2010 - 2011 n'est pas complette | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Moyenne** | 0,07 | 0,14 | 0,98 | 5,02 | 9,02 | 9,16 | 4,68 | 2,82 | 1,57 | 0,34 | 0,14 | 0,05 | **2,79** |
| **Max** | 1,00 | 2,00 | 13,00 | 28,00 | 69,00 | 65,00 | 49,00 | 30,00 | 18,00 | 3,00 | 2,00 | 1,00 | **17,45** |
| **Min** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **0,00** |

# Annexe 2 : série des apports du site du barrage Al Wahda

| Année | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil | Août | Module |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1966** | 1,51 | 17,50 | 23,60 | 8,94 | 15,90 | 136,00 | 51,50 | 31,20 | 16,50 | 8,46 | 1,64 | 0,41 | **25,30** |
| **1967** | 0,70 | 7,78 | 61,30 | 23,40 | 22,00 | 276,00 | 245,00 | 90,60 | 40,50 | 14,00 | 3,34 | 2,00 | **64,08** |
| **1968** | 1,42 | 1,44 | 74,00 | 310,00 | 465,00 | 631,00 | 440,00 | 213,00 | 91,00 | 29,80 | 7,71 | 4,50 | **186,64** |
| **1969** | 4,89 | 17,70 | 94,60 | 226,00 | 1554,00 | 106,00 | 120,00 | 118,00 | 41,60 | 18,40 | 6,31 | 3,51 | **194,76** |
| **1970** | 2,71 | 4,73 | 5,80 | 41,40 | 269,00 | 99,30 | 198,00 | 684,00 | 192,00 | 80,90 | 19,20 | 8,96 | **133,46** |
| **1971** | 6,90 | 5,03 | 18,90 | 24,40 | 215,00 | 202,00 | 265,00 | 71,20 | 121,00 | 23,90 | 8,32 | 3,96 | **80,02** |
| **1972** | 3,96 | 59,30 | 25,30 | 26,40 | 82,90 | 71,00 | 51,00 | 34,90 | 14,50 | 6,07 | 1,94 | 1,55 | **31,40** |
| **1973** | 0,75 | 1,60 | 3,64 | 189,00 | 60,20 | 99,50 | 104,00 | 372,00 | 141,00 | 32,10 | 7,47 | 2,75 | **84,18** |
| **1974** | 2,22 | 3,99 | 5,20 | 4,26 | 19,60 | 35,30 | 169,00 | 94,50 | 59,90 | 28,20 | 4,64 | 1,58 | **35,74** |
| **1975** | 1,28 | 1,71 | 2,33 | 74,90 | 26,10 | 181,00 | 74,80 | 177,00 | 167,00 | 36,10 | 13,70 | 2,97 | **62,37** |
| **1976** | 3,90 | 41,60 | 39,20 | 436,00 | 643,00 | 464,00 | 115,00 | 39,90 | 18,60 | 9,24 | 3,51 | 1,91 | **150,16** |
| **1977** | 3,48 | 7,63 | 6,62 | 111,00 | 137,00 | 334,00 | 250,00 | 164,00 | 237,00 | 48,00 | 15,30 | 4,31 | **108,61** |
| **1978** | 3,67 | 4,20 | 5,20 | 76,80 | 271,00 | 686,00 | 251,00 | 93,40 | 20,20 | 5,02 | 2,78 | 1,20 | **114,71** |
| **1979** | 2,88 | 109,00 | 45,20 | 19,50 | 56,90 | 33,40 | 74,40 | 30,50 | 107,00 | 13,70 | 2,50 | 0,95 | **41,59** |
| **1980** | 2,48 | 6,73 | 76,50 | 16,70 | 10,20 | 5,20 | 6,64 | 74,60 | 104,00 | 9,95 | 2,63 | 0,33 | **26,34** |
| **1981** | 0,24 | 1,27 | 1,53 | 134,00 | 248,00 | 88,50 | 55,90 | 162,00 | 43,50 | 7,68 | 2,22 | 0,86 | **62,14** |
| **1982** | 0,75 | 6,22 | 51,20 | 38,00 | 14,20 | 164,00 | 55,60 | 103,00 | 11,60 | 2,78 | 0,68 | 0,14 | **36,28** |
| **1983** | 0,09 | 0,08 | 104,00 | 414,00 | 63,90 | 17,20 | 144,00 | 78,20 | 234,00 | 55,70 | 9,19 | 2,57 | **94,58** |
| **1984** | 1,16 | 1,19 | 31,10 | 28,00 | 90,50 | 168,00 | 33,90 | 20,20 | 17,70 | 4,13 | 1,10 | 0,24 | **32,20** |
| **1985** | 1,03 | 1,25 | 54,10 | 22,40 | 181,00 | 645,00 | 167,00 | 120,00 | 32,90 | 14,20 | 3,29 | 1,07 | **99,77** |
| **1986** | 1,24 | 9,26 | 11,70 | 8,87 | 199,00 | 366,00 | 64,90 | 32,20 | 9,67 | 3,60 | 1,51 | 1,60 | **57,12** |
| **1987** | 1,76 | 3,75 | 20,30 | 95,40 | 118,00 | 38,00 | 20,90 | 34,30 | 18,50 | 5,19 | 1,30 | 0,16 | **29,89** |
| **1988** | 0,10 | 2,35 | 19,10 | 17,60 | 9,36 | 74,40 | 48,70 | 119,00 | 34,70 | 13,70 | 1,92 | 0,63 | **27,98** |
| **1989** | 2,02 | 3,72 | 199,00 | 316,00 | 140,00 | 31,40 | 12,30 | 54,60 | 143,00 | 5,09 | 1,42 | 0,57 | **76,24** |
| **1990** | 0,99 | 2,53 | 10,10 | 109,00 | 20,70 | 97,40 | 435,00 | 97,00 | 25,30 | 6,86 | 0,86 | 0,45 | **67,36** |
| **1991** | 0,83 | 16,80 | 5,18 | 13,10 | 5,90 | 11,10 | 7,49 | 144,00 | 8,77 | 11,10 | 1,96 | 1,47 | **18,81** |
| **1992** | 0,21 | 7,30 | 4,57 | 9,69 | 5,35 | 3,67 | 11,80 | 13,80 | 40,30 | 2,81 | 0,16 | 0,00 | **8,38** |
| **1993** | 0,00 | 2,90 | 113,00 | 22,30 | 83,50 | 91,70 | 91,90 | 19,10 | 7,18 | 1,31 | 0,09 | 0,07 | **35,66** |
| **1994** | 0,02 | 2,37 | 15,45 | 2,57 | 3,44 | 3,53 | 11,63 | 3,07 | 1,99 | 0,08 | 0,08 | 0,04 | **3,68** |
| **1995** | 0,06 | 1,03 | 10,92 | 182,02 | 936,74 | 517,59 | 262,33 | 87,71 | 210,14 | 39,45 | 16,19 | 8,66 | **188,40** |
| **1996** | 12,73 | 23,89 | 24,69 | 717,97 | 619,77 | 78,54 | 26,14 | 45,52 | 34,35 | 8,49 | 3,85 | 0,00 | **134,65** |
| **1997** | 6,02 | 17,59 | 301,97 | 448,89 | 137,21 | 627,60 | 53,61 | 31,64 | 48,24 | 15,78 | 6,72 | 3,10 | **138,11** |
| **1998** | 10,80 | 2,39 | 1,39 | 4,07 | 25,54 | 15,50 | 20,61 | 5,40 | 1,27 | 0,00 | 0,00 | 1,49 | **7,34** |
| **1999** | 0,36 | 10,04 | 14,22 | 12,10 | 19,74 | 9,16 | 3,62 | 50,58 | 39,95 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **13,32** |
| **2000** | 1,47 | 11,89 | 13,36 | 303,30 | 236,18 | 80,19 | 144,47 | 24,93 | 26,87 | 13,56 | 11,14 | 12,34 | **73,91** |
| **2001** | 7,65 | 6,87 | 3,33 | 82,45 | 23,20 | 8,48 | 27,08 | 132,78 | 30,90 | 6,88 | 4,90 | 3,88 | **28,26** |
| **2002** | 3,72 | 18,08 | 281,74 | 112,35 | 241,20 | 104,87 | 131,73 | 165,50 | 56,68 | 13,74 | 7,14 | 3,59 | **94,72** |
| **2003** | 0,78 | 8,64 | 112,67 | 309,15 | 49,05 | 74,34 | 94,11 | 93,77 | 230,08 | 29,98 | 12,07 | 9,38 | **85,71** |
| **2004** | 2,64 | 8,52 | 9,16 | 32,88 | 6,93 | 13,81 | 93,31 | 8,57 | 1,77 | 2,46 | 2,00 | 1,78 | **15,44** |
| **2005** | 0,63 | 4,73 | 14,56 | 21,17 | 58,42 | 140,45 | 175,83 | 36,96 | 16,70 | 6,19 | 4,66 | 3,32 | **39,76** |
| **2006** | 1,50 | 2,95 | 3,94 | 4,23 | 3,94 | 22,22 | 9,82 | 67,81 | 13,35 | 2,07 | 1,84 | 0,04 | **10,97** |

