

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEN

N° d'ordre :

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

LABORATOIRE RESSOURCES HYDRIQUES, MINIERES ET PEDOLOGIQUES :
CHOIX TECHNOLOGIQUE ET LEGISLATION DE L'ENVIRONNEMENT

MEMOIRE DE MAGISTER

Option

Ressources en Eau dans leur Environnement

Présenté par

MEDANE Kheira

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT :
CAS DU BASSIN VERSANT DE L'OUED BOUMESSAOUD
(TAFNA NW- ALGERIEN).**

Soutenu le / /2012 devant les membres du jury :

Mme Nasséra GHELLAI	Professeur	Univ. Tlemcen	Présidente
Mr Abderrazak BOUANANI	Professeur	Univ. Tlemcen	Encadreur
Mr Djamel BOUDJEMLINE	Maître de conférences A	Univ. Oran	Examineur
Mr Abderrahmane GHENIM	Maître de conférences A	Univ. Tlemcen	Examineur
Mme Kamila BABA-HAMED	Maître de conférences B	Univ. Tlemcen	Invitée

REMERCIEMENTS

Je remercie notre Bon Dieu le Tout Puissant de m'avoir guidé, aidé et donné la foi et le courage pour accomplir ce travail.

J'exprime mes vifs remerciements à mon encadreur Monsieur A. BOUANANI, pour sa disponibilité et ses conseils précieux tout au long de l'élaboration de ce travail.

Ma profonde reconnaissance va au Professeur madame N. GHELLAI qui a accepté de présider mon jury.

Mes remerciements s'adressent aussi à Messieurs : D. BOUDJEMLINE maître de conférences à l'université d'Oran et A. GHENIM maître de conférences à l'université de Tlemcen qui ont bien voulu examiner ce mémoire.

Mes sentiments de gratitude sont adressés à madame K. BABA- HAMED ; pour son encouragement et son soutien moral et encore d'avoir accepté de faire partie du jury.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à me faciliter la réalisation de ce travail, en particulier Monsieur A. BAGHLI pour son aide précieuse qu'il m'a offerte.

DEDICACE

Je dédie ce travail à :

La mémoire de ma grand-mère

*Mes très chers parents pour leurs sacrifices et leurs encouragements durant
toutes mes études.*

Mon frère, et mes sœurs.

A toute ma famille, ainsi qu'à tous les étudiants de ma promotion.

ملخص

إن دراسة العلاقات التي تربط التساقط بالجريان في الاودية عملية ذات أهمية خاصة و ذلك في العديد من التطبيقات العملية في مجال تسيير الموارد المائية. و بغرض معرفة و فهم أوضح لهيدرولوجيا الحوض المائي لوادي بومسعود (شمال غرب تافنة- الجزائر) قمنا بتطبيق نموذج التساقط- جريان مياه التدفق وهو النموذج الشامل للخران أو نموذج الهندسة الريفية على حوض واد بومسعود. قبل ذلك استعملنا نموذج العلاقات الرياضية البسيطة, والتي لم تعطي النتائج المرجوة ذلك أن هذا النوع من النماذج لا يستعمل كل المعطيات التي تؤثر في ظاهرة الجريان. في هذه الدراسة, ارتأينا أن نركز على تطبيق نموذج الهندسة الريفية قمنا بالحسابات و ذلك على المدى السنوي, الشهري و اليومي حيث أدخلنا عامل التبخر كأحد المعطيات بالإضافة الى عاملي التساقط و التدفق.

بعد ضبط النماذج المحصل عليها قمنا بإثبات صحة هذه النتائج بهدف ايجاد النموذج الفعال. والنتائج كانت مرضية جدا مع بيانات أمطار التساقط لتلمسان. إن النتائج المحصل عليها تثبت أن هذا النموذج 'الهندسة الريفية' يعتمد على مبادلات الغلاف الجوي – باطن الأرض وكذا سعة الخزان الجوفي. مما أكسبه نجاعة أكثر و فعالية إضافية في الأداء, لذا ينصح باستعماله.

الكلمات المفتاحية : الهيدرولوجيا, الحوض المائي, واد بومسعود, النموذج, التساقط – التدفق, نموذج الهندسة الريفية, السنوي, الشهري, اليومي.

RESUME

Pour une meilleure compréhension du comportement hydrologique du bassin versant de l'oued Boumessaoud, nous avons tenté dans ce travail l'application de la modélisation pluie-débit en utilisant un modèle global à réservoir : le modèle du Génie rural « GR ».

Les modèles hydrologiques globaux permettent de simuler la transformation de la pluie en débit sur des bassins naturels, pour de nombreuses applications pratiques dans le domaine de la gestion de la ressource en eau. Ce travail basé sur la modélisation pluie-débit à l'échelle annuelle, mensuelle et journalière ; est appliqué au bassin versant d'Oued Boumessaoud (Tafna-NW algérien). Nous avons tenté une modélisation pluie-lame d'eau écoulée par l'approche corrélatoire, toutefois les résultats obtenus n'étaient pas concluants.

L'application du modèle GR (GR1A, GR2M et GR4J) dont les paramètres d'entrée sont les précipitations et l'ETP (calculée par deux méthodes différentes en l'occurrence celles de Turc et Thornthwaite pour les modèles annuel et mensuel et celle d'Oudin pour le pas journalier) et le paramètre de sortie est constitué par les lames d'eau écoulées.

La phase du calage du modèle GR donne des résultats très appréciables. Pour tester la validité de l'ajustement obtenu du calage, il est nécessaire de juger les performances du modèle sur une période différente de celle ayant servi à ajuster les paramètres du modèle. Les résultats obtenus sont très acceptables avec les données des pluies de Tlemcen (pour le GR2M, GR4J).

Ces résultats indiquent que le modèle prend en compte les différents échanges (atmosphère et souterrains) ainsi que la capacité de réservoir. Il est apparu que le changement d'échelle de temps a ajouté des gains très importants, non seulement en cohérence de l'ensemble des modèles, mais surtout en performance.

Mots clés : Hydrologie, bassin versant, Oued Boumessaoud, Modélisation, pluie-Débit, Modèle, GR1A, GR2M, GR4J.

ABSTRACT

For a better understanding of the hydrological behavior of Boumessaoud Wadi watershed, we attempted, in this work, the application of rainfall-runoff modeling using a global model for reservoir: the Agricultural Engineering model "GR".

The global hydrological models can simulate the transformation of rainfall into runoff in natural basins, for many practical applications in the field of water resources management. This work is on a yearly, monthly and daily rainfall-runoff modeling basis, applied to Wadi Boumessaoud watershed (Tafna - NW Algeria). We tried a rainfall-depth of runoff modeling by correlation approach, however, the results were inconclusive.

Application of the GR model (GR1A, and GR2M GR4J) which input parameters are rainfall and evapotranspiration (calculated by two different methods: for annual and monthly models Turc and Thornthwaite methods, and for the daily interval by Oudin's) and the output parameter is given by the runoff. GR model calibration phase gives noticeable results. To test the setting validity of the fit, it is necessary to consider the performance of the model over a different period from that used to adjust the model parameters. The results are quite acceptable with Tlemcen rainfall data (for GR2M GR4J).

These results indicate that the model takes into account the different exchange (atmosphere and underground) and storage capacity. It seemed that the time scale changes added gains very important, not only in all models consistency, but especially in performance.

Keywords: Hydrology, Watershed, Wadi Boumessaoud, Modeling, Rain-flow, Model, GR1A, GR2M GR4J.

Sommaire

REMERCIEMENTS	2
RESUME	4
INTRODUCTION	10
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	11
I- SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	12
II- CADRE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	13
1- SERIE STRATIGRAPHIQUE	14
1-1- Le secondaire.....	14
a- Grès de Boumediene.....	14
b- Les calcaires de Zarifet	14
c- Les dolomies de Tlemcen	14
d- Les marno-calcaires de Raouraï	14
1-2- Le tertiaire.....	14
a- Les conglomérats de base du Miocène inférieur.....	14
b- Marnes du Miocène inférieur	14
c- Marnes du Miocène moyen.....	14
1-3- Le quaternaire.....	15
a- la carapace calcaire.....	15
b- les alluvions anciennes.....	15
c- les alluvions récentes.....	15
2- ETUDE STRUCTURALE.....	16
3- HYDROGEOLOGIE	18
3-1 Les émergences	18
III – MORPHOMETRIE.....	18
1- CARACTERISTIQUES DE FORME.....	18
1- 1- coefficient de compacité	18
1- 2- Rectangle équivalent	19
2- HYDROGRAPHIE.....	19
2- 1- Paramètre du Réseau Hydrographique.....	21
2-1-1- Rapport de confluence	21
2-1-2- Rapport des longueurs	22
2-1-3- Densité de drainage	23
3- ETUDE DU RELIEF.....	23
a)- Indices de pente I_p	25
b)- Indices de pente globale I_g	26
c)- Etude du profil en long.....	27
CHAPITRE II : ETUDE DES PARAMETRES HYDROLOGIQUES	28
I- ETUDE CLIMATIQUE.....	29
1- Etude des précipitations	29
1-1- Ajustement des précipitations annuelles	30
2- Précipitations mensuelles	33
3- Précipitations saisonnières	34
4- Etude des températures	34
4-1- Courbe pluviothermique de Bagnouls et Gausсен.....	35
5-Evapotranspiration.....	36

5-1- Formule de THORNTHWAITE (1948).....	36
5-2- Formule de Turc (1955).....	36
II- ETUDE DES DEBITS (LES LAMES D'EAUX ECOULEES).....	37
1- Etude des débits annuels	37
1-1- Ajustement des débits annuels	38
2- Etude des débits mensuels	40
2-1 Le coefficient mensuel du débit	41
2-2 Variations saisonnières des débits	43
CHAPITRE III : L'ETAT DE L'ART DE LA MODELISATION	
HYDROLOGIQUE.....	44
1- INTRODUCTION.....	45
1-1-Objectif de la modélisation	45
2- Classification des modèles.....	46
2-1 Le modèle déterministe	47
2-2 Le modèle probabiliste	47
2-21 Le modèle statistique et stochastique	47
2-3 Le modèle événementiel	48
2-4 Le modèle global ou distribué.....	48
2-5 Classification basée sur la représentation des processus hydrologiques.....	48
2-5-1 La modélisation de type boîte noire	48
2-5-2 Un modèle hydrologique à base physique.....	48
2-5-3 Un modèle à réservoir	49
3- Exemple de quelques modèles	49
3-1 TOPMODEL : les aires contributives saturées.....	49
3-2 HEC HMS	49
3-3 Hydrotel : l'intégration des données de télédétection.....	50
3-4 MIKE SHE : la modélisation hydrologique complète.....	50
3-5 TOPKAPI : les ondes cinématiques opérationnelles.....	51
3-6 AIGA : la méthode spécifique aux crues éclair.....	51
4- Les modèles génie rural GR	52
4-1 Le calage et validation d'un modèle	52
4-2 Critères de qualité.....	53
4-3 Objectifs de développement.....	53
4-4 Mode de développement.....	53
5- Le modèle pluie-débit annuel GR1A.....	54
5-1 Commentaires et critiques du modèle GR1A.....	54
5-1-1 Description mathématique	54
5-1-2 Paramètre.....	55
6- Le modèle pluie-débit mensuel GR2M.....	55
6-1 Description mathématique.....	55
6-2 Paramètres.....	56
7- Le modèle pluie-débit journalier GR4J.....	57
7-1 Description mathématique.....	57
7-2 Paramètres.....	60

CHAPITRE IV : MODELISATION PLUIE-DEBIT DE L'OUED BOUMESSAOUD.....	62
I-MODELISATION PAR CORRELATION (précipitations / lames d'eau écoulées).....	63
1- Corrélation annuelle	63
2- Corrélation mensuelle	66
II - APPLICATION DU MODELE GR	68
1- Modèle annuel GR1A.....	68
1-1 Calage du modèle GR1A.....	69
1-2 Validation du modèle	71
2- Modèle mensuel GR2M	73
2-1 Calage du modèle GR2M.....	73
2-2 Validation du modèle GR2M.....	77
3- Modèle journalier GR4J.....	78
3-1 Formule d'Oudin pour la détermination de l'évapotranspiration potentielle en modélisation hydrologique.....	79
3-2 Calage du modèle GR4J.....	79
3-3 Validation du modèle GR4J.....	83
CONCLUSION GENERALE.....	85
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	88
LISTE DES FIGURES.....	93
LISTE DES TABLEAUX.....	95
ANNEXES.....	96

INTRODUCTION GENERALE

De part sa rareté, l'eau en Algérie, comme dans la plupart des pays du monde, est un facteur limitant du développement et source de tensions sociales. La rareté est appréhendée en termes de stress hydrique et d'irrégularité de la ressource, deux facteurs susceptibles de s'accroître avec le changement climatique.

Face au défi d'assurer la couverture des besoins sans cesse croissants en eau (villes, industries, agriculture), une politique active de mobilisation des ressources eau a été mise en œuvre, ainsi que de nouveaux instruments de gestion. Dans ce contexte, on comprend alors aisément la nécessité de mettre au point des outils d'aide à la gestion et à la décision qui permettent de mieux cerner le fonctionnement des hydro-systèmes naturels et le devenir de l'eau dans son environnement. L'utilisateur de ces instruments peut bénéficier ainsi d'une meilleure connaissance de la répartition spatiale et temporelle des flux d'eau et des matières et composés qu'elle véhicule à l'échelle du bassin.

En hydrologie, une représentation mathématique simplifiée de tout ou partie des processus du cycle hydrologique est indispensable. Donc les concepts hydrologiques sont exprimés en langage mathématique pour représenter le comportement correspondant observé dans la nature. Pour l'utilisateur, l'intérêt d'un modèle réside dans sa capacité à apporter une réponse "satisfaisante" aux questions qu'il se pose à propos de l'objet modélisé. De nos jours il existe différents types de modèles : du modèle physique au modèle empirique, du distribué au global, et chaque type exprime une façon de concevoir le cycle hydrologique (Mouelhi, 2003). Une classification peut être faite sur quelques clefs de différenciation d'après des critères énoncés par Clarke (1973) & Ambroise (1998).

L'apparition et l'essor des modèles pluie-débit a commencé dans les années soixante. (Nascimento, 1995). Le souci de la modélisation pluie-débit est de mettre à la disposition des aménageurs ou bien des ingénieurs un outil «simple» permettant l'estimation ou la prévision des débits pour une étude d'aménagement désirée (barrages, lacs, ponts, etc....).

Pour ce faire, nous allons appliquer les modèles du Génie rural (GR1A, GR2M, GR4J) sur le bassin versant d'Oued Boumessaoud (Tafna- NW Algérie). L'objectif est de trouver les paramètres optimaux de chaque modèle qui permettent une meilleure simulation afin d'apprécier les débits simulés pour la prévision et ou la prédétermination.

Cette recherche est structurée en quatre chapitres :

Le premier chapitre, donne une présentation du site d'étude, ainsi qu'un aperçu géologique et morphologique sur le bassin versant.

Le second chapitre, sera consacré à l'étude climatique et hydrologique du bassin versant d'Oued Boumessaoud.

Dans le troisième chapitre, nous présentons l'état de l'art de la modélisation pluie-débit.

Enfin, le quatrième chapitre porte sur l'application du modèle GR1A, GR2M et GR4J sur les données relatives au bassin versant d'Oued Bouemssaoud.

CHAPITRE I :
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I- SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le bassin versant de l'Oued Boumessaoud est situé à l'Ouest de la ville de Tlemcen, il occupe une superficie de 118 km² pour un périmètre de 59 km. Il est limité ;

- A l'Est de la route nationale N°98 reliant Tlemcen, Hennaya, Zenata ;
- au Nord par la Tafna, Remchi ;
- au Sud par le plateau de Terny ;
- à l'Ouest par l'Oued Zitoun.

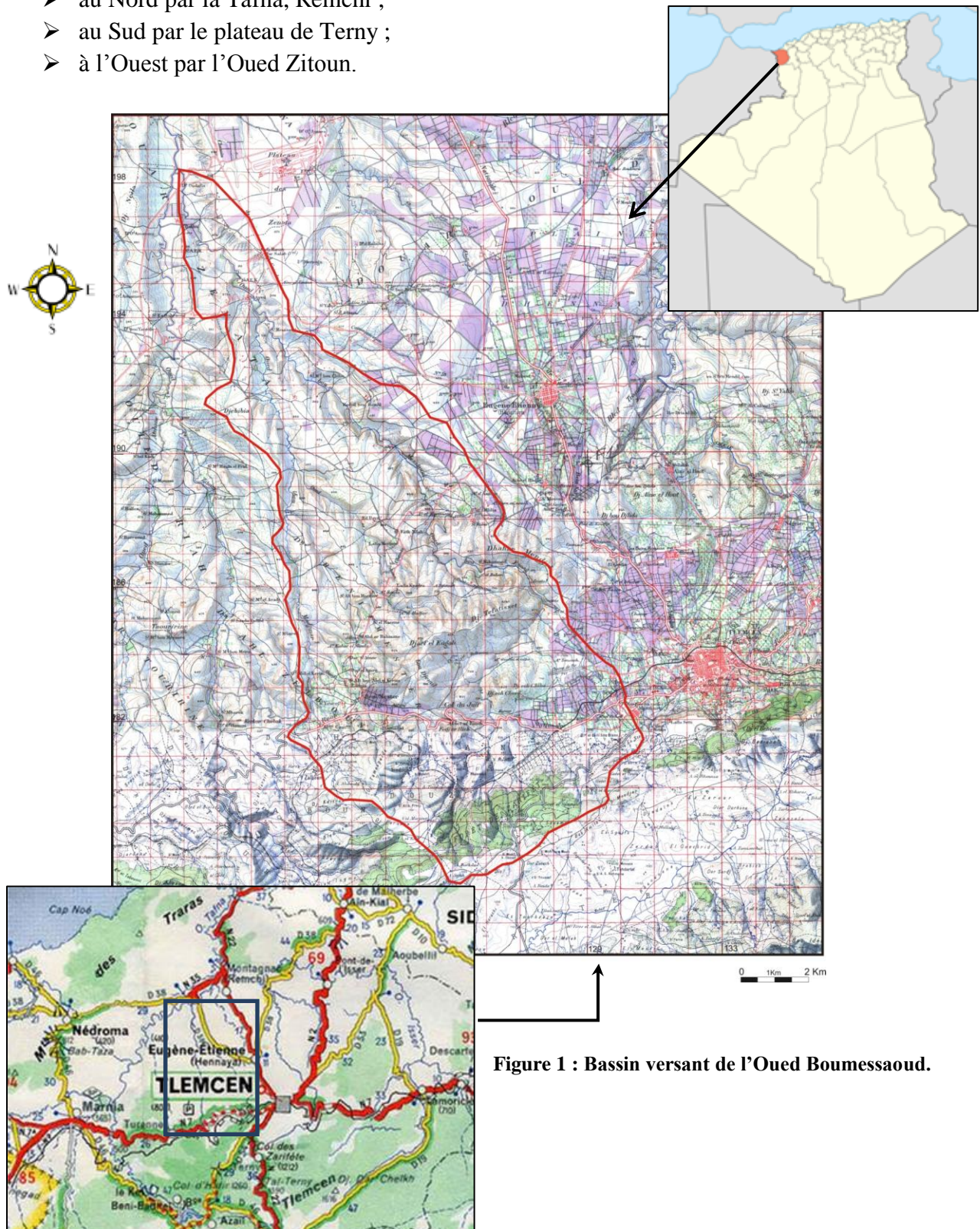


Figure 1 : Bassin versant de l'Oued Boumessaoud.

II- CADRE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Le bassin versant de l'Oued Boumessaoud est occupé essentiellement ; dans sa partie sud par les séries jurassiques, recouvertes au Nord par des niveaux miocènes qui reposent en discordance sur les formations mésozoïques ; et dans la parties Nord en aval ; les niveaux du Miocène sont recouverts par des alluvions d'âge pliovillafranchiens, comprenant des limons briques claires, des poudingues durs à ciment calcaire.

De la base au sommet de la série, on rencontre le secondaire représenté par le Jurassique, le Tertiaire par le Miocène et le Quaternaire par les alluvions.

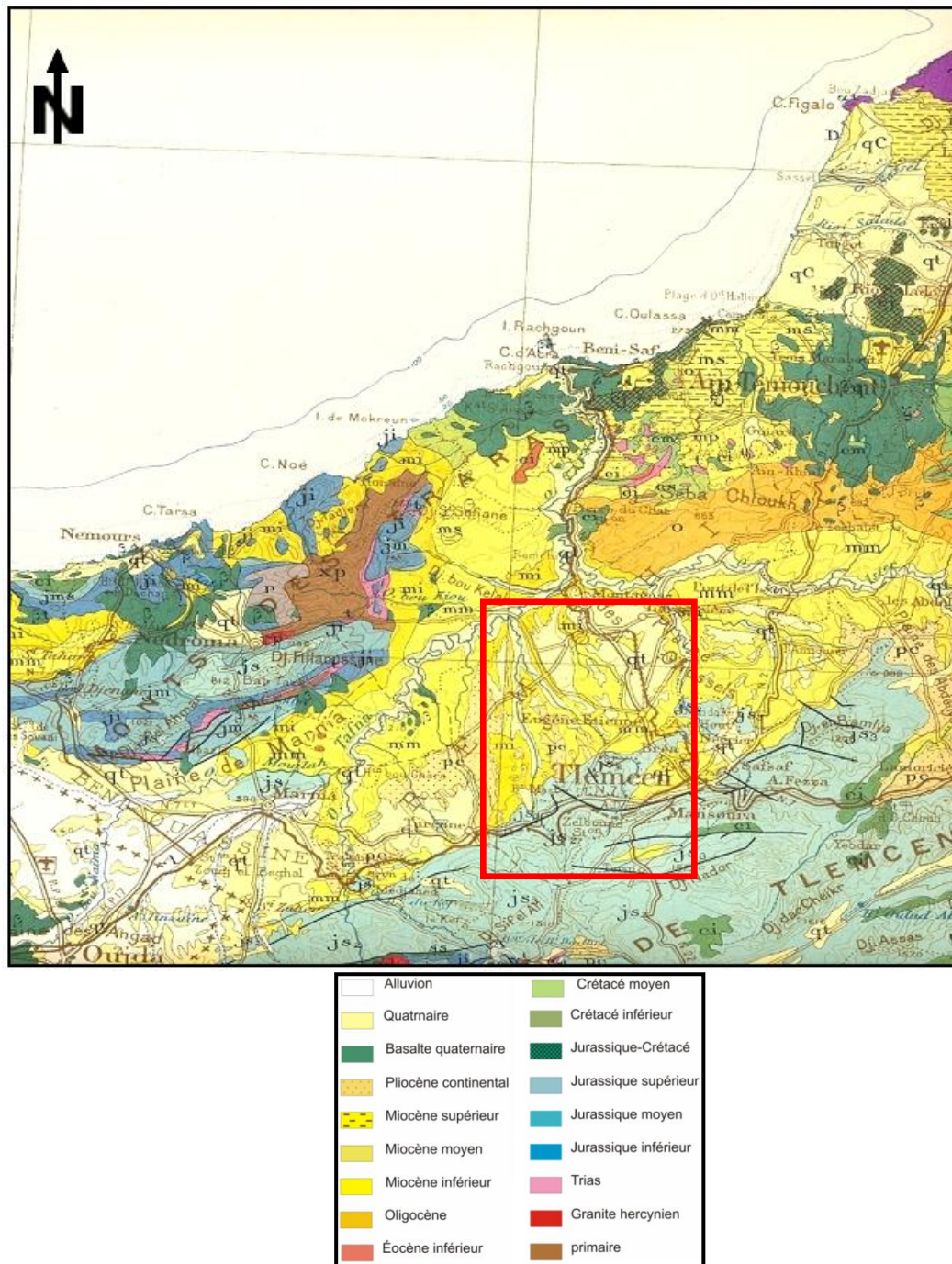


Figure 2 : Carte géologique de la région de Tlemcen au 1/500.000 (A.CLAIR. 1973, In Boucif. 2006).