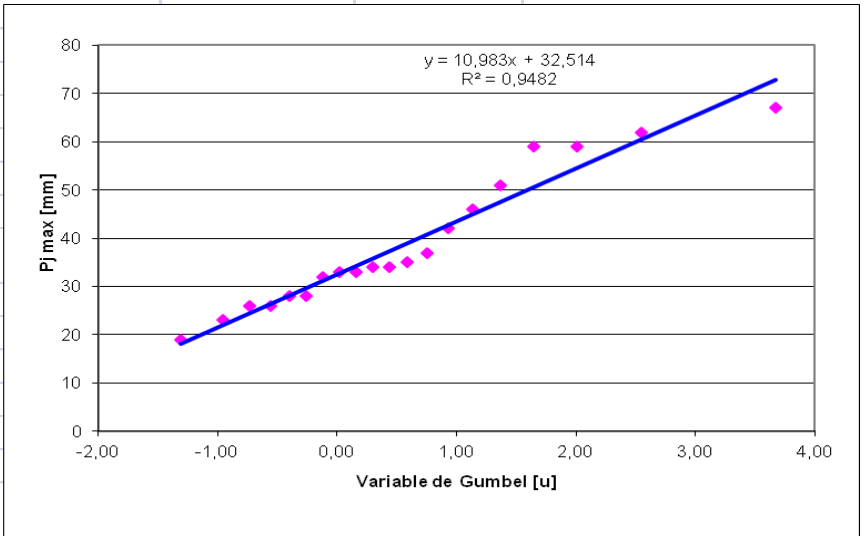
| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nombre** | 41,00 | 41,00 | 41,00 | 41,00 | 41,00 | 41,00 | 41,00 | 41,00 | 41,00 | 41,00 | 41,00 | 41,00 | **41,00** |
| **Médiane** | 1,47 | 5,03 | 18,90 | 38,00 | 63,90 | 91,70 | 74,80 | 74,60 | 34,70 | 9,24 | 2,78 | 1,55 | **62,14** |
| **Ecart type** | 2,84 | 19,28 | 69,84 | #### | 297,02 | 200,50 | 108,76 | 117,10 | 71,61 | 17,07 | 4,87 | 2,86 | **52,56** |
| **Moyenne** | 2,48 | 11,40 | 46,82 | #### | 180,21 | 167,13 | 112,66 | 98,55 | 66,13 | 15,53 | 4,81 | 2,40 | **68,78** |
| **Max** | 12,73 | 109,00 | 301,97 | #### | ###### | 686,00 | 440,00 | 684,00 | 237,00 | 80,90 | 19,20 | 12,34 | **194,76** |
| **Min** | 0,00 | 0,08 | 1,39 | 2,57 | 3,44 | 3,53 | 3,62 | 3,07 | 1,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | **3,68** |

# Annexe 3 : Ajustement statistique des Pjmax de la station de Souk El Had

| | Poste Souk El Had | | | |
|---|---|---|---|---|
| Année Hydro | Pj Max | Rang | F | u |
| 1999 | 19 | 1 | 0,025 | -1,31 |
| 1998 | 23 | 2 | 0,075 | -0,95 |
| 1992 | 26 | 3 | 0,125 | -0,73 |
| 2009 | 26 | 4 | 0,175 | -0,56 |
| 1997 | 28 | 5 | 0,225 | -0,40 |
| 2001 | 28 | 6 | 0,275 | -0,26 |
| 1991 | 32 | 7 | 0,325 | -0,12 |
| 1990 | 33 | 8 | 0,375 | 0,02 |
| 2007 | 33 | 9 | 0,425 | 0,16 |
| 1996 | 34 | 10 | 0,475 | 0,30 |
| 2000 | 34 | 11 | 0,525 | 0,44 |
| 2004 | 35 | 12 | 0,575 | 0,59 |
| 1993 | 37 | 13 | 0,625 | 0,76 |
| 2008 | 42 | 14 | 0,675 | 0,93 |
| 1995 | 46 | 15 | 0,725 | 1,13 |
| 2005 | 51 | 16 | 0,775 | 1,37 |
| 1994 | 59 | 17 | 0,825 | 1,65 |
| 2003 | 59 | 18 | 0,875 | 2,01 |
| 2002 | 62 | 19 | 0,925 | 2,55 |
| 2006 | 67 | 20 | 0,975 | 3,68 |

| | |
|---|---|
| n | 20 |
| M | 38,7 |
| S | 14,03 |
| Max | 67 |
| Min | 19 |

| Période de retou [T] | Variabe réduitede Gumebel [u] |
|---|---|
| 2 | 0,37 |
| 5 | 1,50 |
| 10 | 2,25 |
| 20 | 2,97 |
| 50 | 3,90 |
| 100 | 4,60 |




| Coefficients de la droite de Gumbel : Pj max = bu+a | |
|---|---|
| G | Po |
| 10,98 | 32,51 |

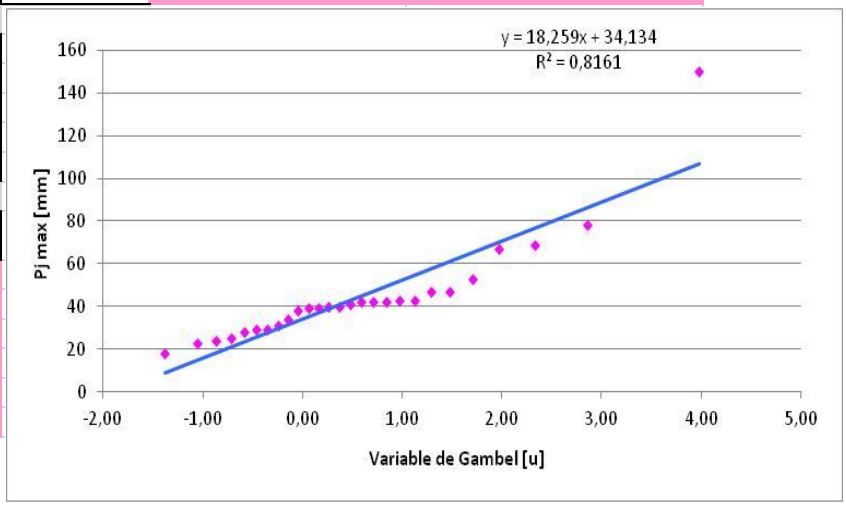
| Poste | Gradex | Pjmax 2 ans | Pjmax 5 ans | Pjmax 10 ans | Pjmax 20 ans | Pjmax 50 ans | Pjmax 100 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Souk El HAD | **10,98 mm** | 36,53 | 48,98 | 57,22 | 65,12 | 75,35 | 83,02 |

## Annexe 4 : Ajustement statistique des Pjmax de la station d'Ouljat Soltane

| Année Hydro | Pj Max | Rans | Fréquence empirique | Variable réduite de Gumbel |
|---|---|---|---|---|
| 1983 | 18 | 1 | 0,02 | -1,38 |
| 1999 | 23 | 2 | 0,06 | -1,06 |
| 1992 | 24 | 3 | 0,09 | -0,87 |
| 1996 | 25 | 4 | 0,13 | -0,71 |
| 2004 | 28 | 5 | 0,17 | -0,58 |
| 1987 | 29 | 6 | 0,20 | -0,46 |
| 1995 | 29 | 7 | 0,24 | -0,35 |
| 2008 | 31 | 8 | 0,28 | -0,25 |
| 1998 | 34 | 9 | 0,31 | -0,14 |
| 1986 | 38 | 10 | 0,35 | -0,04 |
| 1985 | 39 | 11 | 0,39 | 0,06 |
| 1994 | 39 | 12 | 0,43 | 0,16 |
| 1988 | 40 | 13 | 0,46 | 0,26 |
| 1991 | 40 | 14 | 0,50 | 0,37 |
| 1990 | 41 | 15 | 0,54 | 0,48 |
| 1997 | 42 | 16 | 0,57 | 0,59 |
| 2000 | 42 | 17 | 0,61 | 0,71 |
| 2007 | 42 | 18 | 0,65 | 0,84 |
| 1984 | 43 | 19 | 0,69 | 0,97 |
| 2005 | 43 | 20 | 0,72 | 1,12 |
| 2003 | 47 | 21 | 0,76 | 1,29 |
| 2009 | 47 | 22 | 0,80 | 1,48 |
| 1993 | 53 | 23 | 0,83 | 1,70 |
| 2002 | 67 | 24 | 0,87 | 1,97 |
| 2006 | 69 | 25 | 0,91 | 2,33 |
| 1989 | 78 | 26 | 0,94 | 2,86 |
| 2001 | 150 | 27 | 0,98 | 3,98 |

| | |
|---|---|
| n | 27 |
| M | 44,48 |
| S | 25,29 |
| Max | 150 |
| Min | 18 |

| Période de retou [T] | Variabe réduitede Gumebel [u] |
|---|---|
| 2 | 0,37 |
| 5 | 1,50 |
| 10 | 2,25 |
| 20 | 2,97 |
| 50 | 3,90 |
| 100 | 4,60 |



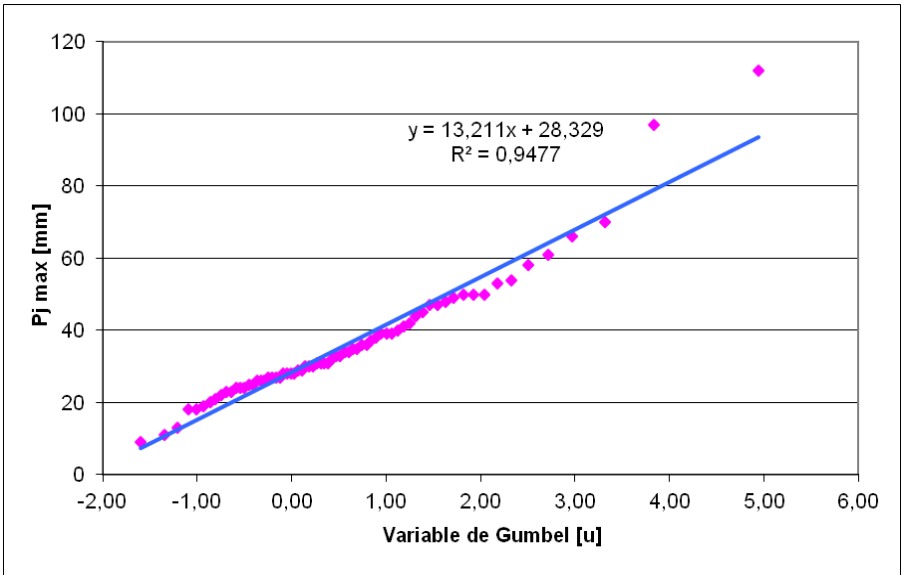

| Coefficients de la droite de Gumbel : Pj max= a+bu | |
|---|---|
| G | Po |
| 18,26 | 34,13 |

| Poste | Gradex | Pjmax 2 ans | Pjmax 5 ans | Pjmax 10 ans | Pjmax 20 ans | Pjmax 50 ans | Pjmax 100 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ouljat soltane | 18,26 mm | 40,82 | 61,52 | 75,22 | 88,37 | 105,38 | 118,13 |

# Annexe 5 : Ajustement statistique des Pjmax de la station d'El Kanesra

| Année hydro | Pjmax | Rang | Fréquence empirique | Variable réduite de Gumbel |
|---|---|---|---|---|
| 1947 | 9 | 1 | 0,01 | -1,60 |
| 1980 | 11 | 2 | 0,02 | -1,35 |
| 1985 | 13 | 3 | 0,04 | -1,20 |
| 1961 | 18 | 4 | 0,05 | -1,10 |
| 2001 | 18 | 5 | 0,06 | -1,01 |
| 1998 | 19 | 6 | 0,08 | -0,93 |
| 1992 | 20 | 7 | 0,09 | -0,87 |
| 1974 | 21 | 8 | 0,11 | -0,80 |
| 1977 | 22 | 9 | 0,12 | -0,75 |
| 1937 | 23 | 10 | 0,14 | -0,69 |
| 1954 | 23 | 11 | 0,15 | -0,64 |
| 1945 | 24 | 12 | 0,16 | -0,59 |
| 1956 | 24 | 13 | 0,18 | -0,54 |
| 1983 | 24 | 14 | 0,19 | -0,50 |
| 1966 | 25 | 15 | 0,21 | -0,45 |
| 1999 | 25 | 16 | 0,22 | -0,41 |
| 1939 | 26 | 17 | 0,24 | -0,37 |
| 1978 | 26 | 18 | 0,25 | -0,33 |
| 2000 | 26 | 19 | 0,26 | -0,29 |
| 1941 | 27 | 20 | 0,28 | -0,25 |
| 1958 | 27 | 21 | 0,29 | -0,21 |
| 1993 | 27 | 22 | 0,31 | -0,17 |
| 2008 | 27 | 23 | 0,32 | -0,13 |
| 1944 | 28 | 24 | 0,34 | -0,09 |
| 1953 | 28 | 25 | 0,35 | -0,05 |
| 1972 | 28 | 26 | 0,36 | -0,01 |
| 2005 | 28 | 27 | 0,38 | 0,03 |
| 1936 | 29 | 28 | 0,39 | 0,07 |
| 1971 | 29 | 29 | 0,41 | 0,11 |
| 1964 | 30 | 30 | 0,42 | 0,15 |
| 1970 | 30 | 31 | 0,44 | 0,19 |
| 1984 | 30 | 32 | 0,45 | 0,23 |
| 1949 | 31 | 33 | 0,46 | 0,26 |
| 1976 | 31 | 34 | 0,48 | 0,31 |
| 1991 | 31 | 35 | 0,49 | 0,35 |
| 2007 | 31 | 36 | 0,51 | 0,39 |
| 1943 | 32 | 37 | 0,52 | 0,43 |
| 1938 | 33 | 38 | 0,54 | 0,47 |
| 1979 | 33 | 39 | 0,55 | 0,51 |
| 1951 | 34 | 40 | 0,56 | 0,56 |
| 1990 | 34 | 41 | 0,58 | 0,60 |
| 1994 | 35 | 42 | 0,59 | 0,65 |
| 1996 | 35 | 43 | 0,61 | 0,70 |
| 1942 | 36 | 44 | 0,62 | 0,74 |
| 1963 | 36 | 45 | 0,64 | 0,79 |
| 1957 | 37 | 46 | 0,65 | 0,84 |
| 1940 | 38 | 47 | 0,66 | 0,89 |
| 1962 | 39 | 48 | 0,68 | 0,95 |
| 1967 | 39 | 49 | 0,69 | 1,00 |
| 2006 | 39 | 50 | 0,71 | 1,06 |
| 1955 | 40 | 51 | 0,72 | 1,12 |
| 1952 | 41 | 52 | 0,74 | 1,18 |
| 1950 | 42 | 53 | 0,75 | 1,25 |
| 1959 | 44 | 54 | 0,76 | 1,31 |
| 1968 | 45 | 55 | 0,78 | 1,39 |
| 1935 | 47 | 56 | 0,79 | 1,46 |
| 1997 | 47 | 57 | 0,81 | 1,54 |
| 2003 | 48 | 58 | 0,82 | 1,63 |
| 1960 | 49 | 59 | 0,84 | 1,72 |
| 1973 | 50 | 60 | 0,85 | 1,82 |
| 1975 | 50 | 61 | 0,86 | 1,93 |
| 2002 | 50 | 62 | 0,88 | 2,04 |
| 1995 | 53 | 63 | 0,89 | 2,18 |
| 2004 | 54 | 64 | 0,91 | 2,33 |
| 1948 | 58 | 65 | 0,92 | 2,50 |
| 1969 | 61 | 66 | 0,94 | 2,71 |
| 1965 | 66 | 67 | 0,95 | 2,97 |
| 1981 | 70 | 68 | 0,96 | 3,31 |
| 2010 | 97 | 69 | 0,98 | 3,83 |
| 2009 | 112 | 70 | 0,99 | 4,94 |