1- SERIE STRATIGRAPHIQUE

1-1- Le secondaire

Il forme l'ossature de la région étudiée, il est représenté par le Jurassique supérieur, on le distingue de la base vers le sommet.

a- Grès de Boumediene

Ces grès affleurent sur une grande partie du bassin versant surtout à Beni Mester et à la forêt de Zarifet. Ils se présentent en bancs bruns, ferrugineux en surface, à éléments fins à moyens, à ciment, calcaires et quartziteux. Ils sont de couleur blanche, roussâtre à la cassure.

b- Les calcaires de Zarifet

Il s'agit de bancs calcaires de position intermédiaire entre les grès de Boumediene et les dolomies qui forment les environs de Tlemcen.

c- Les dolomies de Tlemcen

Les dolomies de Tlemcen affleurent largement sur le bassin (Djbel Tifatisset, forêt de Zarifet). Les dolomies donnent des reliefs massifs et uniformes dans lesquelles la stratification est difficilement reconnue.

d- Les marno-calcaires de Raouraï

Ces marno-calcaires affleurent au Djbel Tifatisset et au Djebel Ech-chiba, où on trouve un ensemble marneux et marno-calcaire avec intercalation de bancs de calcaire franc et blanc.

1-2- Le tertiaire

Le tertiaire est représenté par le Miocène marneux et le pliocène conglomératique.

a- Les conglomérats de base du Miocène inférieur

Le Miocène débute par une assise conglomératique de base qui n'affleure pas dans le bassin de l'Oued Boumessaoud, mais il est visible dans le bassin versant de l'Oued Zitoun.

b- Marnes du Miocène inférieur :

Ce sont des marnes friables de couleur verdâtre en surface, grise en profondeur présentant parfois une intercalation de lits limoneux. L'épaisseur varie entre 50 et 100 m.

c- Marnes du Miocène moyen

Ce sont des marnes très friables présentant en intercalation des bancs de grès jaunâtre, très dures. L'épaisseur de la série peut atteindre 150 m.

1-3- Le quaternaire

a- la carapace calcaire

La carapace calcaire s'étale sur une grande partie des marnes formant ainsi les plateaux du Miocène son épaisseur varie de quelques centimètres à un mètre et devient importante sur le plateau de Zenata où elle peut atteindre 4 à 5 mètres.

b- les alluvions anciennes

Ce sont des dépôts correspondant à des éboulis de pentes provenant de la désagrégation des dolomies et calcaires.

c- les alluvions récentes

Ce sont des dépôts limoneux nivelant les partie basses des plaines et des vallées et aux bords des cours d'eau, qui se présentent généralement en deux terrasses :

- Terrasses hautes, sable argileux.
- Terrasses basses, sable argileux ; graviers et galets.

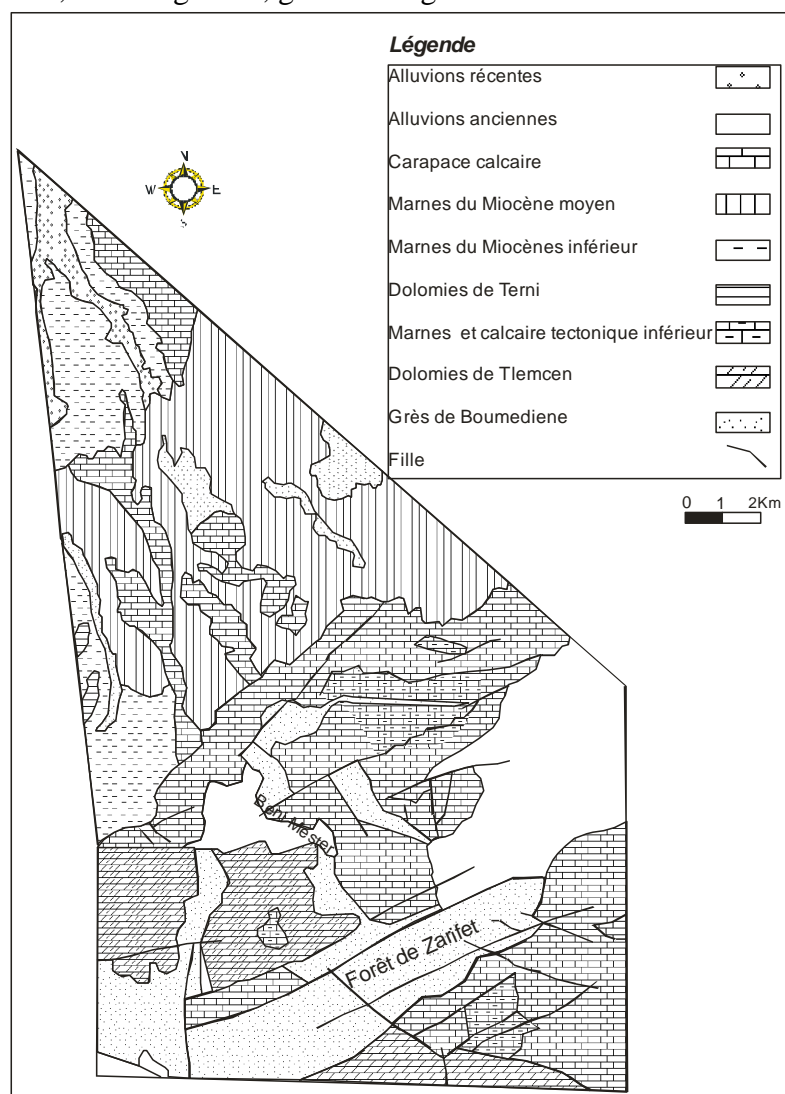


Figure 3 : Carte géologique de l'Oued Boumessaoud (In Abdellali, 1987).

2- ETUDE STRUCTURALE

Le bassin de l'Oued Boumessaoud est affecté dans sa partie sud par les effets d'une tectonique cassante dominante qui a permis la mise en place d'un karst développé.

On pourra noter, qu'un système des failles d'effondrements de direction général N60° telles que :

- Les failles de la forêt de Zarifet.
- Les failles de Tefatisset.

Le pendage des formations du Jurassique varie entre 10° et 50° avec des directions N à NW (à Djebel Tefatisset) et SE (à la forêt de Zarifet). Les grès de Boumediene très fracturés à leur partie supérieur avec un pendage très faible.

Dans la région de l'Oued Boumessaoud nous avons 3 principales directions de cassures : (des accidents S-N ; WSW-ENE et SW-NE).

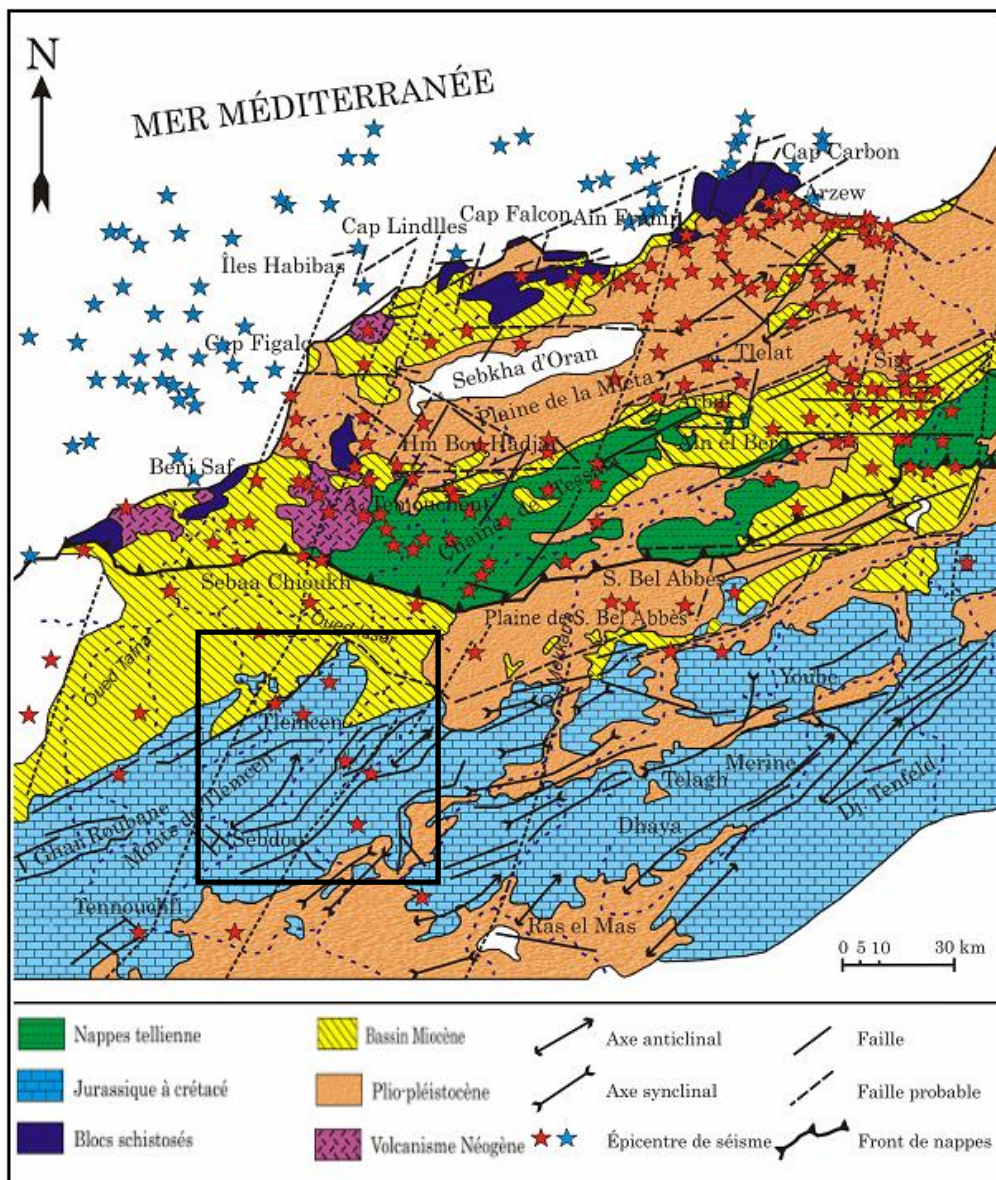


Figure 4 : Carte structurale de l'Oranie nord-occidentale (Thomas, 1985).

Tableau 1: Fréquences de direction des failles (Abdellali, 87).

Direction des failles	Nombre	Fréquence en %
N-N10	2	5,13
N10-N20	1	2,56
N20-N30	1	2,56
N30-N40	1	2,56
N40- N50	3	7,7
N50-N60	0	0
N60-N70	11	28,2
N70-N80	3	7,7
N80-N90	1	2,56
N90-N100	2	5,13
N100-N110	0	0
N110-N120	0	0
N120-N130	6	15,4
N130-N140	6	15,4
N140-N150	1	2,56
N150-N160	0	0
N160-N170	0	0
N170-N180	1	2,56

La rosace de distribution directionnelle des nombres de failles (Tableau 1) fait ressortir deux familles directionnelles principales : N 60° et N120° à N140° (figure 5).

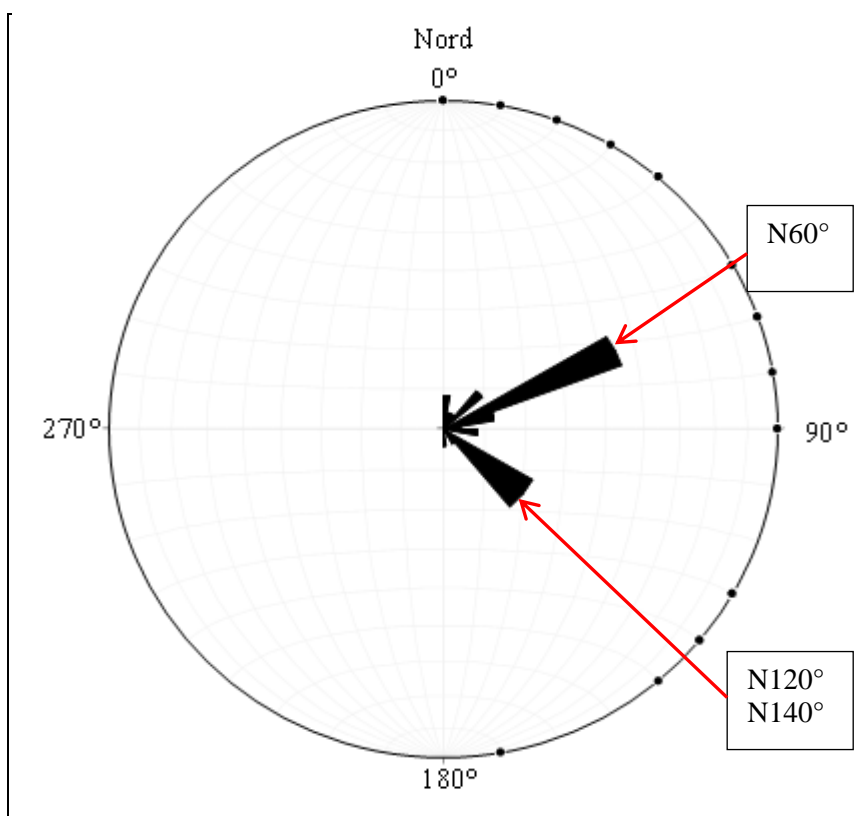


Figure 5 : Rosace de distribution directionnelle des failles.

3- HYDROGEOLOGIE

Le bassin versant de l'Oued Boumessaoud comporte deux parties dont les caractéristiques hydrologiques sont liées à la lithologie :

- Marnes du Miocène et alluvions quaternaires au Nord du bassin.
- Séries calcaire-dolomitiques et gréseuses au Sud du bassin.

Peuvent être considérées comme semi perméables dans l'ensemble, Les alluvions quaternaires composées généralement des argiles et des galets. Le Miocène moyen et inférieur est représenté par les marnes avec intercalations de quelques bancs de grès sont considérées comme niveau imperméable.

Les dolomies de Tlemcen fracturées et karstifiées constituent un important réservoir aquifère dont la vidange se fait par un ensemble de sources qui émergent au niveau du bassin de l'Oued Boumessaoud. Avec quelques intercalations de calcaires et de niveaux marneux l'ensemble gréseux est perméable et joue le rôle de drain.

3-1 Les émergences

La plupart des sources émergentes dans le bassin de l'Oued Boumessaoud se situent dans des secteurs faillés. D'après Abdellali 1987, il existe 4 types de sources :

- Sources des dolomies de Tlemcen.
- Sources des grès de Boumediene.
- Sources issues des alluvions.
- Et source thermique.

On peut citer quelques sources dolomitiques qui émergent à la faveur de failles : Ain Soltan, Ain El Hammam et Ain Tamouch...etc

Les sources qui émergent au sein des formations dolomitiques à la faveur d'un réseau de fissures : Ain Bahari , Ain Douz ,Ain Ramla et Ain Stah.. etc

La source thermique est représentée par Ain El Hammam.

III - MORPHOMETRIE

1- CARACTERISTIQUES DE FORME

En raison de l'importance des caractéristiques physiques du bassin versant vis-à-vis de l'hydrologie de surface, nous présentons les paramètres les plus importants :

1- 1 coefficient de compacité :

Le contour d'un bassin versant en est sa première définition, ce contour a une certaine forme occupé une certaine superficie « A » cette forme va avoir une influence sur l'écoulement global et surtout sur l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée.

Un bassin allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin de forme arrondie. La connaissance de cet indice permet de comparer le périmètre du bassin versant à celui d'un cercle ayant la même superficie.

$$K_c = P/2\sqrt{\pi A}$$

Avec :

A : superficie du bassin versant en (km²). 118 Km²

P : Périmètre du bassin versant en (km). 59 Km

Pour le bassin versant d'Oued Boumessaoud, $K_c = 1,52$; le bassin est donc relativement allongé traduisant une érosion linéaire et régressive.

1-2- Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est un modèle mis au point par M.Roche pour comparer les bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement.

- La longueur du rectangle équivalent L (km)

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2} \right]$$

$$L = 24,53 \text{ km}$$

- La largeur du rectangle équivalent l (km)

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2} \right]$$

$$l = 4,74 \text{ km}$$

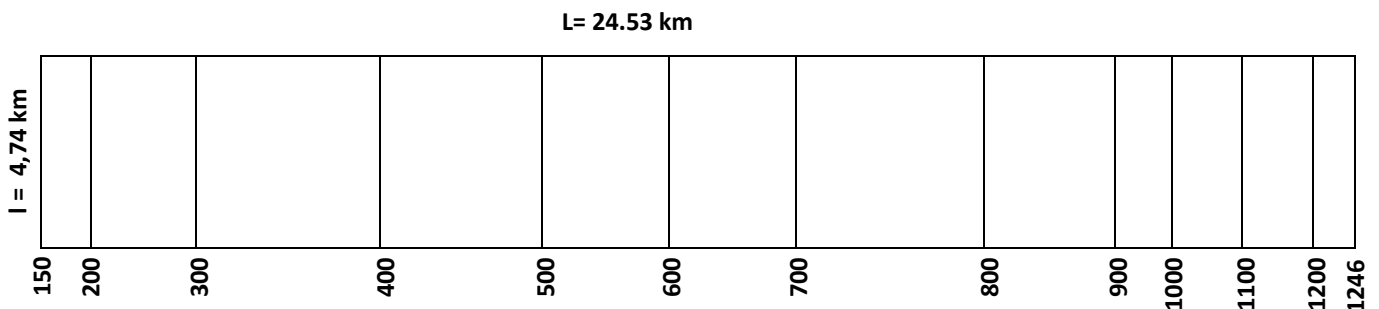


Figure 6 : Le rectangle équivalent.

2- HYDROGRAPHIE

La disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques. Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les formations carbonatées du Jurassique et se modifie avec l'évolution de la tectonique.

Le bassin versant de l'oued Boumessaoud est drainé par deux oueds principaux (Oued Boumessaoud et l'oued Boumadjmar).

Il débute des monts de Tlemcen, des Djebels : Zarifet et Tamesguida. Il sillonne les communes de : Mansourah, les localités d'Inndouz et de Zelboune tous deux commune de Béni Mester, Hennaya, Zénata et Ouled Riah.

Le premier cours d'eau (Oued Boumessaoud) s'écoule vers le Nord suivant la direction SE-NW, le deuxième (Oued Boumedjmar) s'écoule également vers le Nord, mais surtout suivant une direction SSE-NNW. Ces deux Oueds confluent à Sidi Messaoud et vont déverser leur apport dans la Tafna, après avoir rencontrés l'Oued Zitoun (Figure 7).

Le réseau hydrographique est composé dans son ensemble de petit cours d'eau à écoulement rémittent.

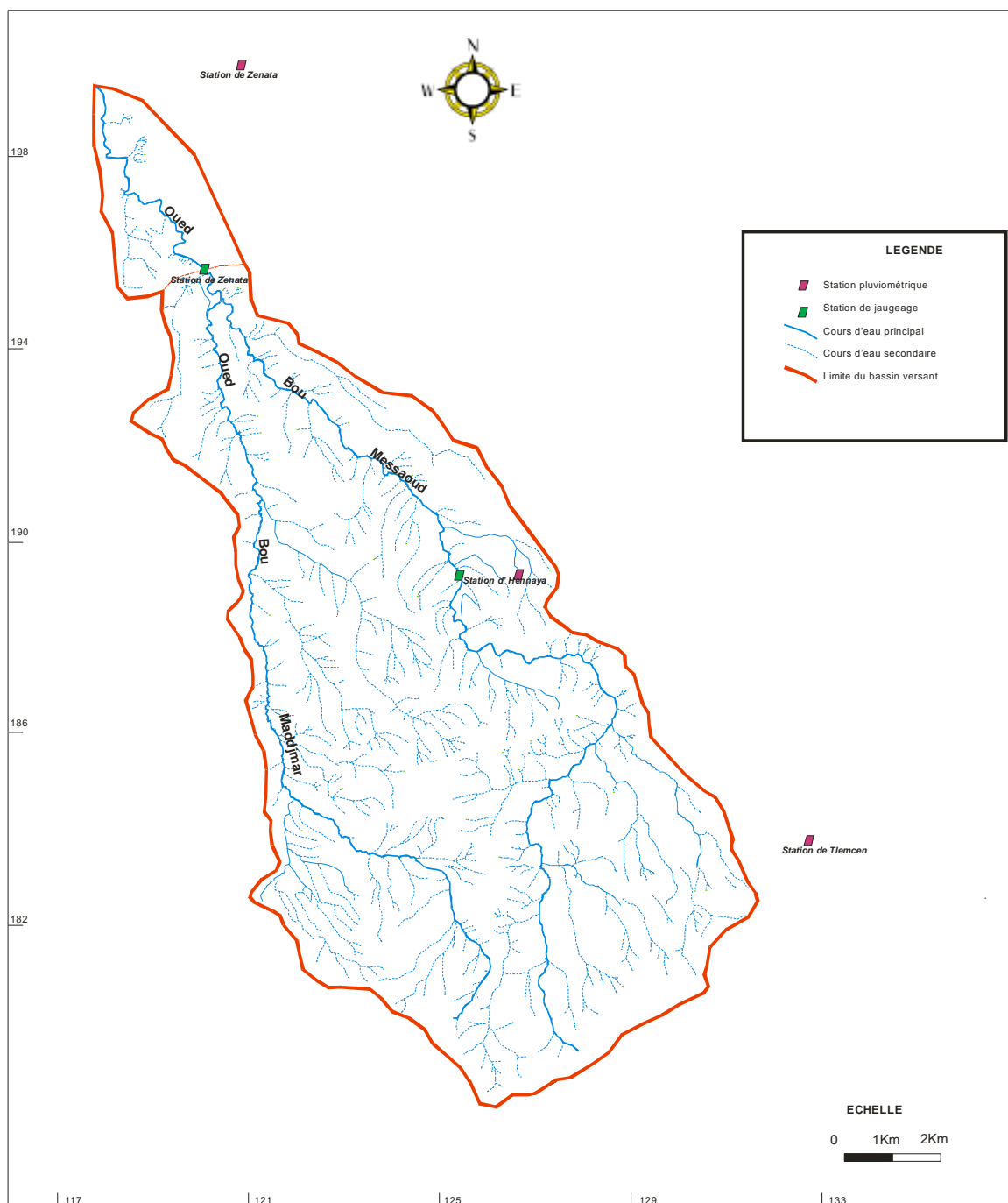


Figure 7 : Réseau hydrographique d'Oued Boumessaoud.

2-1- Paramètre du Réseau Hydrographique

Les paramètres importants qui régissent le régime hydrologique d'un cours d'eau sont : le rapport de confluence (R_c), le rapport des longueurs (R_l) et la densité de drainage (D_d).

2-1-1- Rapport de confluence

Il est défini par : $R_c = N_n / N_{(n+1)}$ Où,

R_c : rapport de confluence.

N_n : nombre de cours d'eau d'ordre n .

N_{n+1} : nombre de cours d'eau d'ordre $n+1$.

Lorsque le réseau est bien organisé, les nombres de cours d'eau successifs forment une série géométrique inverse.

Les points portés sur le diagramme semi-logarithmique sont alignés suivant une droite (figure 7). Le rapport de confluence moyen est égal à la pente de la droite ajustée à l'ensemble des points.

$$a = \frac{\text{Log } N_n - \text{Log } N_{(n+1)}}{(n+1) - n}$$

n : l'ordre de Talwegs.

N : nombre des Talwegs.

a : la pente de la droite ajustée.

Tableau 2 : Calcul du Rapport de confluence

Ordre	Nombre de Talwegs	R_c
1	343	$343/75 = 4,57$
2	75	$75/15 = 5$
3	15	$15/3 = 5$
4	3	$3/1 = 3$
5	1	-

$$R_{cm} = \sum R_c / n$$

$$= 17,57 / 4$$

$$R_{cm} = 4,39$$

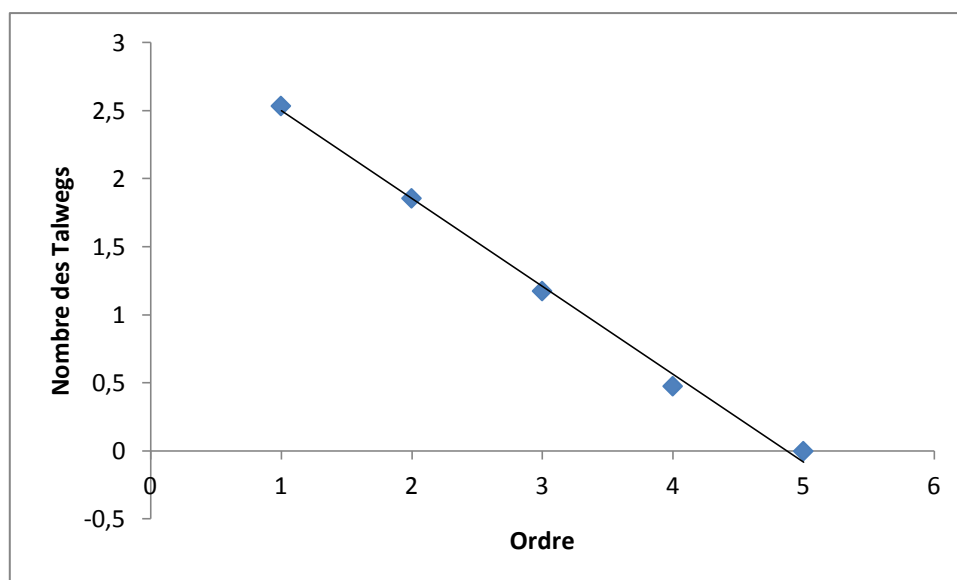


Figure 8 : Droite représentative du nombre de Thalwegs en fonction de l'ordre.

Le rapport R_{cm} qui est la pente de la droite $a = \frac{\text{Log}15 - \text{Log}3}{4-3} = 0.69$.

La valeur de R_{cm} ($R_{cm} = \text{Log} a$) est de 4.89.

2-1-2- Rapport des longueurs

La définition est la suivante :

$$R_L = L_{(N+1)} / L_N$$

L_N : longueur de cours d'eau d'ordre n.

L_{N+1} : longueur de cours d'eau d'ordre n+1.

Tableau 3 : Calcul du Rapport des Longueurs

Ordre	Nombre de Thalwegs	Longueurs cumulées (km)	Longueurs moyennes (km)	RL
1	343	142	0,41	2,26
2	75	70	0,93	1,86
3	15	26	1,73	6,16
4	3	32	10,16	1,07
5	1	11,5	11,5	-

$$R_L = 2,83$$

D'après la figure on peut calculer « R_{Lm} » $R_{Lm} = \text{Log}^{-1} a$

Avec : $a = 0,53$ $R_{Lm} = 3,38$

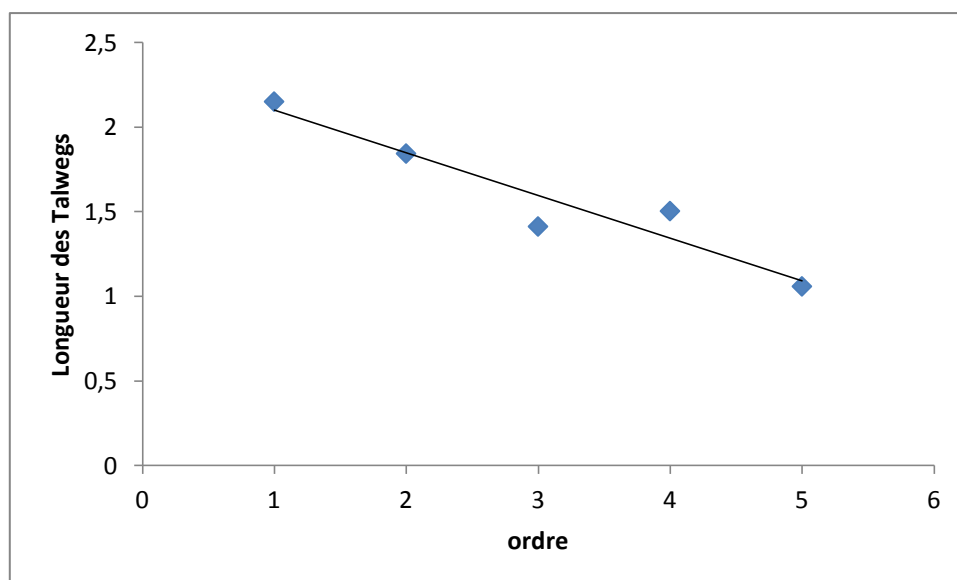


Figure 9 : Le rapport des longueurs.

Les valeurs du rapport de confluence et du rapport des longueurs permettent de dire que le bassin versant de l'Oued Boumessaoud présente une bonne organisation.

2-1-3- Densité de drainage

La densité de drainage est définie par :

$$D_d = \sum L / A$$

Où,

D_d : densité de drainage en km/km²

L : longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km.

A : aire du bassin en km²

$$D_d = 2,38 \text{ km/km}^2$$

3- ETUDE DU RELIEF

La région étudiée présente trois secteurs distincts, au Sud une zone montagneuse caractérisée par les massifs calcaires et dolomitiques ;

Au Nord, une dépression remplie de sédiments tertiaires et quaternaire ;

Au centre, une zone intermédiaire où se pose, donnant une limite nette entre les terrains calcaréo-dolomitiques du Jurassique et les formations marneuses du Miocène.

Au Sud du bassin s'étale le plateau de Terny.

L'incidence du relief sur les caractéristiques hydrogéologiques est considérable, la durée d'imprégnation par les eaux et les possibilités d'infiltration étant d'autant moins élevées que la pente est plus forte, en outre la plus part des facteurs météorologiques sont liés à l'altitude.

Notre étude du relief repose sur estimation par planimétrie de la répartition du bassin en (km²) et en (%) de la superficie totale par tranche d'altitude.

Tableau 4 : Répartition altimétrique du BV.

Tranche d'altitudes (m)	Surface partielle (km ²)	Surface partielle %	Surface cumulée %
1246-1200	1,725	1,463	1,463
1200-1100	5,125	4,347	5,810
1100-1000	5,175	4,309	10,199
1000-900	4,625	3,923	14,122
900-800	14,40	12,213	26,335
800-700	20,125	17,069	43,404
700-600	9,80	8,312	51,715
600-500	9,325	7,908	59,624
500-400	16,325	13,676	73,300
400-300	18,675	15,839	89,139
300-200	10,550	8,948	98,087
200-150	2,250	1,908	99,995

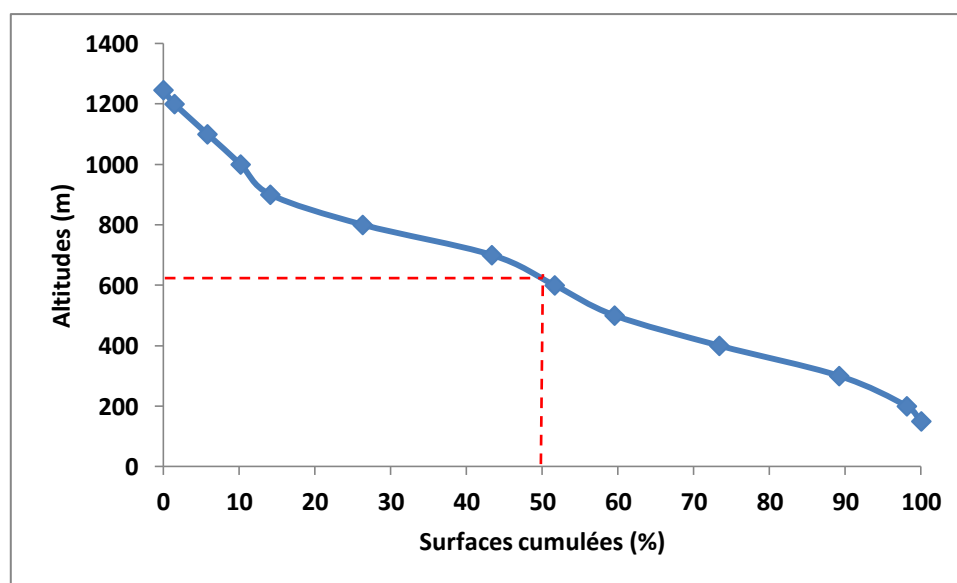


Figure 10 : La Courbe hypsométrique

Partant de ces données ; il est possible d'établir la courbe hypsométrique qui présente en abscisses les altitudes et en ordonnées les pourcentages de la fraction de surface.

L'étude de la courbe hypsométrique (figure 10) ; montre qu'il existe une pente forte en haute altitudes 1000 m indiquant la présence d'une zone subtabulaire correspondant au plateau de Terny. Aussi, l'Oued Boumessaoud est en état d'équilibre vis à vis de l'érosion.

L'altitude maximale est de 1246 m et l'altitude minimale de 150 m. L'altitude moyenne donnée par l'ordonnée moyenne de la courbe hypsométrique est de 610 m.

L'altitude la plus fréquente se situe entre 700 et 800 m. Elle correspond au maximum des fréquences altimétrique (figure 11). Suivi d'un maximum secondaire entre 300 et 400 m.

Les altitudes les moins fréquentes se situent dans la tranche supérieure à 1200 m et 1246 m, qui correspondent au plateau de Terny qui représente un faible développement au niveau du bassin.

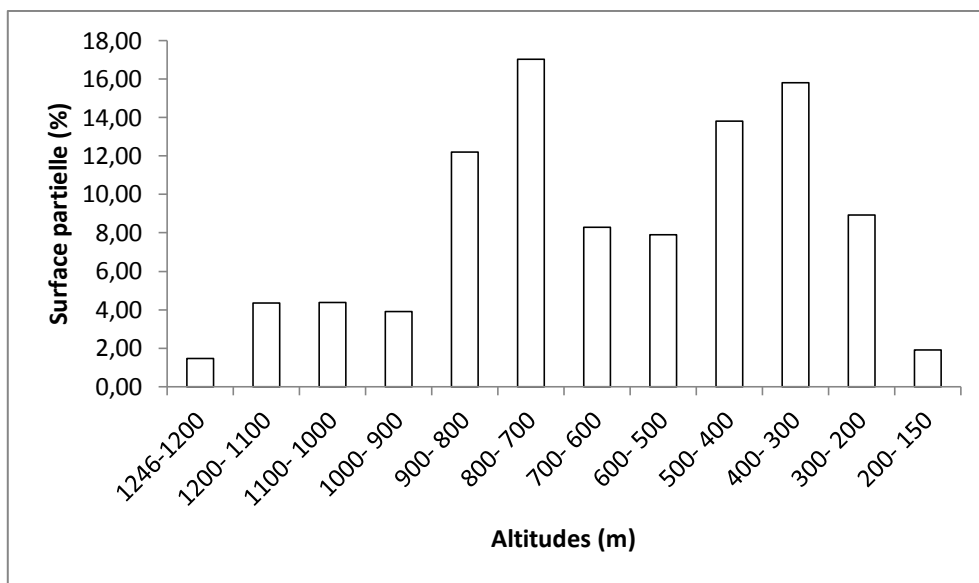


Figure 11 : Histogramme des fréquences altimétriques.

a)- Indices de pente Ip

L'indice de pente Ip défini par Roche à partir du rectangle équivalent ; est égal à :

$$I_p = 1 / L \cdot \sum x_i \cdot \beta_i \cdot [a_i - a_{i-1}]$$

β_i : fraction de la surface totale du bassin comprise entre les côtes a_i et a_{i-1} ; fonction donnée par le tableau hypsométrique.

x_i : distance séparant deux courbes de niveau sur le rectangle équivalent.

L : longueur du rectangle équivalent.

$$I_p = 0,096 = 10 \%$$

b)- Indices de pente globale I_g

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global I_g donné par la relation :

$$I_g = D / L$$

Où,

I_g : indice globale de Roche

D: dénivelée (m).

Sur la courbe hypsométrique déjà tracée, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface totale.

H_5 et H_{95} sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin. La dénivelée D est donc égale à $H_5 - H_{95}$.

$$H_{5\%} = 1120 \text{ m} \quad ; \quad H_{95\%} = 240 \text{ m} \quad ; \quad L = 24530 \text{ m}$$

$$I_g = 0,0358$$

Tableau 5 : Classification d'ORSTOM.

Classe	Type de relief	Indice de pente globale
1	Relief très faible	$I_g < 0,002$
2	Faible	$0,002 < I_g < 0,005$
3	Assez faible	$0,005 < I_g < 0,01$
4	Modéré	$0,01 < I_g < 0,02$
5	Assez fort	$0,02 < I_g < 0,05$
6	Fort	$0,05 < I_g < 0,5$
7	Très fort	$0,5 < I_g$

D'après la classification d'ORSTOM, on peut dire que le bassin versant de l'Oued Boumessaoud présente un relief assez fort.

c)- Etude du profil en long

Le profil en long de l'Oued Boumessaoud ; a été tracé depuis « Ain Zarifet » à 1200 m d'altitude jusqu'à sa rencontre avec l'Oued Zitoun , sur le tronçon (Ain Zarifet- Sidi Slimane), la pente est de 15% et s'adoucit dans le deuxième tronçon qui s'arrête avant Ain El Hammam, la pente est alors de l'ordre de 3% (figure 12).

La rupture de pente visible sur le graphique est liée à la présence de failles d'effondrement comme la faille NE-SW de Zarifet au niveau de Sidi Slimane, la faille de Beni Mester et la faille de Ain El Hammam.

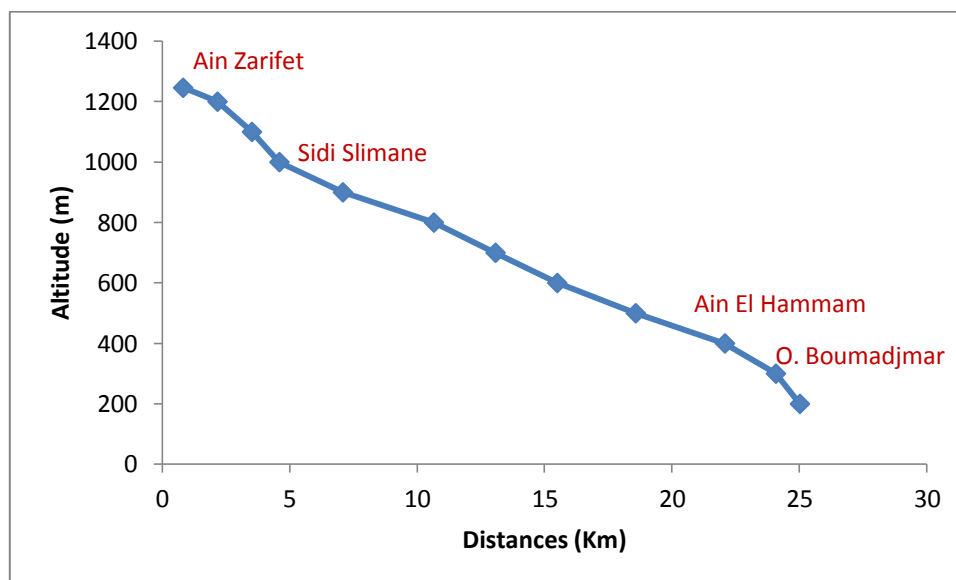


Figure 12 : Profil en long de l'Oued Boumessaoud.

CHAPITRE II :
ETUDE DES PARAMETRES HYDROLOGIQUES

I- ETUDE CLIMATIQUE

1- Etude des précipitations :

Pour cette étude, nous avons pris en considérations les valeurs annuelles et mensuelles des précipitations des trois stations, la station de Tlemcen situé en amont du bassin versant, la station d'Hennaya au milieu du bassin et la station de Zenata se trouvant, en aval.

Tableau 6: Présentation des stations pluviométriques.

Stations	Code	Altitude (m)	Longitude	Latitude	Période d'observation
Tlemcen	160724	832	1°19'	34°52'	1971/2010
Hennaya	160516	515	1°23'17''	34°55'20''	1972/2008
Zenata	605310	246	1°27'25''	35°00'50''	1980/2010

La moyenne des précipitations annuelles au niveau de la station de Tlemcen est de 523,06 mm pour la période 1971-1972 à 2002-2010.

La moyenne interannuelle des précipitations à la station d'Hennaya relative à la période 1972/2008 est de 396,04 mm ; et de 322,45 mm au niveau de la station de Zenata entre 1980/2010.

La variation temporelle de ces précipitations annuelles (figure 13), montre que le régime annuel est très irrégulier d'une année à l'autre, tout d'abord, la moyenne interannuelle diminue ; de l'amont vers l'aval. Pour la station de Tlemcen, on a constaté que 18 années sur 39 dépassent la moyenne avec un maximum de 817,1 mm en 2008-2009 et un minimum de 310,7 en 1982-1983.

La station d'Hennaya, a enregistré 17 années sur 35, où les hauteurs de pluies étaient supérieures par rapport à la moyenne avec un maximum de 612,2 mm en 1973 -1974, le minimum ; a été enregistré durant les deux années 1980-1981 et 1981-1982 ; de 119 et 137,9 mm.

Pour la station de Zenta, la variabilité interannuelle montre que 13/30 années ont enregistré des précipitations plus élevés par rapport à la moyenne, avec un maximum enregistré en 2008-2009, de 549,8 mm et un minimum de 192,6 mm en 1982-1983.

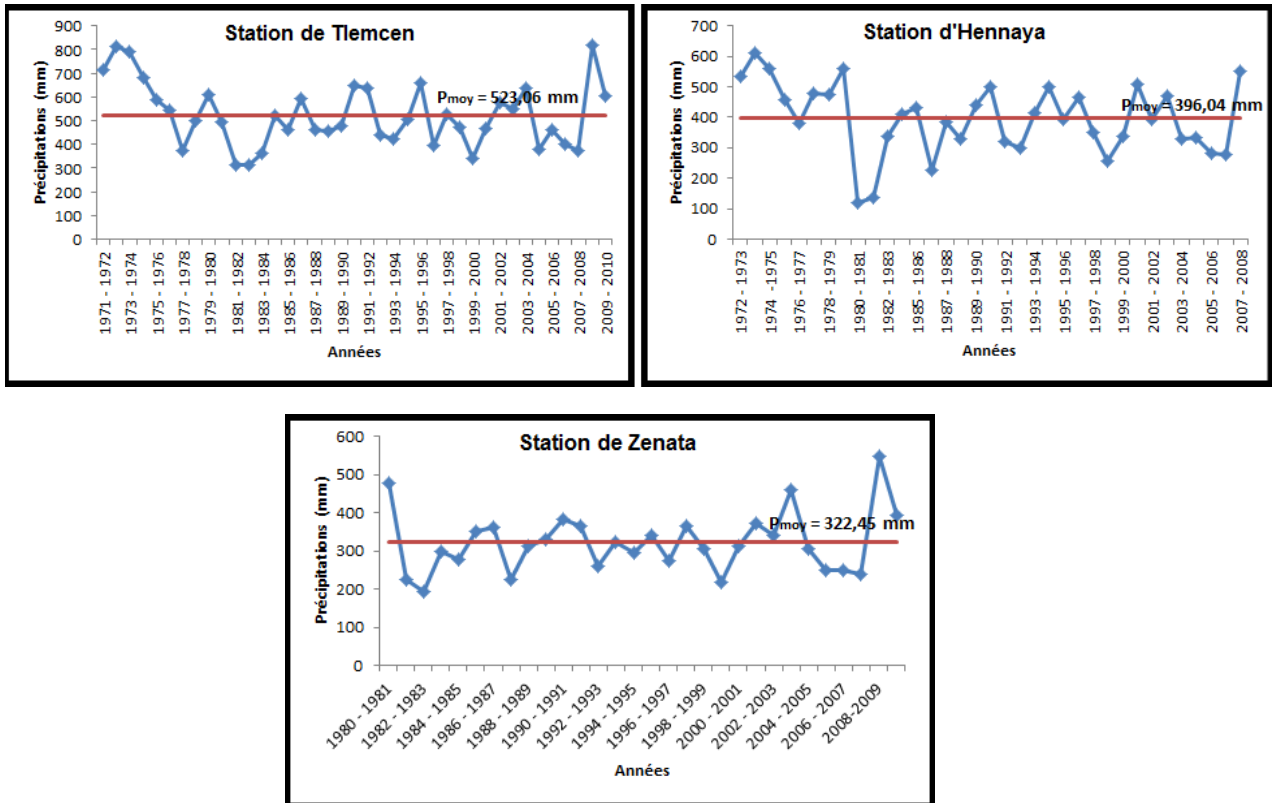


Figure 13 : Variations interannuelles des précipitations des stations de Tlemcen, Hennaya et Zenata.

1-1- Ajustement des précipitations annuelles :

Pour mieux cerner cette irrégularité inter annuelle des précipitations qui a un rôle essentiel et décisif sur l'écoulement fluvial et afin de caractériser le régime des précipitations annuelles, nous allons essayer de trouver une loi d'ajustement de la distribution des pluies annuelles dans le but d'aboutir à une estimation des paramètres d'ajustement.

Tableau 7 : Calcul statistique des trois stations.

Stations	Moyenne (mm)	Ecart type	Coef de variation
Tlemcen	523,06	134,86	0,26
Hennaya	396,04	118,40	0,29
Zenata	322,45	80,40	0,24

- **Test graphique :**

L'ajustement graphique des séries pluviométriques des trois stations (figure 14) ; montre que la pluie s'ajuste en général suivant une loi normale de Gauss.