| | |
|---|---|
| n | 70 |
| M | 35,9 |
| S | 17,2 |
| Max | 112 |
| Min | 9 |




| Coefficients de la droite de Gumbel : Pj max = a+bu | |
|---|---|
| G | Po |
| 13,21 | 28,33 |

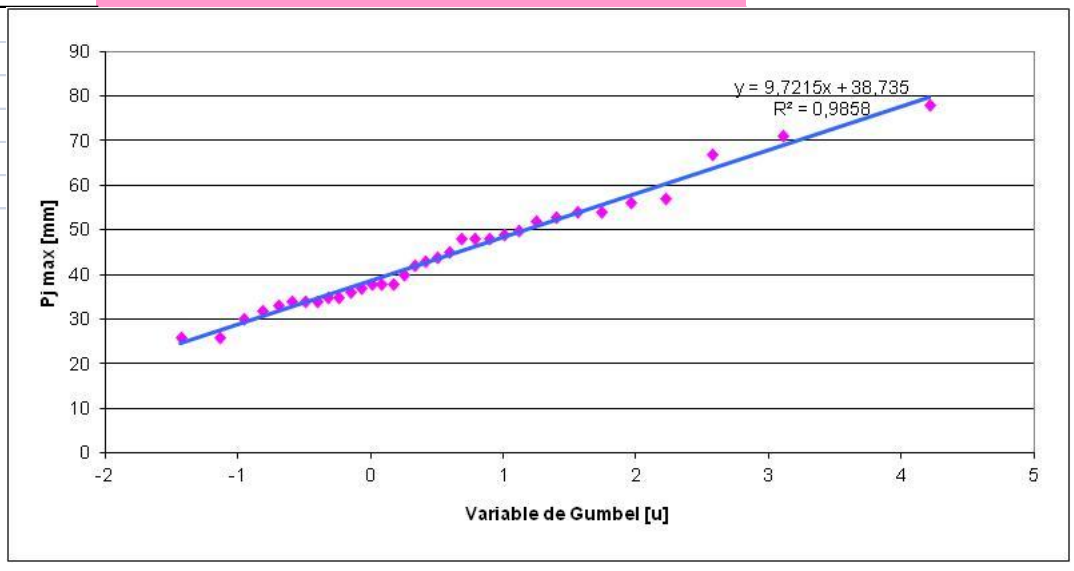
| Période de retour [T] | Variable réduite de Gumbel [u] |
|---|---|
| 2 | 0,37 |
| 5 | 1,50 |
| 10 | 2,25 |
| 20 | 2,97 |
| 50 | 3,90 |
| 100 | 4,60 |

| Poste | Gradex | Pjmax 2 ans | Pjmax 5 ans | Pjmax 10 ans | Pjmax 20 ans | Pjmax 50 ans | Pjmax 100 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| El Kansera | 18,26 mm | 33,17 | 48,14 | 58,06 | 67,57 | 79,87 | 89,10 |

## Annexe 6 : Ajustement statistiques des Pjmax de la station de Bittit

| Année Hydro | Pj Max | Rang | Fréquence empirique | Variable réduite de Gumbel |
|---|---|---|---|---|
| 1994 | 26 | 1 | 0,01 | -1,44 |
| 1999 | 26 | 2 | 0,04 | -1,14 |
| 1985 | 30 | 3 | 0,07 | -0,96 |
| 1979 | 32 | 4 | 0,10 | -0,82 |
| 1991 | 33 | 5 | 0,13 | -0,70 |
| 1981 | 34 | 6 | 0,16 | -0,60 |
| 1992 | 34 | 7 | 0,19 | -0,50 |
| 2000 | 34 | 8 | 0,22 | -0,41 |
| 1984 | 35 | 9 | 0,25 | -0,33 |
| 2005 | 35 | 10 | 0,28 | -0,24 |
| 1998 | 36 | 11 | 0,31 | -0,16 |
| 1990 | 37 | 12 | 0,34 | -0,08 |
| 1978 | 38 | 13 | 0,37 | 0,00 |
| 1987 | 38 | 14 | 0,40 | 0,08 |
| 2008 | 38 | 15 | 0,43 | 0,16 |
| 1983 | 40 | 16 | 0,46 | 0,24 |
| 1993 | 42 | 17 | 0,49 | 0,32 |
| 1997 | 43 | 18 | 0,51 | 0,41 |
| 1977 | 44 | 19 | 0,54 | 0,50 |
| 1986 | 45 | 20 | 0,57 | 0,59 |
| 1988 | 48 | 21 | 0,60 | 0,68 |
| 1989 | 48 | 22 | 0,63 | 0,78 |
| 2009 | 48 | 23 | 0,66 | 0,88 |
| 1980 | 49 | 24 | 0,69 | 1,00 |
| 2001 | 50 | 25 | 0,72 | 1,12 |
| 1982 | 52 | 26 | 0,75 | 1,25 |
| 2003 | 53 | 27 | 0,78 | 1,39 |
| 1996 | 54 | 28 | 0,81 | 1,55 |
| 2010 | 54 | 29 | 0,84 | 1,73 |
| 2007 | 56 | 30 | 0,87 | 1,95 |
| 1995 | 57 | 31 | 0,90 | 2,22 |
| 2006 | 67 | 32 | 0,93 | 2,57 |
| 2004 | 71 | 33 | 0,96 | 3,10 |
| 2002 | 78 | 34 | 0,99 | 4,21 |

| | |
|---|---|
| n | 34 |
| M | 44,3 |
| S | 12,3 |
| Max | 78 |
| Min | 26 |



| Coefficients de la droite de Gumbel : Pj max= a+bu | |
|---|---|
| G | Po |
| 9,72 | 38,74 |

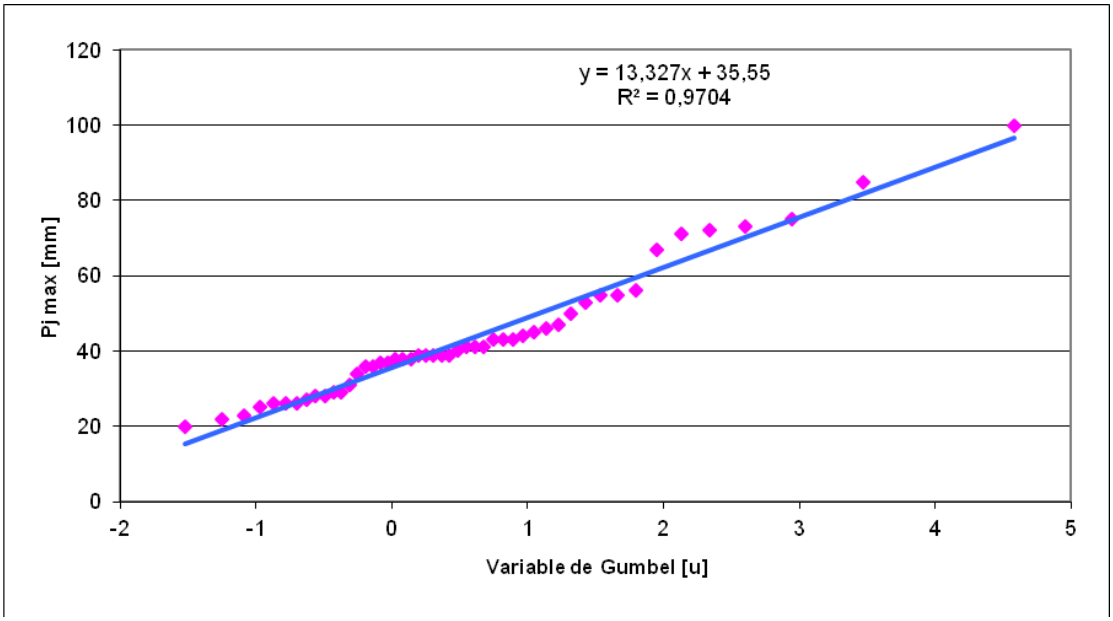
| Période de retou [T] | Variable réduite de Gumbel [u] |
|---|---|
| 2 | 0,37 |
| 5 | 1,50 |
| 10 | 2,25 |
| 20 | 2,97 |
| 50 | 3,90 |
| 100 | 4,60 |

| Poste | Gradex | Pjmax 2 ans | Pjmax 5 ans | Pjmax 10 ans | Pjmax 20 ans | Pjmax 50 ans | Pjmax 100 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bittit** | **9,72 mm** | 42,30 | 53,32 | 60,61 | 67,61 | 76,67 | 83,45 |

## Annexe 7 : Ajustement statistique des Pjmax de la station de Azib Soltane

| Anné hydro | Pj Max | Rang | Fréquence empirique | Variable réduite de Gumbel |
|---|---|---|---|---|
| 1969 | 20 | 1 | 0,01 | -1,52 |
| 1999 | 22 | 2 | 0,03 | -1,25 |
| 1981 | 23 | 3 | 0,05 | -1,09 |
| 1987 | 25 | 4 | 0,07 | -0,97 |
| 1971 | 26 | 5 | 0,09 | -0,87 |
| 1972 | 26 | 6 | 0,11 | -0,78 |
| 1998 | 26 | 7 | 0,13 | -0,70 |
| 2004 | 27 | 8 | 0,15 | -0,63 |
| 1973 | 28 | 9 | 0,17 | -0,56 |
| 1980 | 28 | 10 | 0,19 | -0,50 |
| 1970 | 29 | 11 | 0,21 | -0,43 |
| 1978 | 29 | 12 | 0,23 | -0,37 |
| 2006 | 31 | 13 | 0,26 | -0,31 |
| 1988 | 34 | 14 | 0,28 | -0,25 |
| 1968 | 36 | 15 | 0,30 | -0,20 |
| 1986 | 36 | 16 | 0,32 | -0,14 |
| 1963 | 37 | 17 | 0,34 | -0,08 |
| 1991 | 37 | 18 | 0,36 | -0,03 |
| 1964 | 38 | 19 | 0,38 | 0,03 |
| 1983 | 38 | 20 | 0,40 | 0,08 |
| 1997 | 38 | 21 | 0,42 | 0,14 |
| 1965 | 39 | 22 | 0,44 | 0,19 |
| 1966 | 39 | 23 | 0,46 | 0,25 |
| 1974 | 39 | 24 | 0,48 | 0,31 |
| 1984 | 39 | 25 | 0,50 | 0,37 |
| 2001 | 39 | 26 | 0,52 | 0,43 |
| 2007 | 40 | 27 | 0,54 | 0,49 |
| 1976 | 41 | 28 | 0,56 | 0,55 |
| 1994 | 41 | 29 | 0,58 | 0,61 |
| 1996 | 41 | 30 | 0,60 | 0,68 |
| 1977 | 43 | 31 | 0,62 | 0,75 |
| 1992 | 43 | 32 | 0,64 | 0,82 |
| 2000 | 43 | 33 | 0,66 | 0,89 |
| 1993 | 44 | 34 | 0,68 | 0,97 |
| 2009 | 45 | 35 | 0,70 | 1,05 |
| 1985 | 46 | 36 | 0,72 | 1,13 |
| 1995 | 47 | 37 | 0,74 | 1,22 |
| 1967 | 50 | 38 | 0,77 | 1,32 |
| 2008 | 53 | 39 | 0,79 | 1,42 |
| 1982 | 55 | 40 | 0,81 | 1,53 |
| 2003 | 55 | 41 | 0,83 | 1,66 |
| 1979 | 56 | 42 | 0,85 | 1,80 |
| 1962 | 67 | 43 | 0,87 | 1,95 |
| 2005 | 71 | 44 | 0,89 | 2,13 |
| 1975 | 72 | 45 | 0,91 | 2,34 |
| 1990 | 73 | 46 | 0,93 | 2,60 |
| 2002 | 75 | 47 | 0,95 | 2,95 |
| 2010 | 85 | 48 | 0,97 | 3,47 |
| 1989 | 100 | 49 | 0,99 | 4,58 |

| | |
|---|---|
| n | 49 |
| M | 43,2 |
| S | 17,1 |
| Max | 100 |
| Min | 20 |




| Coefficients de la droite de Gumbel : Pj max= a+bu | |
|---|---|
| G | Po |
| 13,33 | 35,55 |

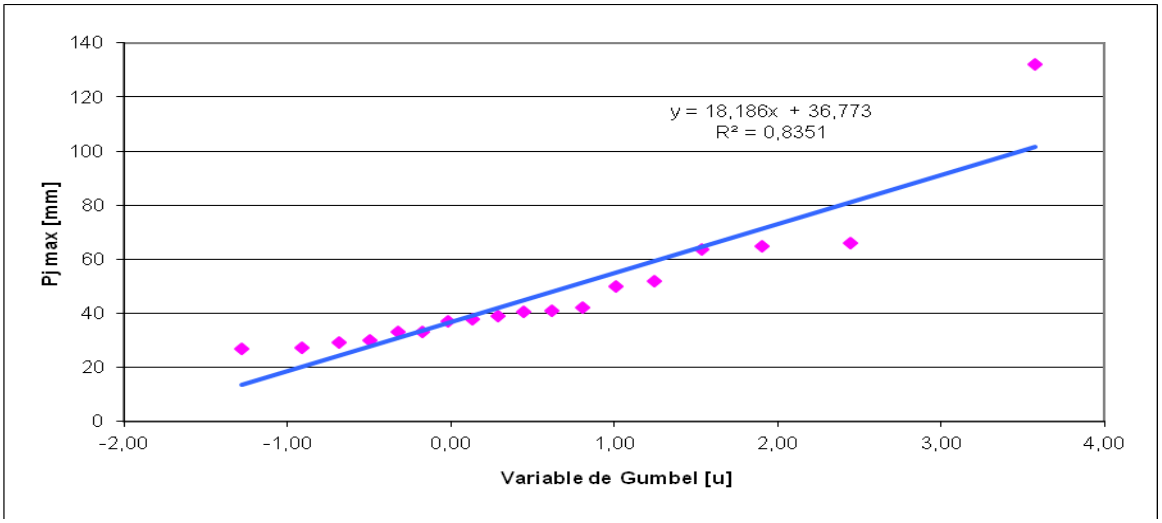
| Période de retour [T] | Variable réduite de Gumbel [u] |
|---|---|
| 2 | 0,37 |
| 5 | 1,50 |
| 10 | 2,25 |
| 20 | 2,97 |
| 50 | 3,90 |
| 100 | 4,60 |

| Poste | Gradex | Pjmax 2 ans | Pjmax 5 ans | Pjmax 10 ans | Pjmax 20 ans | Pjmax 50 ans | Pjmax 100 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Azib Soltane | 13,33 mm | 40,44 | 55,54 | 65,55 | 75,14 | 87,56 | 96,87 |