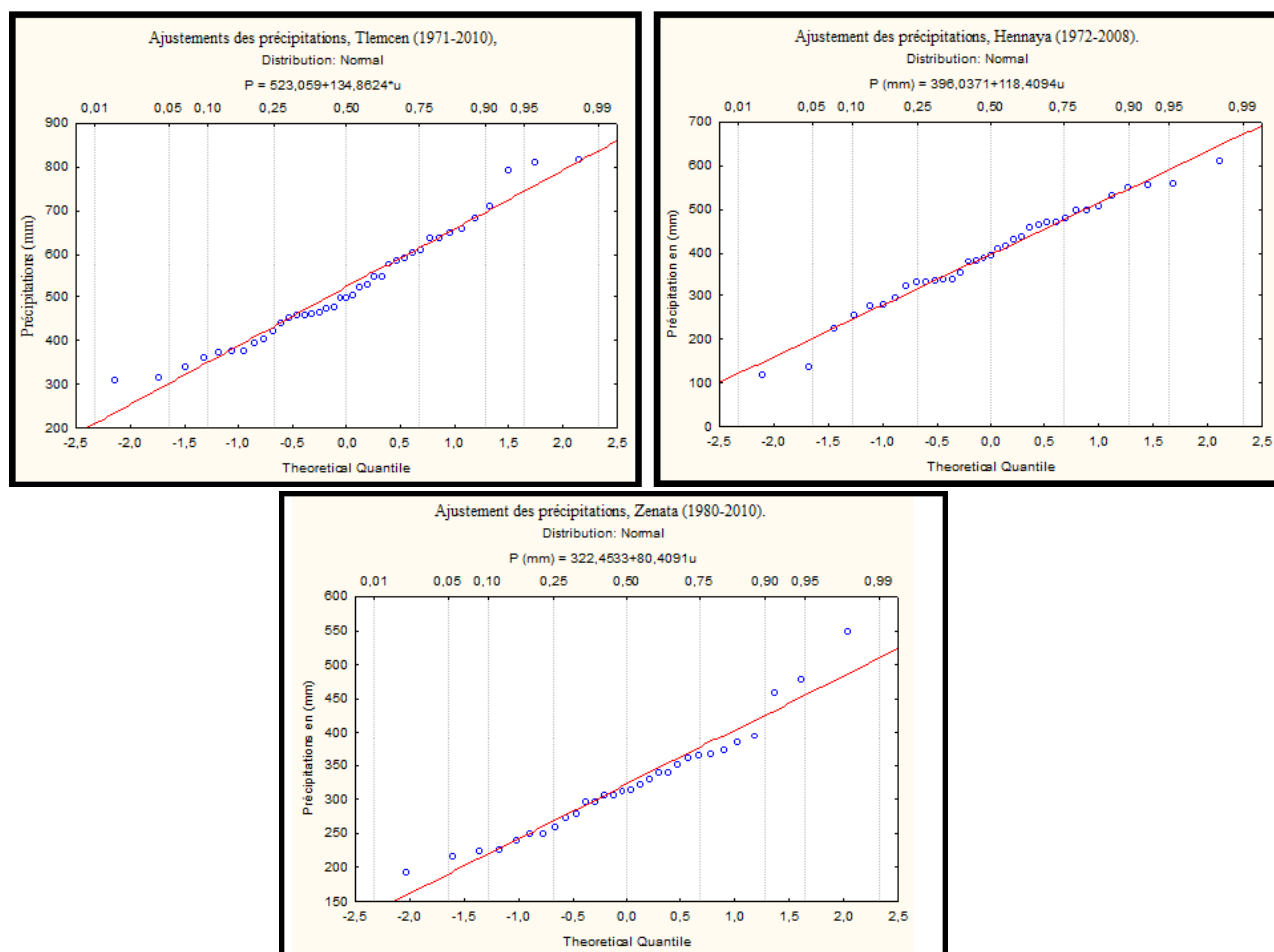


Figure 14 : Ajustement graphique des Précipitations moyennes annuelles à la loi normale.

• **Test du χ^2 :**

Le coefficient de variation $Cv < 0,5$; dans les trois stations ; laisse fortement penser que l'ajustement suit une loi normale, le test du χ^2 permettra de vérifier cette adéquation.

Afin de déterminer la valeur du χ^2 , nous avons repris les séries des modules observés et nous avons réparti ces valeurs en classes. Les résultats obtenus sont donnés aux tableaux 8, 9 et 10.

✓ Ajustement à la loi normale

Tableau 8 : Calcul χ^2 pour la station de Tlemcen

Nombre De classe	Limites de classes	Bornes Standardisées	Fréquence cumulée à la borne supérieure	Fréquence simple Théorique	Effectif théoriques (npi)	Effectif observés (ni)	(ni-npi) ² /npi
1	< 373,1	<-1,12	0,1314	0,1314	5,1246	5	0,00
2	[373,1-423,7[	[-1,12;-0,74[	0,2296	0,0982	3,8298	5	0,36
3	[423,7- 466,1[	[-0,74; -0,43[	0,3669	0,1373	5,3547	6	0,08
4	[466,1-505,5[	[-0,43; -0,13[	0,4483	0,0814	3,1746	5	1,05
5	[505,5-587,9[	[-0,13; 0,48[	0,6844	0,2361	9,2079	6	1,12
6	[587, 9-650[	[0,48; 0,95[	0,8289	0,1445	5,6355	6	0,02
7	> 650	>0,95	1	0,1711	6,6729	6	0,07

Le χ^2 calculé est égal à 2,70 ; par contre le χ^2 tabulé est de 9,49 ; pour un degré de liberté égal à 4 et un risque d'erreur tolérée de 5 %.

Le χ^2 calculé étant inférieur au χ^2 tabulé, l'ajustement permet donc d'admettre une distribution normale des précipitations pour la station de Tlemcen.

Tableau 9 : Calcul χ^2 pour la station de Hennaya

Nombre De classe	Limites de classes	Bornes Standardisées	Fréquence cumulée à la borne supérieure	Fréquence simple Théorique	Effectif théoriques (npi)	Effectif observés (ni)	(ni-npi) ² /npi
1	< 297	<-0,85	0,0977	0,0977	3,2241	7	4,4221
2	[297-397,8[	[-0,85;-0,14[	0,4443	0,3466	11,4378	8	1,0333
3	[397,8- 433,2[	[-0,14 ; 0,32[	0,6255	0,1812	5,9796	6	0,0001
4	[433,2-472,9[	[0,32 ; 0,66[	0,7454	0,1199	3,9567	5	0,2751
5	> 472,9	>0,66	1	0,2546	8,4018	7	0,2339

Le χ^2 calculé est égal à 5,96 ; par contre le χ^2 tabulé est de 5,99 ; pour un degré de liberté égal à 4 et un risque d'erreur tolérée de 5 %.

Le χ^2 calculé étant inférieur au χ^2 tabulé, l'ajustement permet donc d'admettre une distribution normale des précipitations pour la station de Hennaya.

Tableau 10 : Calcul χ^2 pour la station de Zenata

Nombre De classe	Limites de classes	Bornes Standardisées	Fréquence cumulée à la borne supérieure	Fréquence simple Théorique	Effectif théoriques (npi)	Effectif observés (ni)	(ni-npi) ² /npi
1	< 250, 7	<-0,89	0,1867	0,1867	5,6010	6	0,0284
2	[250,7-307,1[	[-0,89;-0,19[	0,4247	0,2380	7,1400	7	0,0027
3	[307,1- 340,6[	[-0,19 ; 0,22[	0,5910	0,1663	4,9890	6	0,2049
4	[340,6-374[	[0,22 ; 0,64[	0,7389	0,1479	4,4370	6	0,5506
5	> 374	>0,64	1	0,2611	7,833	5	1,0246

Le χ^2 calculé est égal à 1,81 ; par contre le χ^2 tabulé est de 5,99 ; pour un degré de liberté égal à 4 et un risque d'erreur tolérée de 5 %.

Le χ^2 calculé étant inférieur au χ^2 tabulé, l'ajustement permet donc d'admettre une distribution normale des précipitations pour la station de Zenata.

- **Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée :**

$$P = \bar{P} + \sigma \mu$$

$$\mu = 0 \quad \longrightarrow \quad P = \bar{P}$$

Tableau 11 : Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée

Stations	Tlemcen	Hennaya	Zenata
Précipitations décennales ($\mu = 1,28$)	695,68 mm	547,59 mm	425,34 mm
Précipitations centennaires ($\mu = 2,32$)	835,94 mm	670,73 mm	508,93 mm

2- Précipitations mensuelles

Les variations moyennes mensuelles des précipitations varient de l'amont vers l'aval ; en effet plus on se dirige vers l'aval du bassin ; plus la moyenne des précipitations mensuelles diminuent.

Tableau 12 : Précipitations moyennes mensuelles.

Stations	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel (mm)
Tlemcen	22,10	40,04	63,30	55,57	60,57	68,88	89,02	58,08	48,54	9,38	2,44	5,14	523,06
Hennaya	17,66	30,28	50,31	42,53	49,41	53,97	55,73	48,90	32,74	5,74	2,09	6,68	396,04
Zenata	15,99	22,67	44,62	41,64	42,24	43,25	43,37	32,36	26,01	5,44	1,05	3,80	322,45

Pour les trois stations (figure 15), la période pluvieux s'étend de Septembre à Mai, les mois de Juin, Juillet et Août présentent des pluies faibles à nulles.

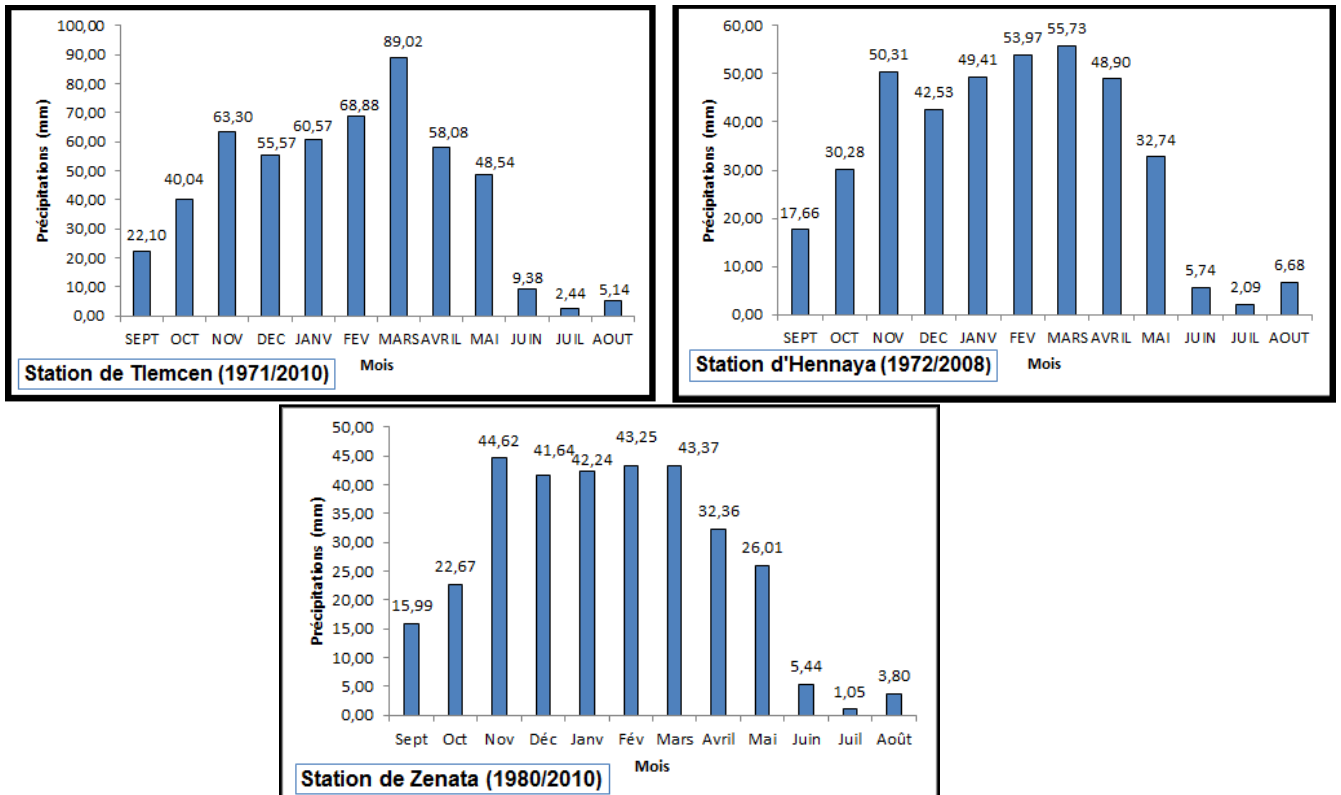


Figure 15 : Variations moyennes mensuelles des précipitations.

3- Précipitations saisonnières

La distribution saisonnière des précipitations (Figure 16), montre que l'Hiver est la saison la plus humide ; avec une sécheresse en période d'Eté. Toutefois nous remarquons pour les trois stations, une période relativement pluvieuse regroupant les saisons d'Automne, d'Hiver et de printemps et une saison sèche représentée par l'Eté.

Tableau 13 : Distribution saisonnières des précipitations moyennes.

Stations	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Annuel (mm)
Tlemcen	125,44	185,02	195,64	16,96	523,06
Hennaya	98,26	145,9	137,37	14,51	396,04
Zenata	83,28	127,14	101,74	10,29	322,45

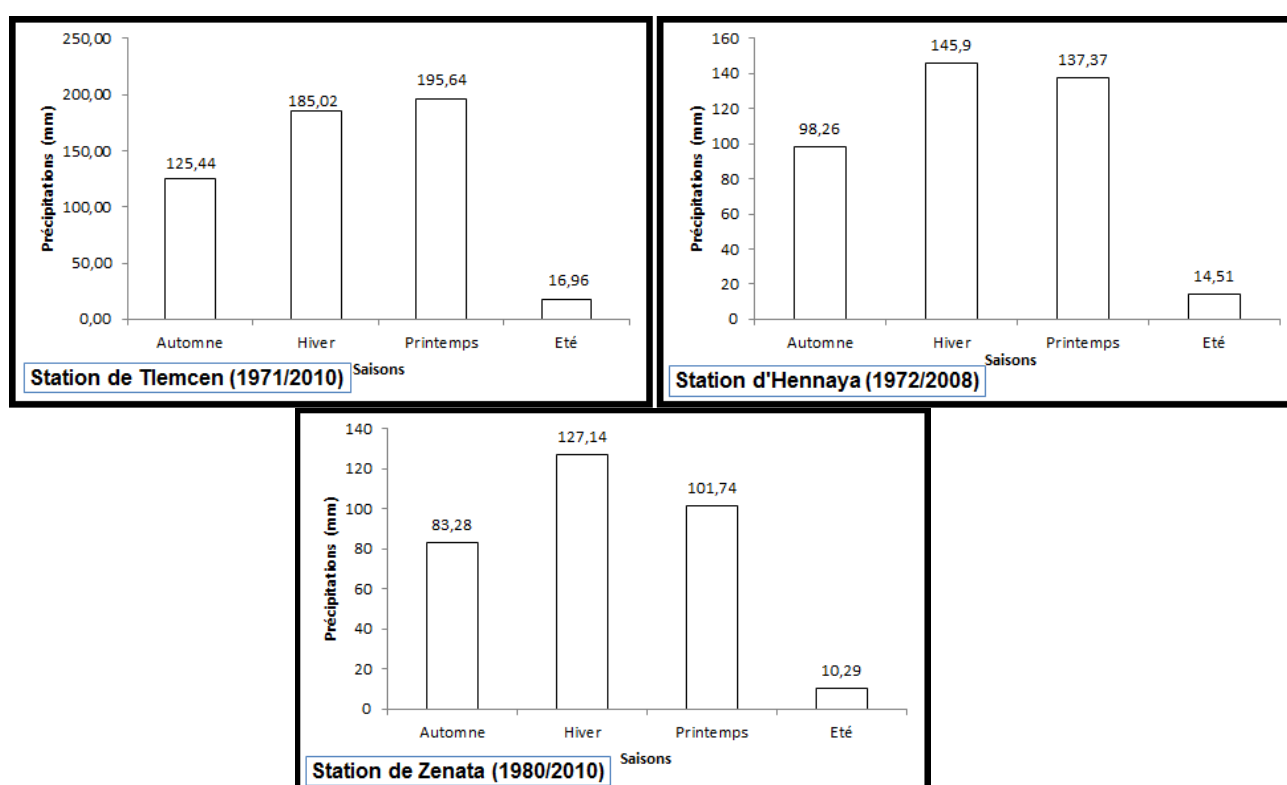


Figure 16 : Variations saisonnières des précipitations moyennes.

4- Etude des températures

Nous avons utilisé les températures mensuelles de la station de Zenata. Les moyennes obtenues (Tableau 14) correspondent à 30 ans d'observations (1980-2010).

Tableau 14 : Température moyennes mensuelles.

paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
Min (m)	16,9	13,6	9,6	6,6	5,1	6,2	7,7	9,4	12,6	16,3	19,3	20	11,9
Max (M)	29	26	20,9	17,5	16,5	17,6	20	22	24,9	29,1	32,8	33,3	24,1
T° (Moy)	22,9	19,8	15,3	12,1	10,8	11,9	13,8	15,7	18,7	22,7	26	26,6	18

La température moyenne annuelle est de 18°C, en terme saisonnier, les températures varient entre 10,8°C au mois du Janvier et 26,6°C au mois d'Août (Figure 17).

La moyenne des minimas est de 11,9°C, alors que la moyenne des maximas est de 24,1°C.

Nous pouvons donc considérer que l'année se répartit en deux saisons :

- L'une froide de Novembre à Avril.
- Et autre chaude de Mai à Octobre.

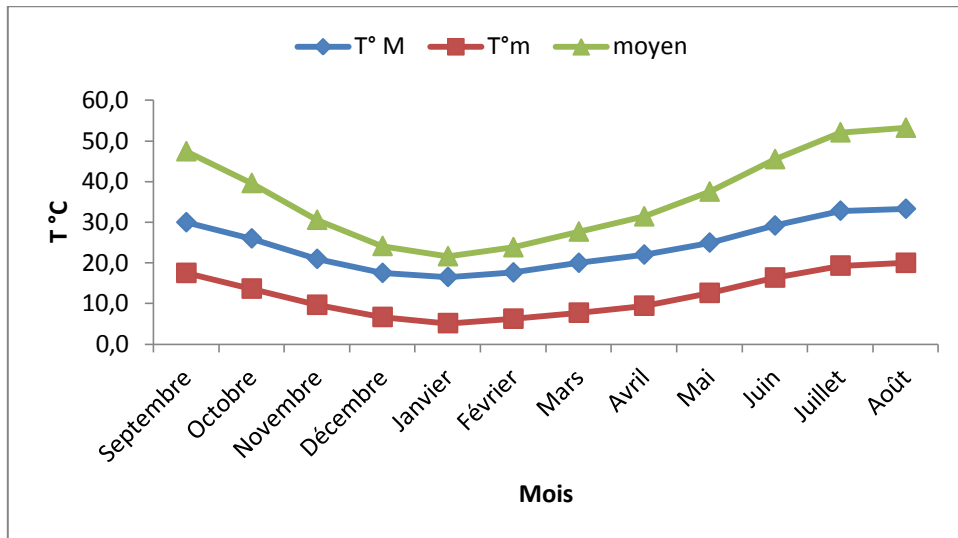


Figure 17 : Courbe de répartition des températures moyennes mensuelles station de Zenata (1980-2010).

4-1- Courbe pluviothermique de Bagnouls et Gausсен:

Le mois le plus sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est égal ou inférieur au double de la température ; la courbe pluviothermique (figure 18) permet de visualiser :

- Une période sèche qui s'étend du mois de Mai au mois d'Octobre.
- Une période humide de Novembre à Avril.

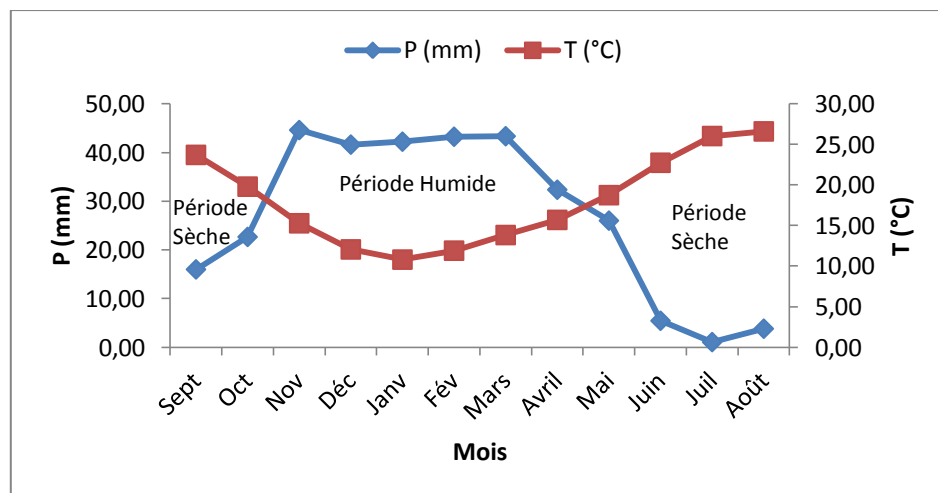


Figure 18 : Courbe pluviothermique station de Zenata (1980-2010).

5- Evapotranspiration

L'évapotranspiration est un phénomène extrêmement complexe, faisant intervenir des paramètres aérodynamiques, énergétiques et biologiques. Ainsi, parmi les termes du cycle de l'eau, c'est sans doute le plus difficile à quantifier. A l'échelle qui nous intéresse, celle du bassin versant, ce phénomène n'est pas directement mesurable et il est donc souvent représenté de manière simplifiée dans les modèles hydrologiques, notamment dans les modèles pluie-débit. Une variable intermédiaire y est utilisée, l'évapotranspiration potentielle (Oudin, 2004).

5-1- Formule de THORNTHWAITE (1948)

Thornthwaite, en 1948 est le premier à introduire le concept d'évapotranspiration potentielle, il a proposé également une formule basée essentiellement sur les températures de l'air :

$$E = ETP = 1,6 \left(\frac{10t}{I}\right)^a \cdot K \text{ et}$$

$$\text{Avec : } I = \sum_{i=1}^{12} i, \quad i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

$$\text{Et } a = \frac{1,6}{100} \cdot 100 I - 0,5$$

$$K = 0,49 + 1,8(I/100) - 0,77(I/100)^2 + 0,67(I/100)^3,$$

t : Température moyenne mensuelle du mois considéré ;

ETP : évapotranspiration potentielle du mois considéré (en mm d'eau) ;

K : est un coefficient d'ajustement mensuel en fonction de la latitude et la durée du jour.

5-2- Formule de Turc (1955)

$$ETP = 0,4 (I_g + 50) k t / (t + 15).$$

Avec :

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle (en mm d'eau) ;

T : Température moyenne mensuelle de l'air (en °C) ;

I_g : radiation globale moyenne mensuelle reçue au sol (en calorie/cm²/jour).

$$I_g = I_gA (0,18 + 0,62 h/H)$$

I_{gA} : radiation globale théorique

H : durées théorique des jours du mois.

K : un coefficient égal à 1 si l'humidité relative hr est supérieur à 50%.

Tableau 15 : Calcul de l'ETP d'après la Méthode de Turc et THORNTHWAITE

Station	T°C	ETP (TURC)	ETP(THORNTHWAITE)
Zenata (1981-2010)	18°C	989,50	941,65

Les calculs de l'ETP d'après la Méthode de Turc et THORNTHWAITE sont établis par le programme élaboré par Bennada, (2000).

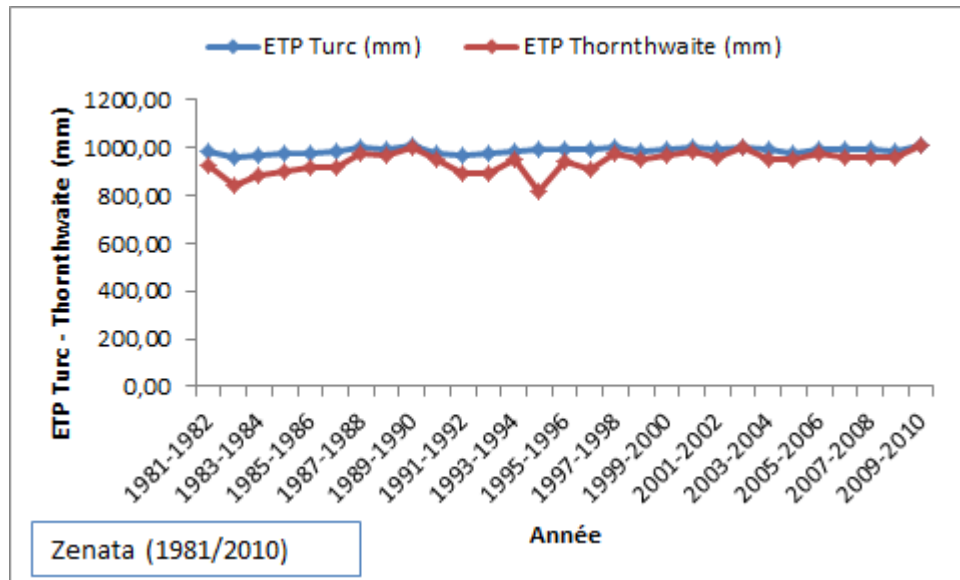


Figure 19 : Calcul de l'ETP (Turc et Thornthwaite).