# Annexe 8 : Ajustement statistique des Pjmax de la station de S. Chahed

| Année hydro | Pj Max | Rang | F | u |
|---|---|---|---|---|
| **1997** | 27 | 1 | **0,03** | **-1,28** |
| **2001** | 27,3 | 2 | **0,08** | **-0,91** |
| **1998** | 29,3 | 3 | **0,14** | **-0,68** |
| **1999** | 30 | 4 | **0,19** | **-0,49** |
| **1994** | 33 | 5 | **0,25** | **-0,33** |
| **2003** | 33 | 6 | **0,31** | **-0,17** |
| **2000** | 37 | 7 | **0,36** | **-0,02** |
| **1993** | 38 | 8 | **0,42** | **0,13** |
| **1996** | 39 | 9 | **0,47** | **0,29** |
| **2004** | 40,5 | 10 | **0,53** | **0,45** |
| **2005** | 41 | 11 | **0,58** | **0,62** |
| **2006** | 42 | 12 | **0,64** | **0,80** |
| **2008** | 50 | 13 | **0,69** | **1,01** |
| **2002** | 52 | 14 | **0,75** | **1,25** |
| **2009** | 63,6 | 15 | **0,81** | **1,53** |
| **1995** | 65 | 16 | **0,86** | **1,90** |
| **2007** | 66 | 17 | **0,92** | **2,44** |
| **2010** | 132,1 | 18 | **0,97** | **3,57** |

| | |
|---|---|
| **n** | 18 |
| **M** | 47,0 |
| **S** | 24,7 |
| **Max** | 132,1 |
| **Min** | 27 |




| Période de retour [T] | Variable réduite de Gumbel [u] |
|---|---|
| **2** | 0,37 |
| **5** | 1,50 |
| **10** | 2,25 |
| **20** | 2,97 |
| **50** | 3,90 |
| **100** | 4,60 |

**Coefficients de la droite de Gumbel : Pj max= a+bu**

| G | Po |
|---|---|
| 18,19 | 36,77 |

| Poste | Gradex | Pjmax 2 ans | Pjmax 5 ans | Pjmax 10 ans | Pjmax 20 ans | Pjmax 50 ans | Pjmax 100 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **S. Chahed** | **18,19 mm** | 43,44 | 64,05 | 77,70 | 90,80 | 107,75 | 120,45 |

## Annexe 9 : Tables (ARF) des Zones A,B et C

| Tables ARF | Courbe B | |
|---|---|---|
| **S (mil²)** | **S(Km²)** | **ARF** |
| 0 | 0,0 | 1,000 |
| 50 | 129,5 | 0,940 |
| 100 | 259,0 | 0,900 |
| 200 | 518,0 | 0,820 |
| | **673,0** | **0,784** |
| 300 | 777,0 | 0,760 |
| 350 | 906,5 | 0,730 |
| 400 | 1036,0 | 0,710 |
| 450 | 1165,5 | 0,700 |
| 500 | 1295,0 | 0,690 |
| 600 | 1554,0 | 0,680 |
| 700 | 1813,0 | 0,670 |
| 800 | 2072,0 | 0,665 |
| 900 | 2331,0 | 0,655 |
| 1000 | 2590,0 | 0,650 |

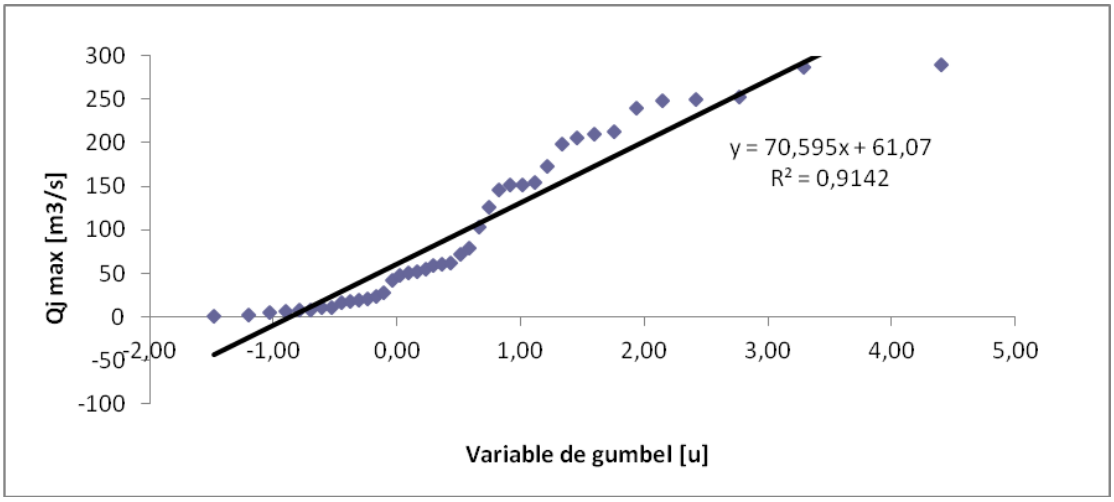
| Tables ARF | Courbe A | |
|---|---|---|
| **S (mil²)** | **S(Km²)** | **ARF** |
| 0 | 0,0 | 1,000 |
| 12,5 | 32,4 | 0,920 |
| 25 | 64,8 | 0,880 |
| 37,5 | 97,1 | 0,840 |
| 50 | 129,5 | 0,800 |
| 75 | 194,3 | 0,760 |
| 100 | 259,0 | 0,731 |
| 150 | 388,5 | 0,691 |
| 200 | 518,0 | 0,660 |
| 250 | 647,5 | 0,640 |
| | **673,0** | **0,637** |
| 300 | 777,0 | 0,625 |
| 350 | 906,5 | 0,616 |
| 400 | 1036,0 | 0,608 |
| 450 | 1165,5 | 0,595 |
| 500 | 1295,0 | 0,591 |
| 600 | 1554,0 | 0,580 |
| 700 | 1813,0 | 0,570 |
| 800 | 2072,0 | 0,560 |
| 900 | 2331,0 | 0,556 |
| 1000 | 2590,0 | 0,548 |

| Tables ARF | Courbe C | |
|---|---|---|
| **S (mil²)** | **S(Km²)** | **ARF** |
| 0 | 0,0 | 1,000 |
| 50 | 129,5 | 0,955 |
| 100 | 259,0 | 0,920 |
| 150 | 388,5 | 0,891 |
| 200 | 518,0 | 0,869 |
| 250 | 647,5 | 0,851 |
| | **673,0** | **0,849** |
| 300 | 777,0 | 0,840 |
| 350 | 906,5 | 0,831 |
| 400 | 1036,0 | 0,823 |
| 500 | 1295,0 | 0,811 |
| 625 | 1618,8 | 0,800 |
| 750 | 1942,5 | 0,788 |
| 900 | 2331,0 | 0,780 |
| 1000 | 2590,0 | 0,773 |

## Annexe 10 : Ajustement des Qjmax de la station de Had Kourt

| Année | Qj max | rang | Fréquence empirique | Variable de gumbel |
|---|---|---|---|---|
| 2007 | 1,42 | 1 | 0,01 | -1,48 |
| 1999 | 1,79 | 2 | 0,04 | -1,20 |
| 1992 | 4,57 | 3 | 0,06 | -1,03 |
| 1998 | 6,88 | 4 | 0,09 | -0,90 |
| 2004 | 8,27 | 5 | 0,11 | -0,79 |
| 1980 | 8,33 | 6 | 0,13 | -0,70 |
| 1979 | 10,4 | 7 | 0,16 | -0,61 |
| 1966 | 10,8 | 8 | 0,18 | -0,53 |
| 1991 | 16,3 | 9 | 0,21 | -0,45 |
| 1974 | 17,4 | 10 | 0,23 | -0,38 |
| 1984 | 19,3 | 11 | 0,26 | -0,31 |
| 1972 | 20,2 | 12 | 0,28 | -0,24 |
| 1993 | 23,8 | 13 | 0,30 | -0,17 |
| 2001 | 28,1 | 14 | 0,33 | -0,11 |
| 2005 | 41,7 | 15 | 0,35 | -0,04 |
| 1988 | 47,9 | 16 | 0,38 | 0,03 |
| 1975 | 50 | 17 | 0,40 | 0,09 |
| 1981 | 51,9 | 18 | 0,43 | 0,16 |
| 1986 | 54,9 | 19 | 0,45 | 0,23 |
| 1987 | 59,8 | 20 | 0,48 | 0,30 |
| 1967 | 60,4 | 21 | 0,50 | 0,37 |
| 1982 | 61,7 | 22 | 0,52 | 0,44 |
| 1971 | 71,4 | 23 | 0,55 | 0,51 |
| 1973 | 79 | 24 | 0,57 | 0,59 |
| 2000 | 103 | 25 | 0,60 | 0,66 |
| 1977 | 126 | 26 | 0,62 | 0,74 |
| 1970 | 146 | 27 | 0,65 | 0,83 |
| 2003 | 151 | 28 | 0,67 | 0,92 |
| 1990 | 152 | 29 | 0,70 | 1,01 |
| 1996 | 155 | 30 | 0,72 | 1,11 |
| 1997 | 173 | 31 | 0,74 | 1,22 |
| 1978 | 199 | 32 | 0,77 | 1,33 |
| 2002 | 205 | 33 | 0,79 | 1,46 |
| 1969 | 210 | 34 | 0,82 | 1,60 |
| 1985 | 213 | 35 | 0,84 | 1,76 |
| 1976 | 240 | 36 | 0,87 | 1,94 |
| 1983 | 248 | 37 | 0,89 | 2,15 |
| 2008 | 249 | 38 | 0,91 | 2,42 |
| 1968 | 253 | 39 | 0,94 | 2,77 |
| 1989 | 286 | 40 | 0,96 | 3,29 |
| 1995 | 289 | 41 | 0,99 | 4,40 |

| | |
|---|---|
| **n** | 41 |
| **M** | 101,32 |
| **S** | 93,01 |
| **Me** | 60,4 |
| **Max** | 289 |
| **Min** | 1,42 |



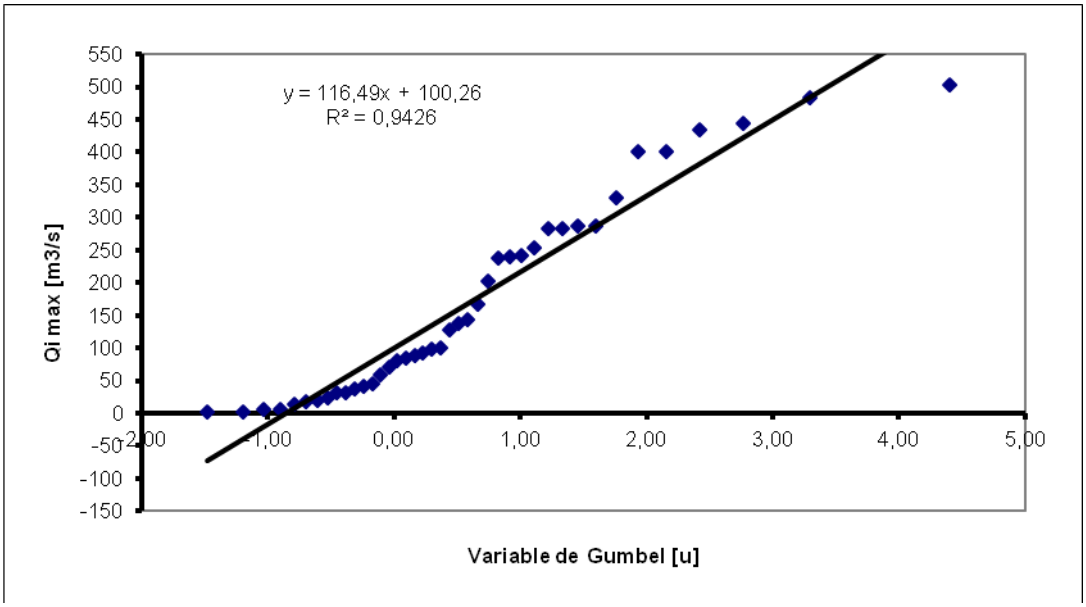

| Coefficients de la droite de Gumbel : Qjmax= Gu+Po | |
|---|---|
| G | Qjo |
| 70,6 | 61,1 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| période de retour T= | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | [ans] |
| obabilité de non dépassement de Qj max= | 0,5 | 0,8 | 0,9 | 0,95 | 0,98 | 0,99 | [-] |
| variable réduite de Gumbel= | 0,4 | 1,5 | 2,3 | 3,0 | 3,9 | 4,6 | [-] |
| Qi max pour période de retour T = | **22,4** | **91,6** | **137,5** | **181,5** | **238,4** | **385,9** | [m3/s] |

## Annexe 11 : Ajustement des Qp de la station de Had Kourt

| Année hydro | Qi max | rang | Fréquence empirique | Variable réduite de gumbel |
|---|---|---|---|---|
| 1999 | 1,064 | 1 | 0,01 | -1,48 |
| 2007 | 1,700 | 2 | 0,04 | -1,20 |
| 1998 | 4,913 | 3 | 0,06 | -1,03 |
| 1992 | 6,360 | 4 | 0,09 | -0,90 |
| 2004 | 14,625 | 5 | 0,11 | -0,79 |
| 1980 | 18,100 | 6 | 0,13 | -0,70 |
| 1991 | 19,900 | 7 | 0,16 | -0,61 |
| 1979 | 24,500 | 8 | 0,18 | -0,53 |
| 1993 | 31,000 | 9 | 0,21 | -0,45 |
| 1972 | 31,500 | 10 | 0,23 | -0,38 |
| 1984 | 37,800 | 11 | 0,26 | -0,31 |
| 2001 | 41,259 | 12 | 0,28 | -0,24 |
| 1974 | 44,200 | 13 | 0,30 | -0,17 |
| 2005 | 58,480 | 14 | 0,33 | -0,11 |
| 1988 | 71,100 | 15 | 0,35 | -0,04 |
| 1987 | 79,800 | 16 | 0,38 | 0,03 |
| 1986 | 85,000 | 17 | 0,40 | 0,09 |
| 1975 | 87,400 | 18 | 0,43 | 0,16 |
| 1971 | 92,700 | 19 | 0,45 | 0,23 |
| 1967 | 99,100 | 20 | 0,48 | 0,30 |
| 1981 | 99,700 | 21 | 0,50 | 0,37 |
| 1982 | 127,000 | 22 | 0,52 | 0,44 |
| 1973 | 138,000 | 23 | 0,55 | 0,51 |
| 1977 | 144,000 | 24 | 0,57 | 0,59 |
| 2000 | 167,000 | 25 | 0,60 | 0,66 |
| 1990 | 202,000 | 26 | 0,62 | 0,74 |
| 2003 | 237,929 | 27 | 0,65 | 0,83 |
| 1970 | 240,000 | 28 | 0,67 | 0,92 |
| 1997 | 241,870 | 29 | 0,70 | 1,01 |
| 1969 | 254,000 | 30 | 0,72 | 1,11 |
| 1996 | 282,341 | 31 | 0,74 | 1,22 |
| 2008 | 283,593 | 32 | 0,77 | 1,33 |
| 1968 | 286,000 | 33 | 0,79 | 1,46 |
| 1985 | 286,000 | 34 | 0,82 | 1,60 |
| 2002 | 330,800 | 35 | 0,84 | 1,76 |
| 1995 | 399,909 | 36 | 0,87 | 1,94 |
| 1983 | 400,000 | 37 | 0,89 | 2,15 |
| 1978 | 434,000 | 38 | 0,91 | 2,42 |
| 1976 | 444,000 | 39 | 0,94 | 2,77 |
| 1989 | 482,629 | 40 | 0,96 | 3,29 |
| 2009 | 502,800 | 41 | 0,99 | 4,40 |