II- ETUDE DES DEBITS (LES LAMES D'EAUX ECOULEES)

Pour cette étude, nous avons pris en considérations les valeurs annuelles et mensuelles des débits des deux stations hydrométriques de Zenata et Hennaya (La station de Hennaya est hors service depuis 2006) (tableau 16).

Tableau 16 : Caractéristiques des stations hydrométriques.

Stations	Codes	X	Y	Z	Période
Hennaya	16-05-16	125,450	188,100	410 m	1973-2006
Zenata	16-05-07	120,150	194,600	270 m	1985-2009

1- Etude des débits annuels

Nous disposons de séries de données hydrométriques représentant 33 à 24 ans d'observation (tableau 17) dans les deux stations.

Tableau 17 : Valeurs caractéristiques des modules au niveau du bassin Oued Boumessaoud

Stations	Moyenne (m ³ /s)	Max (m ³ /s) (année)	Min (m ³ /s) (année)	Nbre d'années > moyenne	Coeff. Immodération R = QM / Q m	Coefficient Variation
Hennaya	0,0670	0,4366 (73-74)	0,0010 (77-78)	7 sur 33	451,61	1,34
Zenata	0,0983	0,2746 (88-89)	0,0058 (99-00)	9 sur 24	47,34	0,81

Les variations interannuelles des débits (figures 20), montrent une importante lame d'eau écoulee, enregistrée au niveau de la station de Hennaya en 1974, année où la région a connu d'importantes précipitations (612,2 mm à Hennaya et 793,2 mm à Tlemcen). Le module interannuel de la série est de 0,067 m³/s, pour une aire de réception de 49 Km².

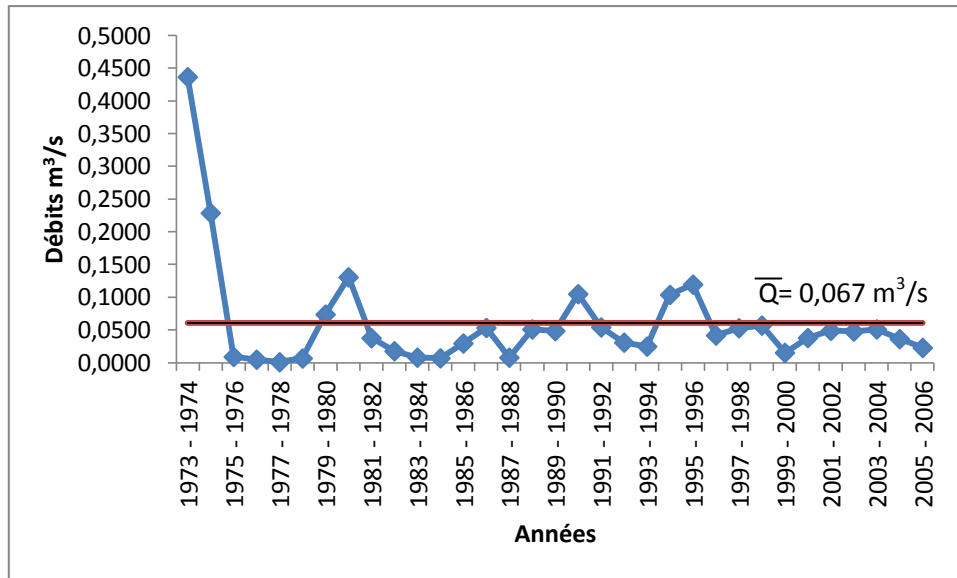


Figure 20: Variation interannuelle des modules annuels de l'Oued Boumessaoud à la station de Hennaya (1973/74 - 2005/06).

Pour la station de Zenata (figure 21), le module interannuel entre 1985 à 2009 est de 0,098 m³/s pour une surface drainée de 118 Km². Le maximum de 0,27 m³/s est enregistré en 1989.

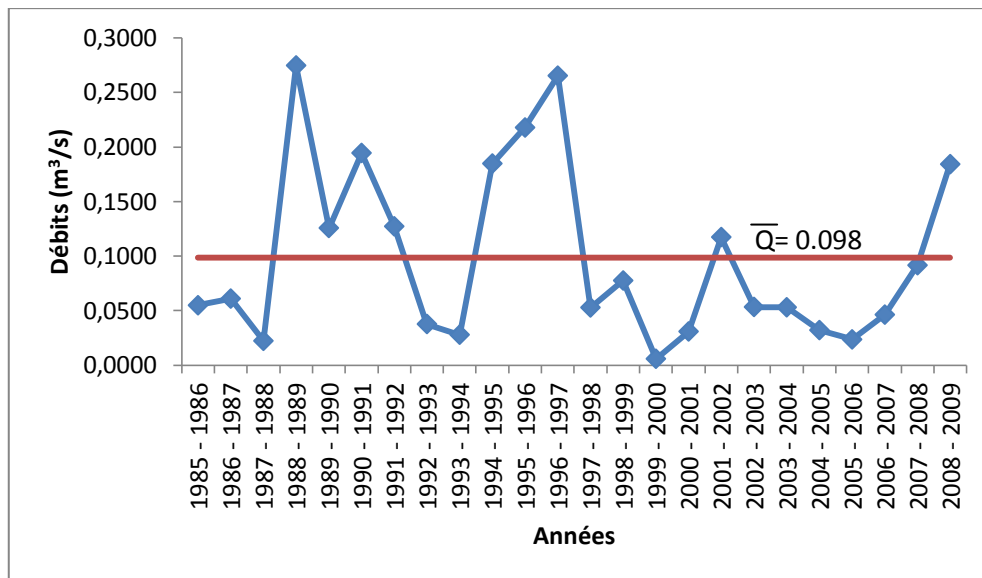


Figure 21: Variation interannuelle des modules annuels de l'Oued Boumessaoud à la station de Zenata (1985/86 - 2008/09).

1-1- Ajustement des débits annuels

Nous allons essayer de trouver une loi d'ajustement de la distribution des débits annuels dans le but d'estimer les paramètres d'ajustement.

- **Test graphique :**

Le test graphique (figure 22) montre, que la série des débits d'Hennaya s'ajuste à une loi Log normale alors que celle de Zenata à une loi exponentielle.

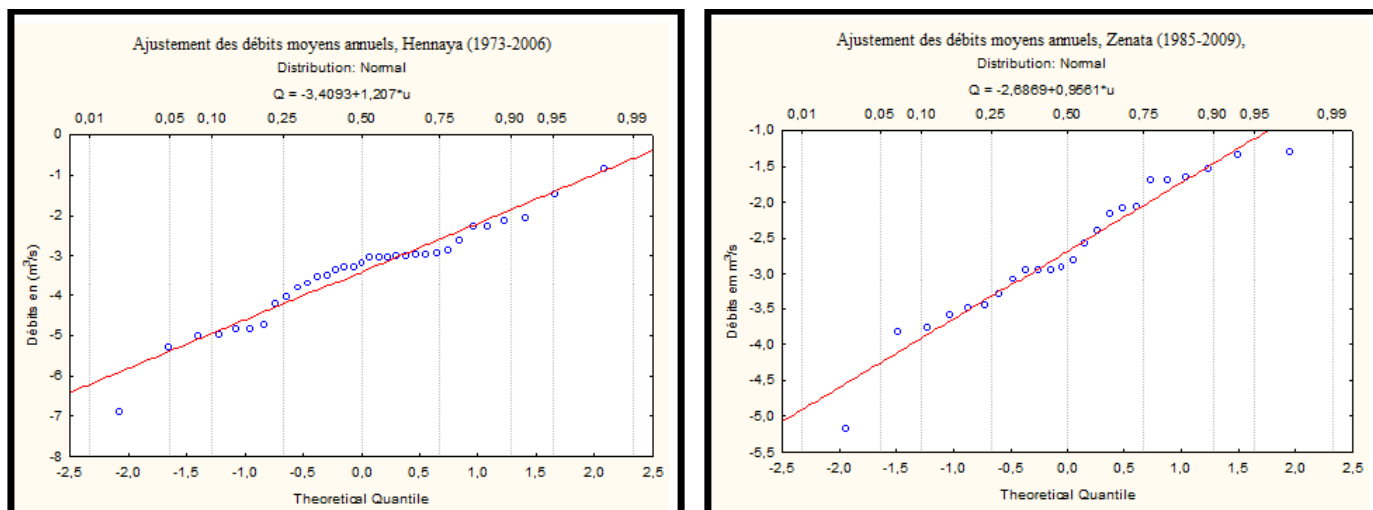


Figure 22 : Ajustement graphique à la loi Log Normale des Débits moyens annuels.

- Test de χ^2 :
 - ✓ Ajustement à la loi Log Normal

Tableau 18 : Calcul χ^2 pour la station de Hennaya (Loi log Normale)

Nombre De classe	Limites de classes	Bornes Standardisées	Fréquence cumulée à la borne supérieure	Fréquence simple Théorique	Effectif théoriques (npi)	Effectif observés (ni)	(ni-npi) ² /npi
1	<- 4,83	<-1,17	0,121	0,121	3,993	6	1,01
2	[-4,83 ; -3,69[	[-1,17;-0,23[	0,409	0,288	9,504	5	2,13
3	[-3,69 ; -3,17[	[-0,23 ; 0,20[	0,579	0,170	5,619	5	0,07
4	[-3,17 ; -2,97[	[0,20 ; 0,36[	0,641	0,061	2,023	5	4,38
5	[-2,97 ; -2,26 [	[0,36 ; 0,95[	0,829	0,188	6,214	6	0,01
6	> -2,26	> 0,95	1	0,171	5,650	6	0,02

Le χ^2 calculé est égal à 7,62 ; par contre le χ^2 tabulé est de 5,99 ; pour un degré de liberté égal à 3 et un risque d'erreur tolérée de 5 %.

Le χ^2 calculé étant supérieur au χ^2 tabulé, l'ajustement à la distribution Log Normale pour les débits de la station d'Hennaya n'est pas retenu.

Tableau 19 : Calcul χ^2 pour la station de Zenata (Loi log Normale).

Nombre De classe	Limites de classes	Bornes Standardisées	Fréquence cumulée à la borne supérieure	Fréquence simple Théorique	Effectif théoriques (npi)	Effectif observés (ni)	(ni-npi) ² /npi
1	< -3,48	<-0,84	0,2005	0,2005	6,6165	5	0,39
2	[-3,48 ; -2,94 [	[-0,84;-0,26[	0,3974	0,1969	6,4977	5	0,35
3	[-2,94 ; -2,39[	[-0,27 ; 0,31[	0,6217	0,2243	7,4019	5	0,78
4	[-2,39 ; -1,69[	[0,31 ; 1,05[	0,8531	0,2314	7,6362	5	0,91
5	> -1,69	>1,05	1	0,1469	4,8477	4	0,15

Le χ^2 calculé est égal à 2,58 ; par contre le χ^2 tabulé est de 3,84 ; pour un degré de liberté égal à 1 et un risque d'erreur tolérée de 5 %.

Le χ^2 calculé étant inférieur au χ^2 tabulé, l'ajustement permet donc d'admettre une distribution log normale des débits de la station de Zenata.

- **Calcul des débits pour des périodes de récurrence donnée :**

$$\text{Log } Q = \bar{Q}_{\text{Log}} + \sigma_{\text{Log}} \mu$$

$$\mu = 0 \longrightarrow \text{Log } Q = \bar{Q}_{\text{Log}}$$

$$Q = e^{\text{Log } Q}$$

Tableau 20 : Calcul des débits pour des périodes de récurrence donnée

Stations Q	Hennaya		Zenata	
	Log Q	Q	Log Q	Q
Q 10 ans (m ³ /s) ($\mu = 1,28$)	-1,86	0,16	-1,47	0,23
Q 20 ans (m ³ /s) ($\mu = 1,64$)	-1,43	0,24	-1,13	0,32
Q 50 ans (m ³ /s) ($\mu = 2,05$)	-0,93	0,39	-0,74	0,48
Q 100 ans (m ³ /s) ($\mu = 2,32$)	-0,60	0,55	-0,48	0,62

2- Etude des débits mensuels

Les mêmes variations des débits moyens mensuels s'observent au niveau des deux stations d'Hennaya et Zenata, avec un maximum enregistré au mois de Mars (figures 23 et 24).

Tableau 21 : Débits moyens mensuels.

Mois Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel (mm)
Hennaya	1,07	1,91	2,50	3,8	4,01	4,81	10,92	6,69	3,34	1,25	0,65	0,66	41,61
Zenata	1,18	2,45	2,12	1,44	2,82	2,21	7,67	3,98	1,62	0,57	0,19	0,06	26,31

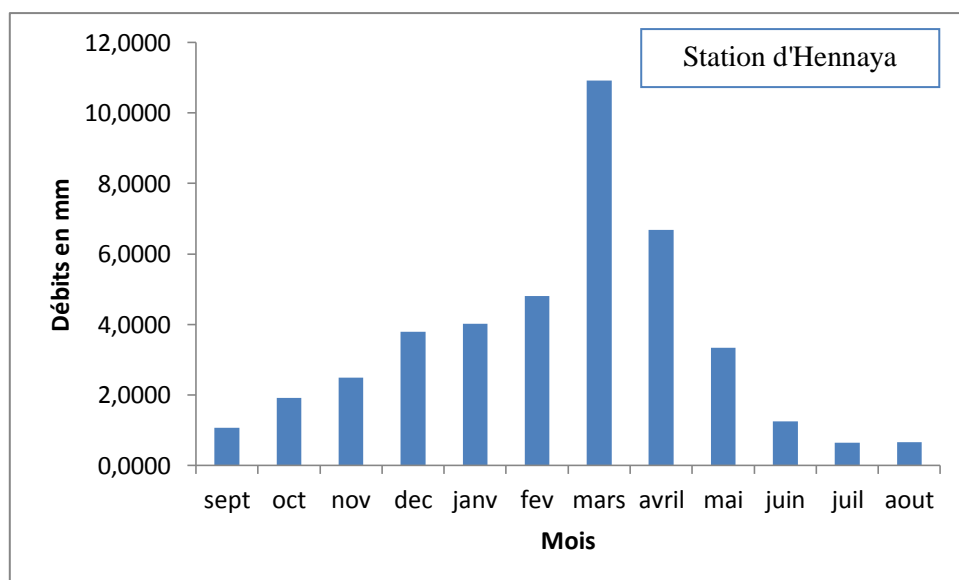


Figure 23 : Variations mensuelles des lames d'eau écoulées (1973-2006).

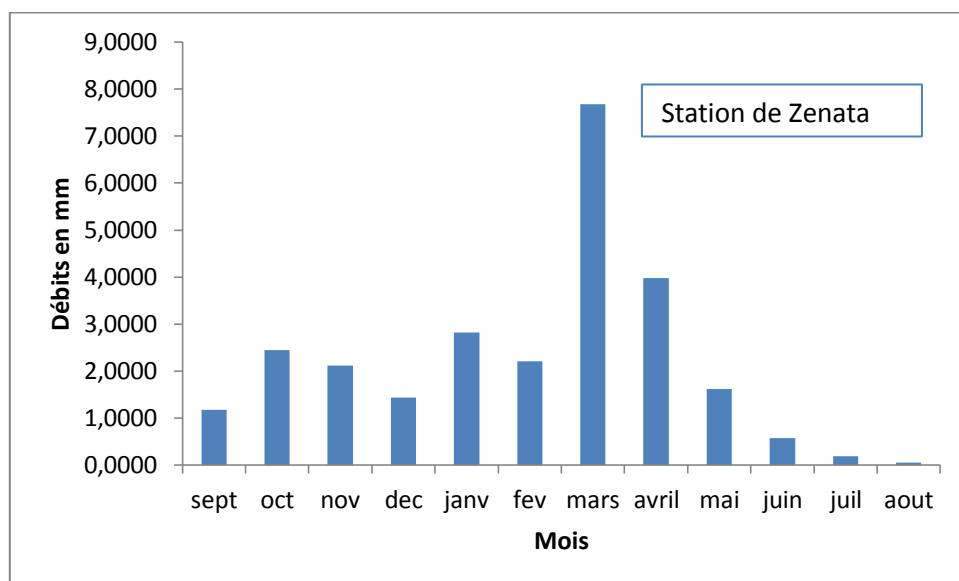


Figure 24 : Variations mensuelles des lames d'eau écoulées (1985-2009).

2-1 Le coefficient mensuel du débit

Le coefficient mensuel du débit est défini comme étant le rapport entre le débit moyen mensuel et le module annuel.

Tableau 22: Valeurs des coefficients mensuels des débits.

Mois	St. d'Hennaya (1973-2006)	St. de Zenata (1985-2009)
	Coefficient mensuel	
Septembre	0,31	0,54
Octobre	0,54	1,09
Novembre	0,73	0,98
Décembre	1,07	0,64
Janvier	1,13	1,26
Février	1,49	1,08
Mars	3,08	3,43
Avril	1,95	1,84
Mai	0,94	0,72
Juin	0,36	0,26
Juillet	0,18	0,08
Août	0,16	0,02

Les coefficients mensuels sont relativement élevés au mois de Mars, dans les deux stations. On remarque aussi que pour 5 mois sur 12, le débit mensuel est supérieur au module annuel (figure 25).

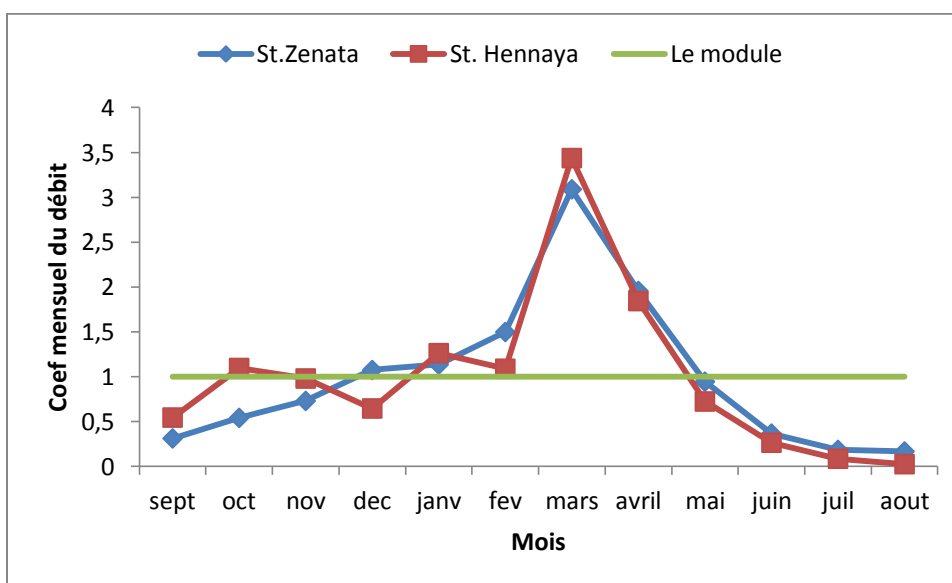


Figure 25 : Coefficient mensuel des débits.

2-2 Variations saisonnières des débits

La distribution saisonnière des lames d'eau écoulées montre que dans les deux stations, c'est au Printemps que s'effectue l'essentiel des écoulements (figure 26 et 27).

Tableau 23 : Distribution saisonnières des débits moyens.

Station	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Annuel
Hennaya	5,48 mm	12,62 mm	20,95 mm	2,56 mm	41,61 mm
	13,17 %	30,33 %	50,34 %	6,16 %	100%
Zenata	5,74 mm	6,47 mm	13,27 mm	0,82 mm	26,30 mm
	21,84 %	24,59 %	50,45 %	3,12 %	100 %

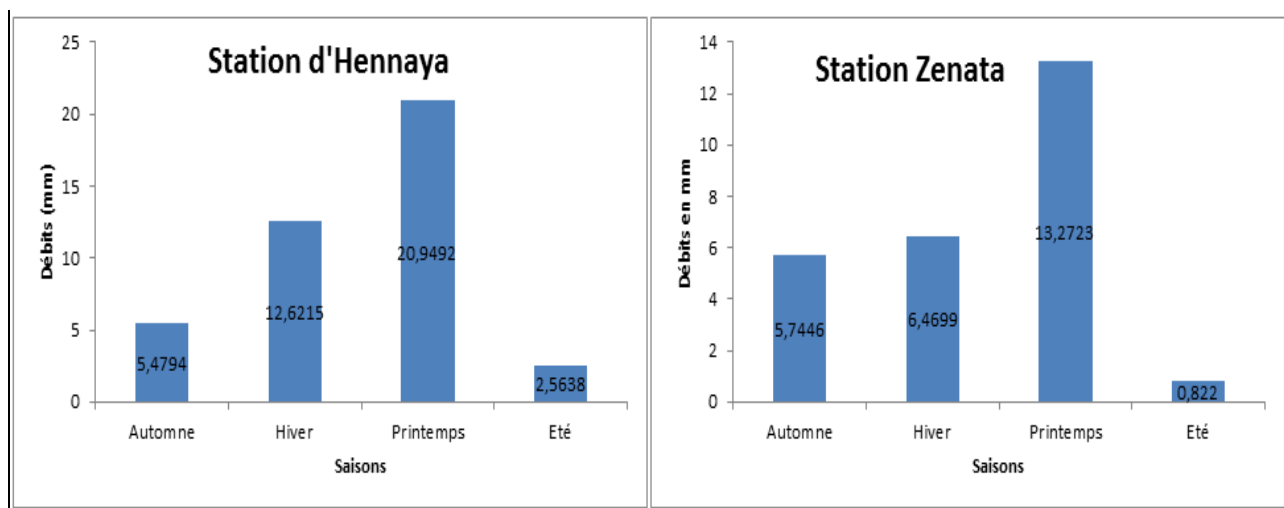


Figure 26 : Variations saisonnières des lames d'eau écoulées.

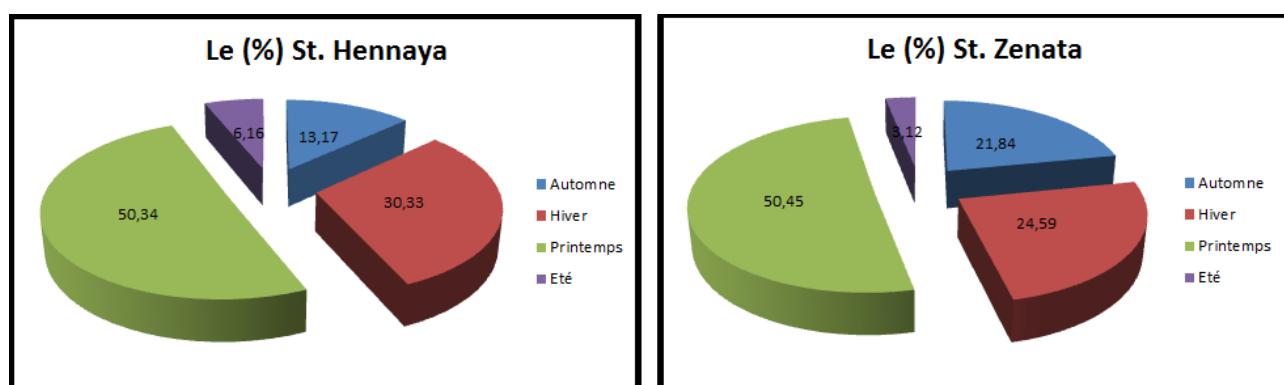


Figure 27 : Variations saisonnières des pourcentages des lames d'eau écoulées.

**CHAPITRE III :
L'ETAT DE L'ART DE LA MODELISATION
HYDROLOGIQUE**

1- INTRODUCTION

La modélisation hydrologique est une activité en Hydrologie. Le modèle hydrologique est un outil incontournable dans la compréhension de la dynamique d'un bassin versant, dans l'utilisation rationnelle des ressources en eau de ce bassin et dans la lutte contre les catastrophes naturelles liées aux crues. Grâce aux progrès importants réalisés dans le domaine de l'informatique et des Systèmes d'Informations Géographiques les modèles hydrologiques distribués utilisent une description de plus en plus complète du bassin versant et des termes du cycle hydrologique. L'apparition et l'essor des modèles pluie-débit a commencé dans les années soixante. (Nascimento, 1995). Le souci de la modélisation pluie-débit est de mettre à la disposition des aménageurs ou bien des ingénieurs un outil «simple» permettant l'estimation ou la prévision des débits pour une étude d'aménagement désirée (barrages, lacs, ponts, etc...).