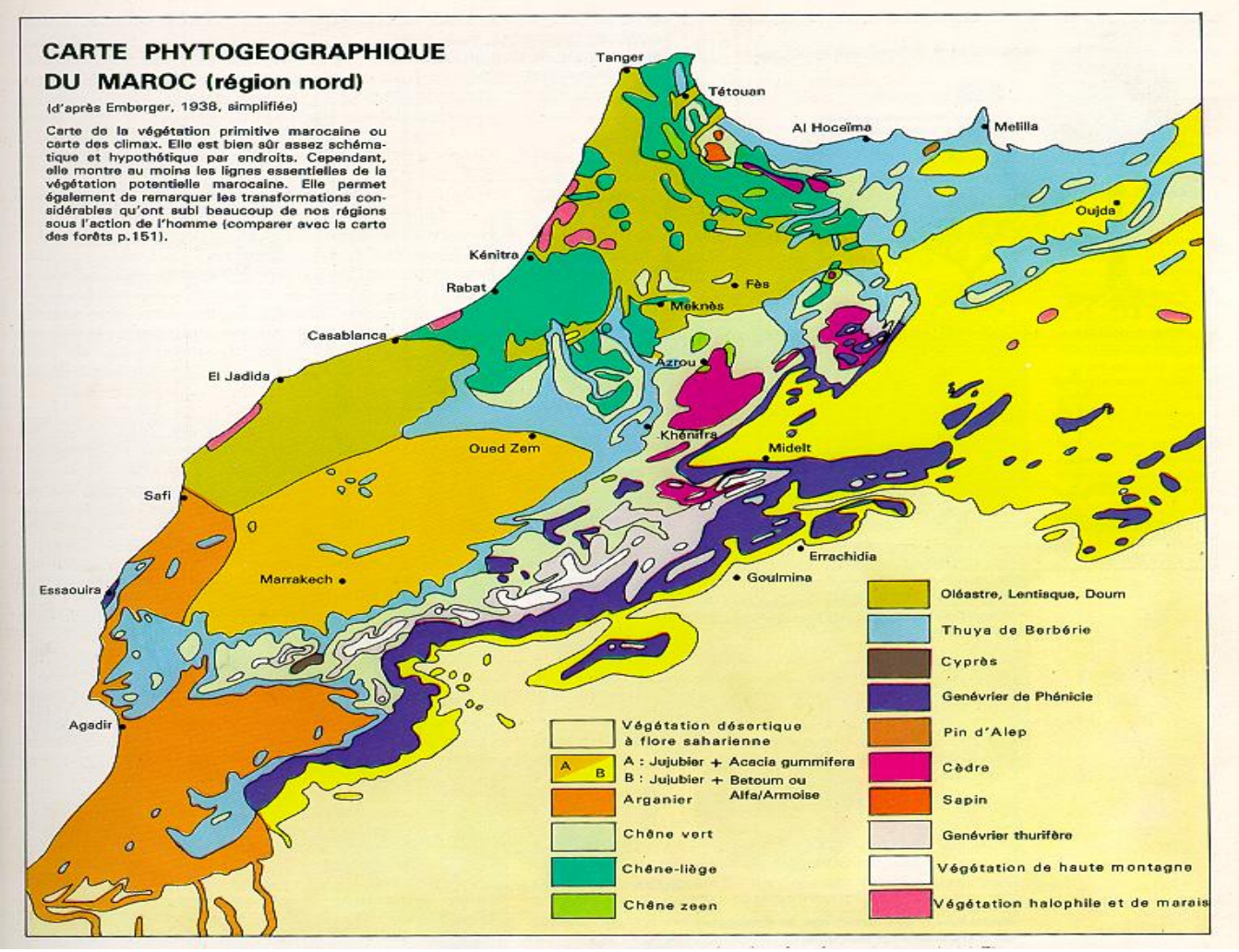
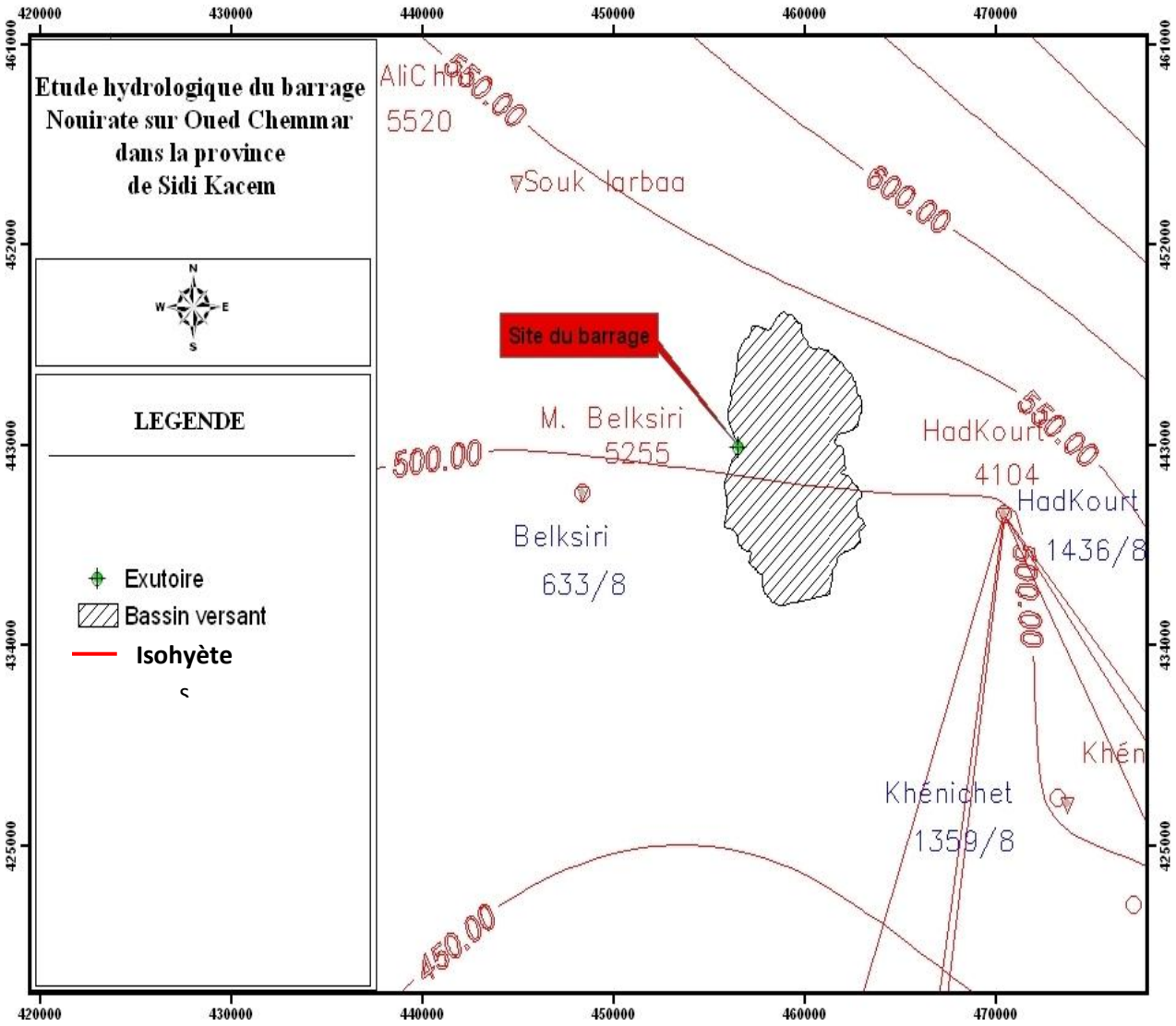
| | |
|---|---|
| **n** | 41 |
| **M** | 166,685 |
| **S** | 151,139 |
| **Me** | 99,7 |
| **Max** | 502,8 |
| **Min** | 1 |




| Coefficients de la droite de Gumbel : Qp= Gu+Po | |
|---|---|
| G | Qpo |
| 116,5 | 100,3 |

| | période de retour T= | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | [ans] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| obabilité de non dépassement de Qj max= | | 0,5 | 0,8 | 0,9 | 0,95 | 0,98 | 0,99 | [-] |
| variable réduite de Gumbel= | | 0,4 | 1,5 | 2,3 | 3,0 | 3,9 | 4,6 | [-] |
| Qi max pour période de retour T = | | **143,0** | **275,0** | **362,5** | **446,3** | **554,9** | **636,2** | [m3/s] |

# Annexe 12 : Carte phytogéographique de Maroc (région du nord)



## Annexe 13 : Carte des isohyètes de Sebou