1-1 Objectif de la modélisation

La modélisation pluie-débit peut réussir à répondre à de nombreuses questions centrées sur l'eau, gestion des risques et de la ressource notamment. Michel (1989) et Refsgaard et Abbott (1996) répertorient l'essentiel de ces problématiques. Si des aspects de qualité des eaux peuvent être étroitement liés à des aspects de quantité, nous nous intéresserons ici uniquement à une modélisation pluie-débit quantitative, dont nous donnons quelques-unes de ces problématiques:

- Simulation de débits, pour le comblement de lacunes dans des séries de données, la reconstitution de débits historiques (les données de pluie étant souvent disponibles sur des périodes beaucoup plus longues que les débits) ou pour permettre des traitements statistiques;
- Prédétermination des débits de crue ou d'étiage: on désire savoir avec quelle fréquence des débits de crue (supérieurs à un seuil de risque par exemple) ou des faibles débits (en deçà d'un débit réservé par exemple) risquent de se produire, et sur quelle durée. On se place ici dans une démarche d'analyse fréquentielle. Cette connaissance peut permettre le dimensionnement d'ouvrages et de réservoirs ou d'aménagements dans le lit (mineur à majeur) du cours d'eau;
- Prévision des crues et des étiages: il s'agit d'évaluer par avance (avec un délai de quelques heures à quelques jours), connaissant l'état du bassin, les débits de crues susceptibles de présenter des risques (inondation) ou les débits d'étiages pouvant demander de mettre en place une gestion particulière de la ressource (par des barrages-réservoirs par exemple) pour assurer l'approvisionnement en eau ou la préservation de la vie halieutique. On s'inscrit ici dans une démarche d'analyse en continu du bassin;
- Influence d'aménagements sur l'hydrologie: on désire pouvoir prédire les changements de la réponse du bassin suite à des modifications des caractéristiques du bassin d'origine humaine ou à des changements environnementaux.

Ces problématiques font ressortir deux aspects importants, celui de l'évaluation du risque et celui de la gestion de la ressource. La pertinence des réponses que l'on peut leur

apporter est conditionnée par celle du modèle dans sa représentation du bassin relativement aux objectifs fixés. Si d'autres approches hydrologiques que la modélisation pluie-débit proposent des réponses à certaines de ces problématiques (analyse fréquentielle statistique sur les débits pour la prédétermination), cette dernière paraît cependant très profitable pour des questions supposant un traitement temporel continu, comme la prévision des débits. Dans ce cas, le fait de remonter à l'origine des débits (la pluie) permet en plus de profiter d'un délai supplémentaire par rapport à des méthodes n'exploitant que l'information sur les débits.

2- Classification des modèles

Si la modélisation pluie-débit représente un étroit domaine de l'hydrologie, elle n'en est pas moins féconde en terme de production de modèles. Le développement des moyens de calculs informatiques a certainement été l'un des facteurs majeurs ayant favorisé l'essor de ce secteur de recherche depuis le début des années 60, avec la création de dizaines de modèles. Encore aujourd'hui, de nouveaux modèles sont très souvent proposés dans la littérature. Ce foisonnement tient d'une part de la diversité des approches possibles, qui font appel à des concepts et des points de vue différents sur la manière de représenter la réponse d'un bassin versant à des événements de pluie. Il tient certainement d'autre part d'un certain degré d'ignorance sur la meilleure façon de modéliser la relation pluie-débit. Devant la complexité et la diversité des systèmes observés, il est probable cependant que la solution miracle n'existe pas (Perrin, 2000).

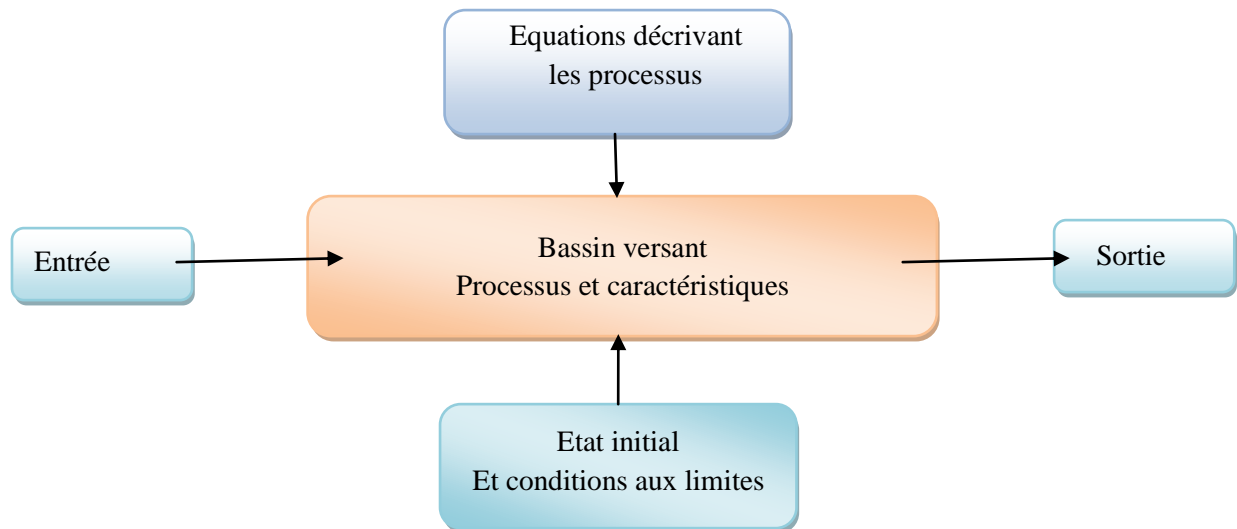


Figure 28 : Composants d'un modèle (Singh, 1995).

Beaucoup de classifications des modèles ont été proposées et il y a presque autant de classifications que d'hydrologues. La difficulté de trouver une classification unifiée provient du fait que la grande diversité des approches entraîne une non moins grande diversité des caractéristiques des modèles (Perrin, 2000).

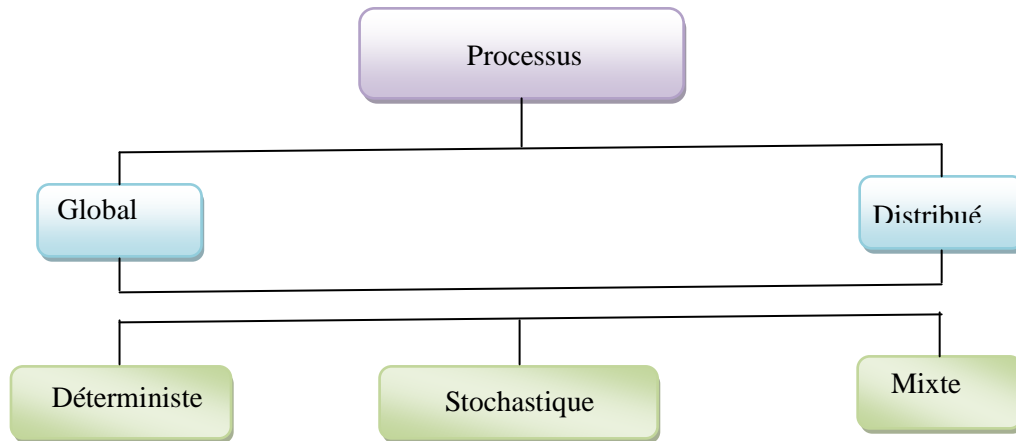


Figure 29: Classification des modèles proposée par Singh (1995).

2-1 Le modèle déterministe

S'appuie sur la description du bassin versant et prend en compte une ou plusieurs de ses caractéristiques physiques (pente, superficie, type de sol, occupation du sol, ...). Les modèles déterministes ont pour application la prévision hydrologique pour la gestion des ouvrages hydrauliques ou pour la prévision des crues, la délimitation des zones inondables, la gestion du territoire, la quantification des impacts potentiels des changements climatiques. La méthode des crues maximales probables – PMP/PMF probable maximum précipitation, probable maximum flood (Dumas, 2006) – qui supposent l'existence d'une valeur maximale des précipitations sur une région donnée et donc des crues sur un bassin versant est une méthode déterministe.

Il y a aussi les modèles cinématiques (descriptifs) ou dynamiques (explicatifs), suivant que l'évolution temporelle du système est simplement décrite ou mise en relation avec les forces qui en sont la cause.

2-2 Le modèle probabiliste

Sert à établir des critères de conception d'ouvrages (par exemple : dimensionnement des évacuateurs de crue des ouvrages hydrauliques grâce au calcul de la crue et de la cote de projet) ou à vérifier les performances d'ouvrages existants. La finalité du modèle probabiliste est de fournir des grandeurs statistiques de variables hydrologiques : débits maximum de pointe crue d'une occurrence donnée, précipitations minimales d'une durée donnée et d'une période de retour donnée.

2-2-1 Le modèle statistique et stochastique

Au sein des modèles probabilistes, on distingue les modèles statistiques – ajustement de lois statistiques, méthode du Gradex ... – et les modèles stochastiques qui représentent la nature aléatoire des phénomènes hydrométéorologiques à l'aide de distributions statistiques. Le générateur stochastique de pluie horaire de la méthode SHYPRE (Cernesson, 1993, Arnaud, 1997) permet ainsi la simulation de longues séries de précipitations grâce à la connaissance de lois de probabilité décrivant les phénomènes pluvieux (durée et nombre des averses, intensité maximale de l'averse, position du maximum, ...) et issues des observations.

2-3 Le modèle événementiel

A pour objet la simulation d'un événement borné dans le temps. On modélise par exemple de manière événementielle une crue sur la durée de l'événement pluvieux l'ayant générée, augmentée du temps de concentration. Une telle modélisation requiert la détermination des conditions initiales (débit de base au début de la simulation, humidité du sol) et néglige certains processus hydrologiques considérés comme mineurs par rapport au processus principal étudié. Dans le cas d'une modélisation événementielle de crues au pas de temps horaire, l'évaporation et l'évapotranspiration sont par exemple négligées et les écoulements de sub-surface ne sont pas modélisés. Une modélisation événementielle présente donc l'avantage théorique de prendre en compte un nombre réduit de variables d'entrée, avantage contrebalancé par le besoin d'une initialisation qui fait souvent l'objet d'un calage alors qu'elle est le résultat de processus continus (Fouchier, 2010).

2-4 Le modèle global ou distribué

Selon comment sont considérés le territoire étudié et les processus hydrologiques, on parle de modèle global ou de modèle distribué. Le bassin est considéré comme une seule entité qui réagit dans son ensemble. Les caractéristiques physiques et les grandeurs météorologiques sont considérées comme uniformes à l'échelle du bassin versant assimilé à une unité ponctuelle. Il s'agit de valeurs moyennes applicables à tout le bassin versant. Les processus hydrologiques sont simulés pour l'ensemble du bassin versant.

2-5 Classification basée sur la représentation des processus hydrologiques

Selon le degré de complexité avec lequel on souhaite traduire les processus hydrologiques, Perrin (2000) distingue trois types de modèles : ceux de type boîte noire, ceux à base physique et ceux à réservoirs.

2-5-1 La modélisation de type boîte noire

Propose un schéma sans lien direct avec la réalité. Elle ne fait appel qu'aux seuls variables d'entrée et de sortie d'un bassin sans faire intervenir de données sur sa nature physique. Elle fournit une description purement mathématique et globale de la transformation pluie-débit sans chercher à la décomposer en processus. Son objectif est uniquement d'obtenir des sorties les plus proches possibles des débits d'un bassin versant réel. Elle est représentée principalement par les modèles linéaires d'analyse de séries temporelles (Box et Jenkins, 1976) et les réseaux de neurones (Anctil, et al., 2004).

2-5-2 Un modèle hydrologique à base physique

Met en œuvre des équations qui décrivent la physique des processus hydrologiques : infiltration avec l'équation de Green et Ampt ou le modèle de Philip, évapotranspiration avec la formule de Penman, écoulement dans les zones saturée et non saturée avec les équations de Boussinesq et de Richards ou encore écoulement à surface libre avec les équations de Barré de Saint-Venant. Ces équations s'appuient sur des paramètres physiques mesurables, comme

la conductivité hydraulique des sols à saturation, qui ne nécessitent pas en théorie d'être calibrés.

On distingue aussi les modèles empiriques, conceptuels ou théoriques (fondés sur la physique), suivant les relations utilisées pour modéliser la transformation de la pluie en débit et suivant la représentation du système modélisé.

2-5-3 Un modèle à réservoir

Dans un modèle hydrologique dit à réservoirs, la transformation de la pluie en débit est décomposée en différentes composantes. Les équations qui les décrivent comportent des paramètres qui ne peuvent être mesurés et qui doivent être obtenus par calage (Fouchier, 2010). Ces procédures prennent souvent la forme de réservoirs qui se remplissent et se vident au cours du temps.

3- Exemple de quelques modèles

3-1 TOPMODEL : les aires contributives saturées

TOPMODEL (TOPography based hydrological MODEL) est un modèle hydrologique initialement développé par (Beven & Kirkby, 1979), (Beven, 1989), (Beven, 1992) à l'Université de Lancaster. Il s'agit d'un modèle pluie-débit qui suit une approche articulée autour de deux idées centrales:

- le ruissellement se produit sur des zones contributives variables,
- la topographie influence la manière dont se produit le ruissellement.

L'originalité de TOPMODEL réside dans la définition de l'indice topographique. Cet indice est un paramètre dynamique qui traduit la propension qu'a un pixel à se saturer plus ou moins vite. TOPMODEL modélise le sol à l'échelle du versant de la façon suivante :

- la surface du sol donne lieu au ruissellement superficiel (Horton ou Aires contributives saturées),
- la zone racinaire retient l'eau de pluie en début d'événement,
- la zone insaturée transfère la pluie infiltrée vers la zone saturée selon l'équation de Darcy,
- la zone saturée s'écoule vers l'exutoire.

3-2 HEC HMS

Ce logiciel a été développé par le HEC (Hydrologic Engineer Center) de US Army corps of Engineers. La première version de ce logiciel est apparue en 1995. Il s'agit d'un modèle pluie-débit, constitué par un ensemble de modèles hydrologiques qui permettent de décrire le fonctionnement d'un bassin versant de manière spatialisée. La géométrie du bassin versant peut être conceptualisée par un ensemble de sous unités hydrologiques liées entre elles par des éléments hydrauliques. Cette description se fait à l'aide d'outils géométriques prédéfinis. La

description des pluies se fait par l'introduction d'observations faites sur des pluviographes ou bien de pluies synthétiques.

Chacune des unités hydrologiques ainsi que chacun de ces éléments de liaison sont caractérisés par de multiples modèles de simulation hydrologiques et hydrauliques. Parmi ces modèles, on trouve :

- les modèles de pertes par infiltration, retenue ou évapotranspiration qui permettent d'évaluer le ruissellement : modèle de perte initiale et à taux constant, modèle à déficit et à taux de perte constant, modèle basée sur le Curve Number (CN), modèle de Green et Ampt.
- les modèles de ruissellement direct sur les versants : les modèles liés à la méthode de l'hydrogramme unitaire, le modèle de l'onde cinématique.
- les modèles des écoulements souterrains : le modèle constant, le modèle à récession exponentielle, le modèle à réservoir linéaire.
- les modèles d'hydrologie fluviale dont les équations de base sont celles des écoulements à surface libre : le modèle Muskingum, le modèle du décalage (lag model), le modèle de l'onde cinématique, le modèle de Muskingum-Cunge ; ces modèles prennent en compte la géométrie des tronçons (bifurcations, confluences)

3-3 Hydrotel : l'intégration des données de télédétection

Ce modèle a été conçu en collaboration entre l'INRS EAU Canada et Laboratoire d'Hydrologie et Modélisation de Montpellier (Fortin et al., 1995), dans le but de créer un outil capable d'intégrer et de gérer la spatialisation des données et des processus physiques. Il utilise ainsi les données issues de la télédétection et les SIG. Il se décompose en 2 modules : PHYSITEL (pour le traitement du MNT en vue de la détermination des unités hydrologiques du bassin et de son réseau de drainage) et HYDROTEL (pour la simulation hydrologique). Ce dernier module intègre, en plus des résultats de PHYSITEL, le type de sol, sa profondeur racinaire, la pluie (sous forme de pluviographes), l'occupation des sols et les caractéristiques de la végétation (albédo, indice foliaire). Il simule l'ETP, la fonte des neiges, le ruissellement superficiel (par l'onde cinématique), la propagation de la crue dans la rivière avec l'onde cinématique ou l'onde diffusante.

Ce modèle présente l'avantage d'intégrer l'imagerie satellitale, d'utiliser des équations physiques pour modéliser les processus de genèse et de propagation de crues et de se présenter sous la forme d'une interface conviviale. Toutefois, il nécessite une grande quantité d'informations pour son calage initial. De plus, son pas de temps horaire est très limitatif pour la prévision des crues éclair.

3-4 MIKE SHE : la modélisation hydrologique complète

MIKE est une famille de logiciels qui traitent d'écoulements dans les rivières, de crues en 1 et 2D, d'hydrologie intégrée (MIKE SHE) et de management hydrologique assisté par un

Système d'Information Géographique. MIKE SHE qui est un modèle physique au sens de (Bonell, 1993), comprend plusieurs modules :

- Evapotranspiration
- Ecoulement dans la zone non saturée basée sur l'équation de Richards
- Ecoulement dans la zone saturée
- Ecoulement superficiel dans les cours d'eau et sur les versants selon l'équation de l'onde diffusante

Ainsi que des modules propres à des applications particulières comme l'irrigation. Les inconvénients majeurs de ce type de logiciels résident dans leur coût, leur non modularité, l'inaccessibilité de leur code source et le manque de détails des équations programmées.

3-5 TOPKAPI : les ondes cinématiques opérationnelles

TOPKAPI signifie TOPographic Kinematic Approximation and Integration. Il a été conçu et développé par (Liu & Todini, 2002). Il s'agit d'un modèle hydrologique distribué à base physique. Les équations de l'onde cinématique sont intégrées à différentes échelles pour permettre une résolution de la transformation pluie-débit et de la propagation de la crue dans la rivière rapide. Il prend en compte l'évapotranspiration, la fonte des neiges et les transferts de l'eau dans le sol, en surface et dans les cours d'eau. En particulier, il modélise l'apparition du ruissellement superficiel par saturation des zones contributives. Les paramètres de ce modèle sont invariants par changement d'échelle et se déterminent à partir de différentes données : le MNT, la carte des sols, la carte de la végétation, la carte d'occupation des sols. Il a été utilisé pour l'analyse de crues extrêmes, la détermination des impacts des changements climatiques, l'extension à des bassins non jaugés, le couplage avec des modèles généraux de circulation.

3-6 AIGA : la méthode spécifique aux crues éclair

Il s'agit d'une méthode développée conjointement par Météo France et le Cémagref qui a pour vocation la prévision opérationnelle des crues éclair (Gregoris et al., 2001). Les pluies introduites dans le modèle sont d'une part les pluies du radar météorologique (reçues toutes les 15 minutes) et d'autre part une précipitation prévue à une heure. Le modèle hydrologique à l'échelle du bassin versant utilisé est la méthode du SCS (US soil Conservation Service). Il faut fournir à cette méthode 2 paramètres ainsi qu'une condition initiale d'humidité. Cette dernière est fournie quotidiennement par ISBA. La sortie d'AIGA est une évaluation du risque basé sur la période de retour de l'événement ainsi prévu (2 à 10 ans, 10 à 50 ans, au-delà de 50 ans).

Tableau 24 : Tableau résumé de quelques modèles hydrologiques (Estupina-Borrell, 2004).

Modèles	Statistique ou à base physique	Taille de l'unité hydrologique	Type de calage	Nature de la sortie
TOPMODEL	À base physique (zones contributives saturées)	Versant	À base physique (zones contributives saturées)	Hydrogramme de crue à l'exutoire
TOPKAPI	À base physique (processus complexes)	Pixel	Paramètres à caler à partir de chroniques PQ	Hydrogramme de crue
HEC HMS	À base physique (processus de type hortonien)	Sous bassin versant	Prédétermination possible puis calage à partir de chroniques PQ	Hydrogrammes de crue en différents points du bassin
SOPHIE	Modèles à propagation le long d'un cours d'eau et modèles pluie PQ globaux	Sous bassin versants	Calage statistique à partir de chroniques PQ	Hydrogrammes de crue en différents points du bassin
MIKE SHE	À base physique (processus complexes)	Pixel	Prédétermination possible et calage à partir de chroniques PQ	Hydrogrammes de crue en différents points du bassin
AIGA	À base physique (processus de type hortonien)	Pixel	Prédétermination possible puis calage à partir de chroniques PQ	Risque hydrologique
HYDROTEL	À base physique	Pixel	Prédétermination possible puis calage à partir de chroniques PQ	Hydrogrammes de crue

4- Les modèles génie rural GR

Dans cette partie, nous développerons plus particulièrement la description de ce modèle qui nous utiliserons pour le bassin d'Oued Boumessaoud.

La division hydrologie du Cemagref Antony développe depuis une vingtaine d'années une série de modèles pluie-débit pour l'hydrologie opérationnelle : les modèles GR pour Génie Rural (Edijatno et Michel 1989; Edijatno et al. 1999). Ces modèles appartiennent à la famille des modèles conceptuels à réservoirs. L'approche est globale. Le pas de temps est le plus souvent journalier même si des modèles dérivés à pas de temps mensuel, annuel et interannuel ont été construits (Makhlouf et Michel 1994).

Ces modèles privilégient le principe de parcimonie: la version de base GR3J possède trois paramètres ajustables et aucune version n'en compte plus de cinq.

4-1 Le calage et validation d'un modèle

Le calage consiste donc à sélectionner le jeu de paramètres d'un modèle de façon à ce que celui-ci simule le comportement hydrologique du bassin versant de la meilleure façon possible (Madsen, 2000).

Le critère utilisé est le critère des moindres carrés des erreurs, présenté sous la forme adimensionnelle du critère de Nash borné. L'opération de calage consiste à trouver des

valeurs des paramètres du modèle qui minimise l'erreur de modélisation sur la période considérée. Une période de 5 ans généralement est utilisée pour caler le modèle.

La validation porte sur l'application des modèles sur les données qui n'ont pas été utilisées lors de calage des modèles.

4-2 Critères de qualité

La validation du modèle est vérifiée par une comparaison des débits calculés et observés à travers un critère de qualité. Le critère le plus connu et le plus utilisé pour les modèles conceptuels est le critère de Nash et Sutcliffe (1970) qui s'exprime par l'équation ci-dessous.

$$\text{Nash (Q)} = 100 \times \left[1 - \frac{\sum_i (Q_{i,\text{obs}} - Q_{i,\text{cal}})^2}{\sum_i (Q_{i,\text{obs}} - \overline{Q}_{\text{obs}})^2} \right]$$

$Q_{i,\text{obs}}$ et $Q_{i,\text{cal}}$ sont les débits observés et calculés au pas de temps i ,

$\overline{Q}_{\text{obs}}$, est la moyenne des débits observés sur la période considérée.

Pour tenir compte de certaines valeurs particulières des débits, ce critère a été calculé en utilisant la racine carré des débits pour atténuer l'importance des débits de pointe, ou le logarithme pour les débits d'étiage.

En pratique, on estime que la simulation est de mauvaise qualité lorsque le critère de Nash est faible (<70%), elle est acceptable lorsqu'il est supérieur à 70%, parfaite lorsqu'il est égal à 100%

4-3 Objectifs de développement

La simulation du débit à l'exutoire d'un bassin versant est nécessaire voire indispensable pour de nombreuses applications d'ingénierie et de gestion de la ressource en eau, telles que le dimensionnement et la gestion d'ouvrages, la prévision des crues ou des étiages, la détection d'impact, etc. C'est pour répondre à ces questions que le Cemagref a commencé à développer au début des années 1980 des modèles hydrologiques (du Génie Rural – GR) permettant de faire le lien entre la lame d'eau précipitée sur un bassin versant et son débit à l'exutoire (Michel, 1983). Au-delà de leur aspect pratique, ces modèles ont soulevé des questions essentielles sur la façon de représenter la transformation de la pluie en débit à l'échelle du bassin versant.

4-4 Mode de développement

Bien que ces modèles soient parfois apparentés à des modèles conceptuels du fait de leur structure à réservoirs, ce sont en fait des modèles empiriques: leur construction s'est faite sur la base de grands jeux de données et en découvrant progressivement la structure permettant de reproduire au mieux le comportement hydrologique du bassin versant (c'est-à-dire sa réponse aux pluies). Les idées suivantes se sont progressivement imposées au cours du développement de ces modèles pour permettre d'obtenir des modèles fiables et robustes (Mathevet, 2005) :

- représentation globale du bassin versant,

- approche empirique de développement sans recours a priori à la physique des écoulements,
- augmentation progressive de la complexité de la structure du modèle en partant de structures simples,
- justification de la complexité de la structure d'un modèle par ses performances,
- recherche de structures de modèle générales (applicables à des bassins variés),
- utilisation de larges échantillons de bassins versants pour tester les performances des modèles,
- évaluation d'un modèle par comparaison à d'autres structures de modèle.

5- Le modèle pluie-débit annuel GR1A

Le modèle GR1A (modèle du Génie Rural à 1 paramètre Annuel) est un modèle pluie-débit global à un seul paramètre. Son développement a été initié au Cemagref à la fin des années 1990, avec pour objectif de mettre au point un modèle de simulation pluie-débit robuste et fiable en vue d'utilisations pour des applications d'évaluation et de gestion de la ressource en eau.

5-1 Commentaires et critiques du modèle GR1A

5-1-1 Description mathématique

La structure du modèle est très simple puisqu'elle se résume à une simple équation, le débit (Q_k) de l'année k étant proportionnelle à la pluie P_k de la même année, avec un coefficient d'écoulement dépendant de P_k , de la pluie P_{k-1} de l'année $k-1$ et de l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne E .

Le modèle GR1A s'écrit sous la forme d'une simple équation:

$$Q_k = P_k \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{0.7P_k + 0.3P_{k-1}}{X.E_k} \right)^2 \right]^{0.5}} \right\}$$

Où :

- Q_k est le débit simulé de l'année k
- P_k est la pluie observée de l'année k
- P_{k-1} est la pluie observée de l'année $k-1$
- E_k est l'évapotranspiration potentielle de l'année k
- X est le paramètre du modèle à optimiser

Le paramètre X traduit l'influence d'une ouverture du bassin sur l'extérieur non atmosphérique (par exemple échange avec des nappes profondes ou avec des bassins adjacents dans le cas d'une non-superposition des limites topographiques et géologiques) : si X est supérieur à 1, le système perd de l'eau et si X est plus petit que 1, le système en gagne, le tout exprimé en fraction de l'ETP.

5-1-2 Paramètre

Le modèle ne comporte qu'un paramètre optimisable, le paramètre X adimensionnel, qui apparaît comme un coefficient modulateur de l'évapotranspiration potentielle. Sur un large échantillon de bassins versants, la médiane de X vaut 0.7 et un intervalle de confiance à 90% est donné par [0.13; 3.5].

6- Le modèle pluie-débit mensuel GR2M

Le modèle GR2M (modèle du Génie Rural à 2 paramètres Mensuel) est un modèle pluie-débit global à deux paramètres. Son développement a été initié au Cemagref à la fin des années 1980, avec des objectifs d'applications dans le domaine des ressources en eau et des étiages. Ce modèle a connu plusieurs versions, proposées successivement par Kabouya (1990), Kabouya et Michel (1991), Makhlouf (1994), Makhlouf et Michel (1994), Mouelhi (2003) et Mouelhi et al. (2006b), qui ont permis d'améliorer progressivement les performances du modèle. La version présentée ici est celle de Mouelhi et al. (2006b) qui paraît la plus performante. Sa structure, bien qu'empirique, l'apparente à des modèles conceptuels à réservoirs, avec une procédure de suivi de l'état d'humidité du bassin qui semble être le meilleur moyen de tenir compte des conditions antérieures et d'assurer un fonctionnement en continu du modèle. Sa structure associe un réservoir de production et un réservoir de routage ainsi qu'une ouverture sur l'extérieur autre que le milieu atmosphérique. Ces trois fonctions permettent de simuler le comportement hydrologique du bassin.

6-1 Description mathématique

Un schéma de la structure est donné à la Figure 33 P_k est la pluie mensuelle du mois k et E l'évapotranspiration potentielle moyenne pour le même mois calendaire.

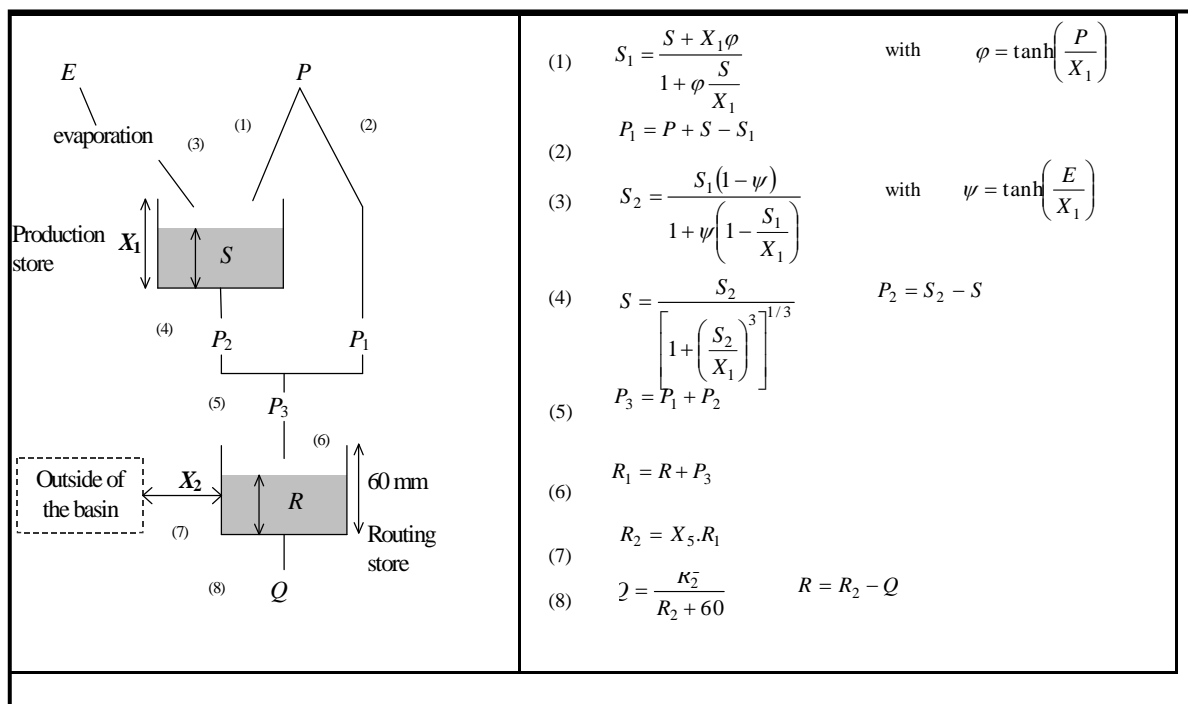


Figure 30 : Schéma de la structure du modèle GR2M

La fonction de production du modèle repose sur un réservoir de suivi d'humidité du sol, très similaire à celui existant dans le modèle GR4J. Du fait de la pluie P , le niveau S dans le réservoir devient S_1 défini par :

$$S_1 = \frac{S + X_1 \varphi}{1 + \varphi \frac{S}{X_1}} \quad \text{où} \quad \varphi = \tanh\left(\frac{P}{X_1}\right)$$

Le paramètre X_1 , capacité du réservoir, est positif et exprimé en mm. La pluie P_1 en excès est donnée par :

$$P_1 = P + S - S_1$$

Du fait de l'évapotranspiration, le niveau S_1 devient S_2 :

$$S_2 = \frac{S_1(1-\psi)}{1 + \psi \left(1 - \frac{S_1}{X_1}\right)} \quad \text{où} \quad \psi = \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right)$$

E est l'évapotranspiration potentielle. Le réservoir se vidange ensuite en une percolation P_2 et son niveau S , prêt pour les calculs du mois suivant, est alors donné par :

$$S = \frac{S_2}{\left[1 + \left(\frac{S_2}{X_1}\right)^3\right]^{1/3}} \quad \text{et} \quad P_2 = S_2 - S$$

La pluie totale P_3 qui atteint le réservoir de routage est donnée par : $P_3 = P_1 + P_2$

Le niveau R dans le réservoir devient alors R_1 : $R_1 = R + P_3$

Un terme d'échange en eau est alors calculé par : $F = (X_2 - 1).R_1$

Le paramètre X_2 est positif et adimensionnel. Le niveau dans le réservoir devient :

$$R_2 = X_2.R_1$$

Le réservoir, de capacité fixe égale à 60 mm, se vidange suivant une fonction quadratique. Le débit est donné par :

$$Q = \frac{R_2^2}{R_2 + 60}$$

6-2 Paramètres

Le modèle a deux paramètres optimisables :

- **X1** : capacité du réservoir de production (mm).

- X_2 : coefficient d'échanges souterrains (-).

Sur un large échantillon de bassins versants, on obtient les valeurs données dans le tableau 19.

Tableau 25 : Valeur des paramètres du modèle GR2M obtenues sur un large échantillon de bassins versants

Paramètre	Médiane	Intervalle de confiance à 90%
X1 (mm)	380	140 – 2640
X2 (-)	0,92	0,21 – 1,31

7- Le modèle pluie-débit journalier GR4J

Le modèle GR4J (modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journalier) est un modèle pluie-débit global à quatre paramètres. Son développement a été initié au Cemagref au début des années 1980, avec pour objectif de mettre au point un modèle de simulation pluie-débit robuste et fiable en vue d'utilisations pour des applications de gestion de la ressource en eau et d'ingénierie (dimensionnement d'ouvrage, prévision des crues et des étiages, gestion de réservoirs, détection d'impact...).

7-1 Description mathématique

GR4J est un modèle global à réservoir : le caractère global du modèle signifie qu'il considère le bassin comme une entité élémentaire, sans représentation explicite de la variabilité spatiale de ses caractéristiques. La structure de GR4J représente la transformation pluie-débit par un assemblage simple de réservoirs et d'outils mathématiques.

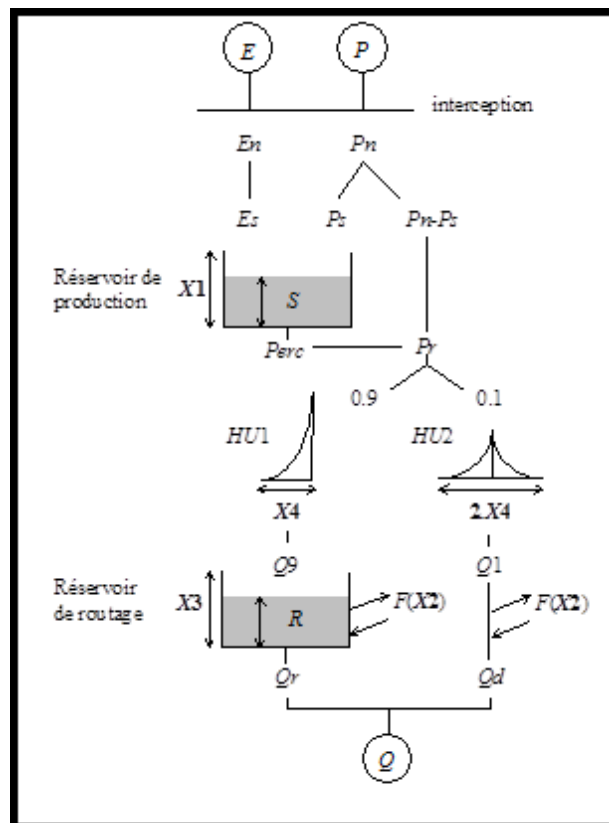


Figure 31 : Schéma de la structure du modèle GR4J (d'après Perrin, 2000).

Le modèle a quatre paramètres optimisables

On désigne par P (mm) la hauteur de la pluie et par E (mm) l'évapotranspiration potentielle (ETP).

P est une estimation de la pluie de bassin et E peut être issue d'une courbe d'ETP moyenne interannuelle. Les équations suivantes correspondent aux équations intégrées sur un pas de temps.

La première opération est la neutralisation de P par E pour déterminer une pluie nette P_n et une évapotranspiration nette E_n calculée par :

$$\text{Si } P > E, \text{ alors } P_n = P - E \quad \text{et} \quad E_n = 0$$

$$\text{Si } P < E, \text{ alors } P_n = 0 \quad \text{et} \quad E_n = E - P$$

Dans le cas où P_n est différente de zéro, une partie P_s de P_n alimente le réservoir de production et est calculée par :

$$P_s = \frac{X1 \left(1 - \left(\frac{S}{X1} \right)^2 \right) \cdot \tanh \left(\frac{P_n}{X1} \right)}{1 + \frac{S}{X1} \cdot \tanh \left(\frac{P_n}{X1} \right)}$$

où $X1$ (mm) et S sont respectivement la capacité maximum et le niveau du réservoir de production.

Dans le cas contraire, lorsque E_n est différent de zéro, une quantité d'évaporation E_s est retirée du réservoir de production. Elle est donnée par :

$$E_s = \frac{S \left(2 - \frac{S}{X1} \right) \cdot \tanh \left(\frac{E_n}{X1} \right)}{1 + \left(1 - \frac{S}{X1} \right) \cdot \tanh \left(\frac{E_n}{X1} \right)}$$

Le contenu du réservoir est mis à jour par :

$$S = S - E_s + P_s$$

Une percolation $Perc$ issue du réservoir de production est alors calculée :

$$Perc = S \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{4}{9} \frac{S}{X1} \right)^4 \right]^{-\frac{1}{4}} \right\}$$

Le contenu du réservoir est de nouveau mis à jour par :

$$S = S - Perc$$

La quantité d'eau Pr qui atteint finalement la partie routage du modèle est :

$$Pr = Perc + (Pn - Ps)$$

Pr est divisé en deux composantes d'écoulement, 90 % étant routés par un hydrogramme unitaire $HU1$ et un réservoir de routage et 10 % par un unique hydrogramme unitaire $HU2$.

$HU1$ et $HU2$ dépendent du même paramètre $X4$, temps de base de $HU1$ exprimé en jours.

Les ordonnées des hydrogrammes sont calculées à partir des courbes en S (cumul de la proportion de la pluie unitaire traitée par l'hydrogramme en fonction du temps) notées respectivement $SH1$ et $SH2$.

➤ **$SH1$ est définie en fonction du temps par :**

$$\text{Pour } t=0 \quad SH1(t) = 0$$

$$\text{Pour } 0 < t < X4 \quad SH1(t) = \left(\frac{t}{X4} \right)^{\frac{5}{2}}$$

$$\text{Pour } t > X4 \quad SH1(t) = 1$$

➤ **$SH2$ est définie en fonction du temps par:**

$$\text{Pour } t=0 \quad SH2(t) = 0$$

$$\text{Pour } 0 < t < X4 \quad SH2(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{t}{X4} \right)^{\frac{5}{2}}$$

$$\text{Pour } X4 < t < 2X4 \quad SH2(t) = 1 - \frac{1}{2} \left(2 - \frac{t}{X4} \right)^{\frac{5}{2}}$$

$$\text{Pour } t > 2X4 \quad SH2(t) = 1$$

➤ **Les ordonnées de $HU1$ et $HU2$ sont alors calculées par :**

$$UH1(j) = SH1(j) - SH1(j-1)$$

$$UH2(j) = SH2(j) - SH2(j-1)$$

où « j » est un entier.

A chaque pas de temps i , les sorties $Q9$ et $Q1$ des deux hydrogrammes sont calculées par :

$$Q9(i) = 0,9 \cdot \sum_{k=1}^l UH1(k) \cdot Pr(i - k + 1)$$

$$Q1(i) = 0,1 \cdot \sum_{k=1}^m UH2(k) \cdot Pr(i - k + 1)$$

où $l = \text{int}(X4)+1$ et $m = \text{int}(2.X4)+1$, avec $\text{int}(\cdot)$ désignant la partie entière.

Un échange souterrain en eau (perte ou gain) est calculé par :

$$F = X2 \left(\frac{R}{X3} \right)^{7/2}$$

où R est le niveau dans le réservoir, $X3$ la capacité à un jour du réservoir et $X2$ le coefficient d'échange en eau qui peut être positif dans le cas d'apports, négatif dans le cas de pertes vers des nappes profondes ou nul.

Le niveau dans le réservoir de routage est mis à jour en ajoutant la sortie $Q9$ de l'hydrogramme $HU1$ et F :

$$R = \max(0 ; R + Q9 + F)$$

Il se vidange ensuite en une sortie Qr donnée par :

$$Qr = R \cdot \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{R}{X3} \right)^4 \right]^{-\frac{1}{4}} \right\}$$

Le niveau dans le réservoir devient : $R = R - Qr$

La sortie $Q1$ de l'hydrogramme $HU2$ est soumise au même échange pour donner la composante d'écoulement Qd :

$$Qd = \max(0 ; Q1 + F)$$

Le débit total Q est alors donné par : $Q = Qr + Qd$

7-2 Paramètres

Le modèle GR4J ne comporte que quatre paramètres à caler:

- X1: capacité du réservoir de production (mm)
- X2: coefficient d'échanges souterrains (-)
- X3: capacité à un jour du réservoir de routage (mm)
- X4: temps de base de l'hydrogramme unitaire HU1 (j)

Sur un large échantillon de bassins versants, on obtient les valeurs données dans le Tableau suivant :

Tableau 26: Valeur des paramètres du modèle GR4J obtenues sur un large échantillon de bassins versants

Paramètre	Médiane	Intervalle de confiance à 80%
X1 (mm)	350	100 à 1200
X2 (-)	0	-5 à 3
X3 (mm)	90	20 à 300
X4 (jours)	1.7	1.1 à 2.9

CHAPITRE IV :
MODELISATION PLUIE – DEBIT DANS LE BASSIN
D'OUED BOUMESSAOU

I- MODELISATION PAR CORRELATION (précipitations / lames d'eau écoulées).

1- Corrélation annuelle

Avant l'application du modèle du Génie Rural, nous avons essayé une corrélation simple entre les précipitations de chaque station du bassin versant d'une part, et la moyenne arithmétique entre les différentes stations d'autre part avec les lames d'eau écoulées en aval du bassin d'Oued Boumessaoud.

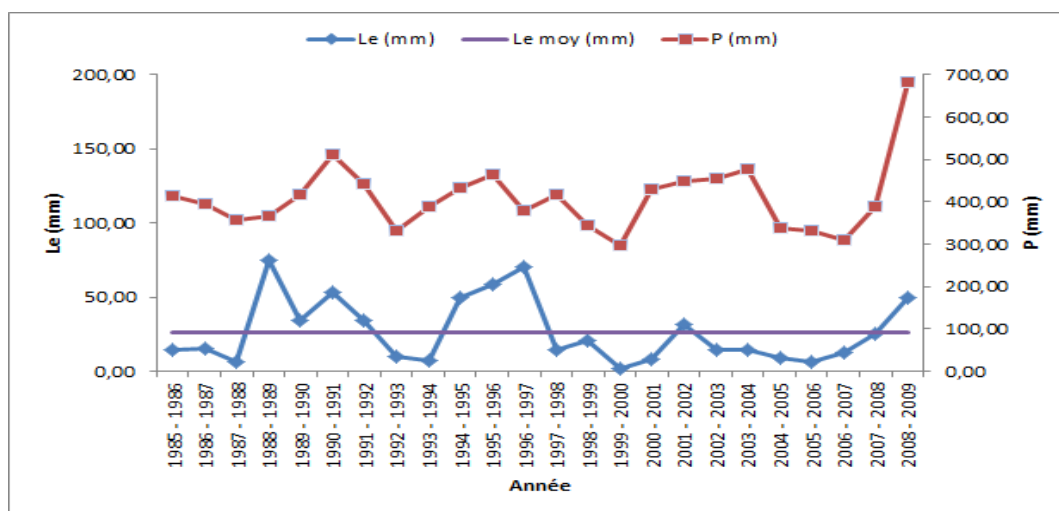


Figure 32 : Variation interannuelle des hauteurs des pluies moyennes (Tlemcen, Hennaya et Zenata) et des lames d'eau écoulées.

Le tableau 27, montre les différents résultats du coefficient de détermination et les modèles qui relient les paramètres pluies – débits.

Tableau 27: Résultats des différentes corrélations entre les deux paramètres pluie et la lame d'eau écoulée annuelle.

STATION	Linéaire	Exponentielle	Logarithmique	Polynomial	puissance
P(T+H+Z) -Q	$Q = 0,113P - 20,15$ $R^2 = 0,1763$	$Q = 1,39e^{0,0063P}$ $R^2 = 0,2808$	$Q = 52,45\ln(P) - 288,26$ $R^2 = 0,1897$	$Q = -0,0002P^2 + 0,34P - 70,69$ $R^2 = 0,1921$	$Q = 3E07P^{3,0071}$ $R^2 = 0,3247$
P(H+T) -Q	$Q = 0,095P - 16,67$ $R^2 = 0,1884$	$Q = 1,989e^{0,0049P}$ $R^2 = 0,2595$	$Q = 50,923\ln(P) - 284,23$ $R^2 = 0,2059$	$Q = -0,0002P^2 + 0,305P - 70,91$ $R^2 = 0,2134$	$Q = 1E-06P^{2,7074}$ $R^2 = 0,3032$
P(Z) -Q	$Q = 0,082P - 0,23$ $R^2 = 0,079$	$Q = 3,007e^{0,0055P}$ $R^2 = 0,1887$	$Q = 29,775\ln(P) - 145,23$ $R^2 = 0,0898$	$Q = -0,0002P^2 + 0,257P - 30,57$ $R^2 = 0,0885$	$Q = 0,0001P^{2,0747}$ $R^2 = 0,2271$
P(T) -Q	$Q = 0,068P - 8,167$ $R^2 = 0,1276$	$Q = 2,279e^{0,0041P}$ $R^2 = 0,2406$	$Q = 34,983\ln(P) - 190,77$ $R^2 = 0,12$	$Q = 9E-05P^2 - 0,037P + 19,62$ $R^2 = 0,1327$	$Q = 2E-05P^{2,2303}$ $R^2 = 0,2541$
P(H) -Q	$Q = 0,072P - 2,283$ $R^2 = 0,0892$	$Q = 5,180e^{0,0032P}$ $R^2 = 0,0892$	$Q = 27,184\ln(P) - 135,62$ $R^2 = 0,0916$	$Q = -0,0002P^2 + 0,223P - 30,16$ $R^2 = 0,0942$	$Q = 0,0223P^{1,125}$ $R^2 = 0,0816$
P(H+Z) -Q	$Q = 0,141P - 23,95$ $R^2 = 0,1222$	$Q = 0,993e^{0,0082P}$ $R^2 = 0,2144$	$Q = 49,21\ln(P) - 262,23$ $R^2 = 0,1302$	$Q = -0,0016P^2 + 1,222P - 204,93$ $R^2 = 0,1521$	$Q = 1E-06P^{2,8333}$ $R^2 = 0,2246$
P(T-Z) -Q	$Q = 0,08P - 7,157$ $R^2 = 0,1144$	$Q = 2,22e^{0,005P}$ $R^2 = 0,2345$	$Q = 35,50\ln(P) - 187,05$ $R^2 = 0,1154$	$Q = -3E-05P^2 + 0,113P - 14,25$ $R^2 = 0,1148$	$Q = 1E-05P^{2,3418}$ $R^2 = 0,2615$

Avec :

P : Précipitations (mm), - **Q** : Débit (mm), - **T** : Tlemcen, - **H** : Hennaya, - **Z** : Zenata.

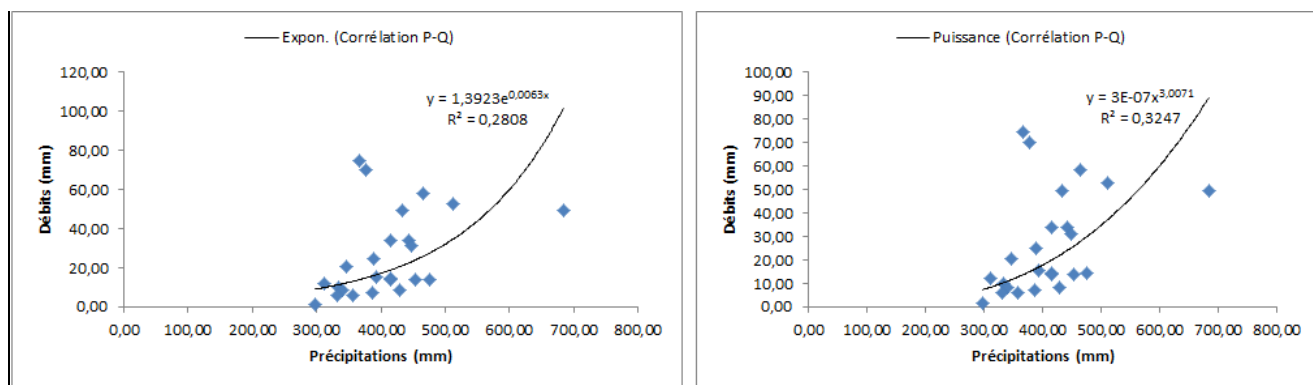


Figure 33 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée annuelle (La moyenne des précipitations de Tlemcen, Hennaya et Zenata).

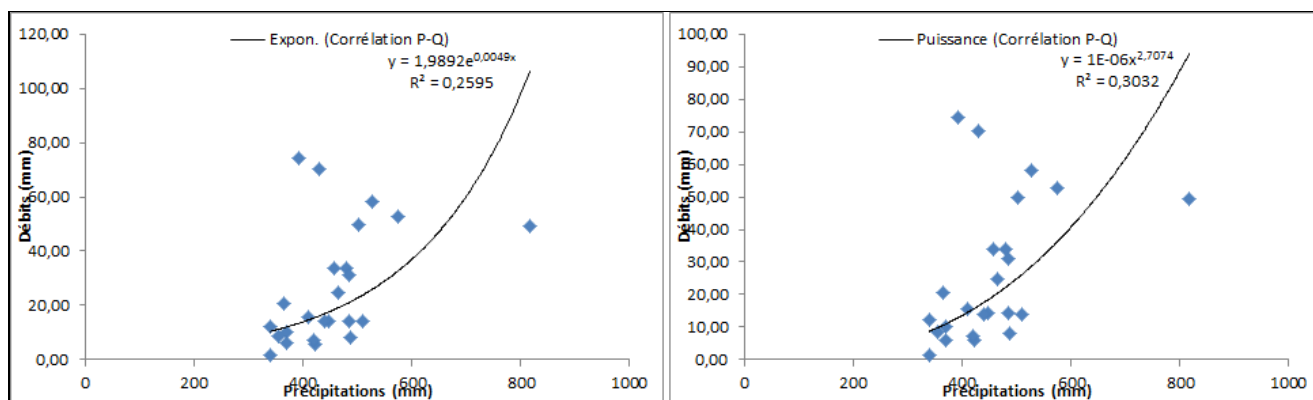


Figure 34 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée annuelle (La moyenne des précipitations de Tlemcen et Hennaya).

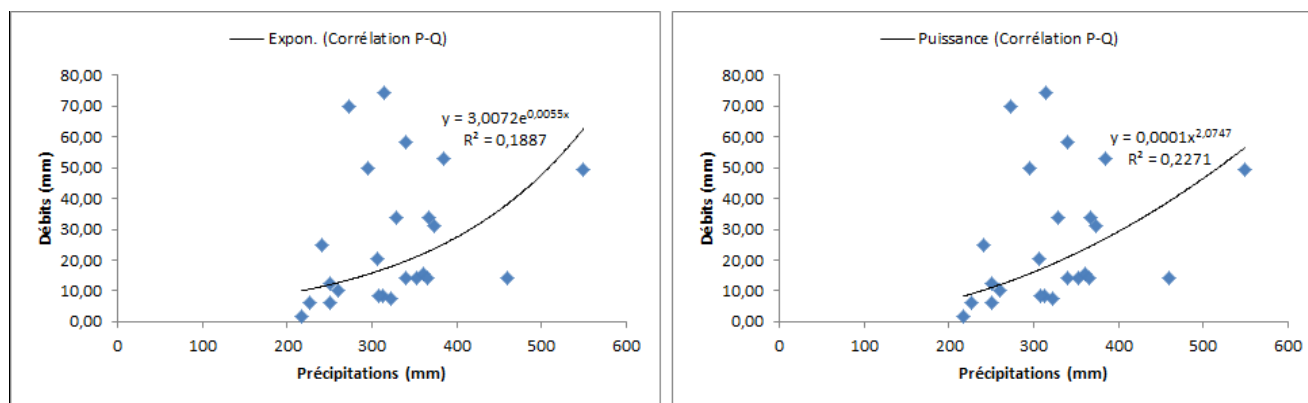


Figure 35 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée annuelle (précipitations station de Zenata).

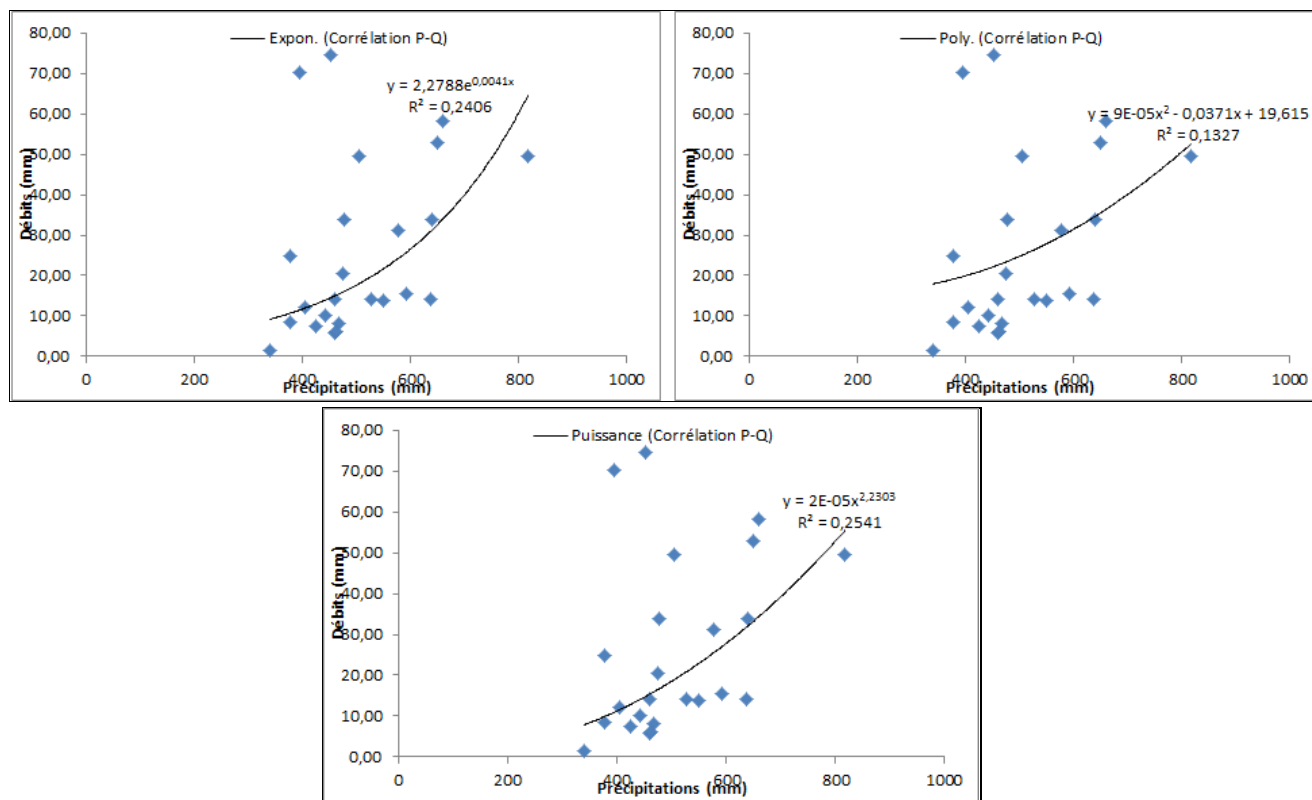


Figure 36 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulee annuelle (précipitations station de Tlemcen).

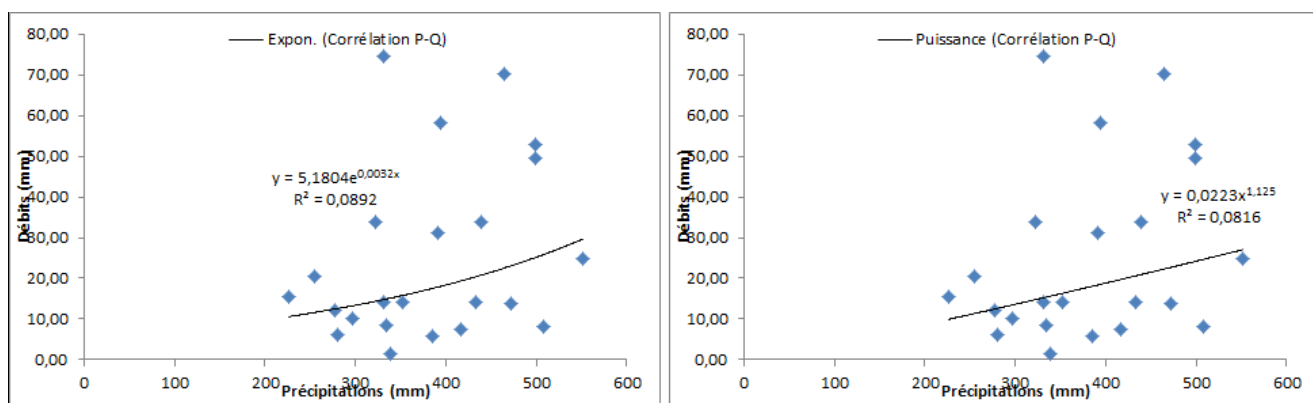


Figure 37 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulee annuelle (précipitations station d'Hennaya).

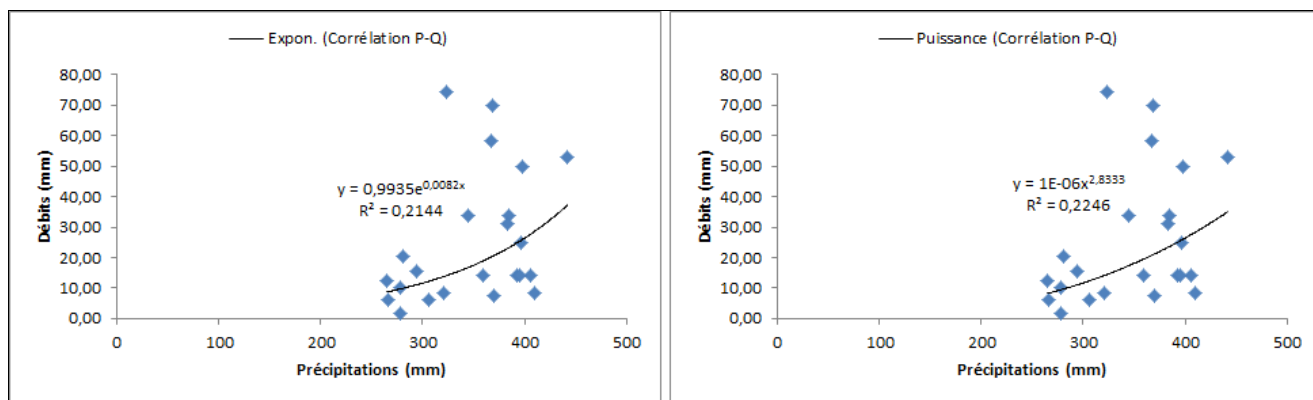


Figure 38 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulee annuelle (La moyenne des précipitations d'Hennaya et Zenata).

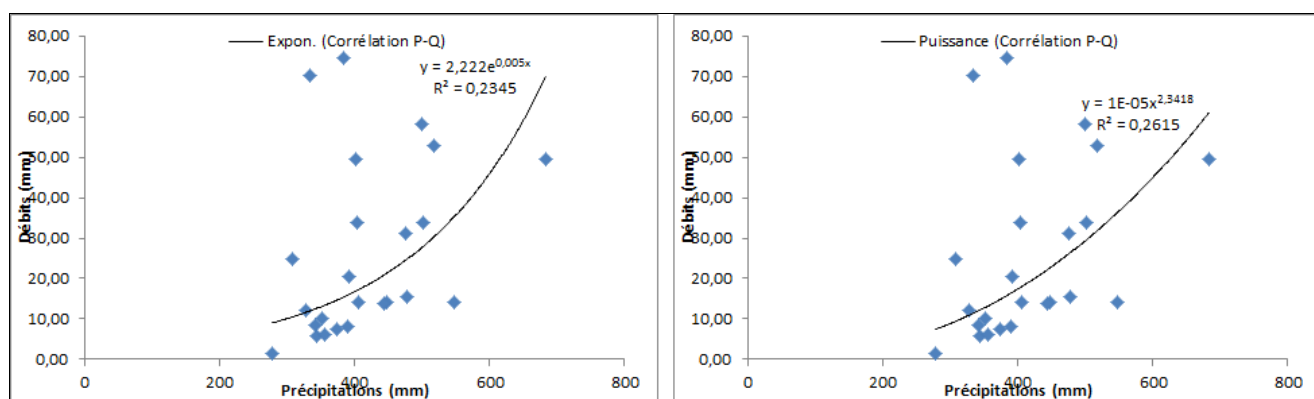


Figure 39 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée annuelle (La moyenne des précipitations de Tlemcen et Zenata).

La modélisation par corrélation des données annuelles donne des coefficients de corrélation faibles quelque soit le type de relation choisi. Les corrélations admissibles sont les tendances exponentielle et puissance pour les différents cas proposés.

2- Corrélation mensuelle

Nous avons utilisé des séries des données mensuelles de Janvier 1990 à décembre 2001 pour les trois stations.

Tableau 28: Résultats des différentes corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée mensuelles.

STATION	Linéaire	Exponentielle	Logarithmique	Polynomial	puissance
P(T+H+Z) - Q	$Q = 0,15P - 2,88$ $R^2 = 0,3048$	$Q = 0,27e^{0,0291P}$ $R^2 = 0,2556$	$Q = 2,94\ln(P) - 6,46$ $R^2 = 0,1131$	$Q = 0,002P^2 - 0,11P + 2,74$ $R^2 = 0,4496$	$Q = 0,05P^{0,8359}$ $R^2 = 0,1953$
P(H+T) - Q	$Q = 0,13P - 2,69$ $R^2 = 0,2786$	$Q = 0,26e^{0,0256P}$ $R^2 = 0,2424$	$Q = 2,78\ln(P) - 6,23$ $R^2 = 0,1052$	$Q = 0,002P^2 - 0,09P + 2,56$ $R^2 = 0,41$	$Q = 0,05P^{0,842}$ $R^2 = 0,2031$
P(Z) - Q	$Q = 0,13P - 0,90$ $R^2 = 0,2542$	$Q = 0,39e^{0,0256P}$ $R^2 = 0,2103$	$Q = 1,53\ln(P) - 0,57$ $R^2 = 0,0824$	$Q = 0,002P^2 - 0,12P + 2,75$ $R^2 = 0,382$	$Q = 0,3275P^{0,3873}$ $R^2 = 0,1136$
P(T) - Q	$Q = 0,10P - 1,93$ $R^2 = 0,3695$	$Q = 0,33e^{0,0198P}$ $R^2 = 0,299$	$Q = 2,17\ln(P) - 3,71$ $R^2 = 0,1263$	$Q = 0,001P^2 - 0,03P + 1,35$ $R^2 = 0,479$	$Q = 0,1014P^{0,6585}$ $R^2 = 0,2489$
P(H) - Q	$Q = 0,03P + 2,62$ $R^2 = 0,0175$	$Q = 0,74e^{0,0064P}$ $R^2 = 0,0214$	$Q = 2,81\ln(P) - 6,3$ $R^2 = 0,1037$	$Q = 0,002P^2 - 0,09P + 2,56$ $R^2 = 0,41$	$y = 0,5 P^{0,1804}$ $R^2 = 0,023$
P(H+Z) - Q	$Q = 0,12P - 0,91$ $R^2 = 0,1549$	$Q = 0,38e^{0,0243P}$ $R^2 = 0,1365$	$Q = 1,83\ln(P) - 2,23$ $R^2 = 0,0561$	$Q = 0,003P^2 - 0,16P + 3,96$ $R^2 = 0,2516$	$Q = 0,21P^{0,4799}$ $R^2 = 0,0819$
P(T-Z) - Q	$Q = 0,12P - 1,84$ $R^2 = 0,3379$	$Q = 0,33e^{0,0237P}$ $R^2 = 0,2754$	$Q = 2,14\ln(P) - 3,21$ $R^2 = 0,118$	$Q = 0,001P^2 - 0,07P + 2,10$ $R^2 = 0,4699$	$Q = 0,12P^{0,6218}$ $R^2 = 0,2134$

Avec :

P : Précipitations (mm), - Q : Débit (mm), - T : Tlemcen, - H : Hennaya, - Z : Zenata

Le tableau 28 ; présente les différentes corrélations pluie et lame d'eau écoulée mensuelles. Les résultats obtenus, permettent de constater que la modélisation par corrélation mensuelle donne des coefficients faibles, et que les modèles les plus proches sont le polynomiale, l'exponentiel et même puissance mais qui restent cependant non justificatifs.

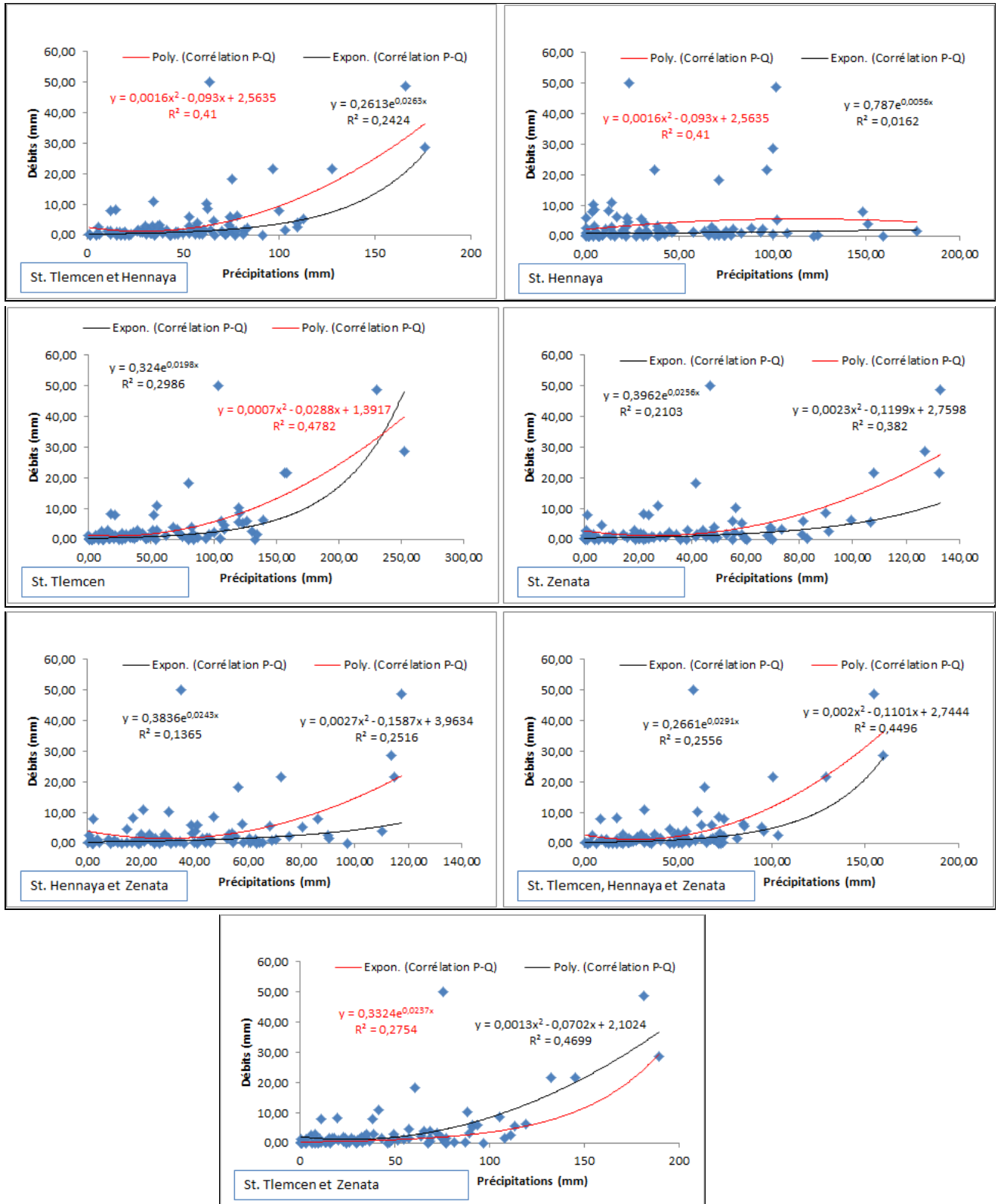


Figure 40: Corrélations entre les lames d'eau écoulées et les pluies mensuelles.

Les modèles corrélatifs semblent mal appropriés pour la modélisation pluie-débits (Les coefficients de corrélation calculés sont inférieurs à 0,50) du faite que ces modèles ne tiennent pas compte des paramètres qui régissent l'écoulement en particulier la dépendance

chronologique des débits successifs avec les pluies de la période k et k-1 de même qu'il ne prennent pas en compte les phénomènes d'échange avec l'atmosphère ou les bassins voisins.

Les caractéristiques physiques, la taille, la géologie, la structure du bassin, associées à l'intensité et la répartition spatio-temporelle des précipitations constituent les principaux facteurs qui conditionnent le phénomène.

C'est pour ces raisons que nous avons choisi pour la modélisation pluie- débits un modèle à réservoir (GR) qui tient compte aussi bien du pas de temps choisi ainsi que d'autres paramètres d'échange entre le bassin et l'atmosphère d'une part et entre les bassins voisins entre eux d'autre part. En plus les modèles GR sont parcimonieux n'exigeant que peu de données et peu de paramètres à caler.

II - APPLICATION DU MODELE GR

La modélisation pluie-débit a de nombreuses applications (Michel, 1989 ; Refsgaard & Abbott, 1996) parmi lesquelles on peut citer :

- Estimation des débits de rivières pour des sites non jaugés ;
- Dimensionnement des ouvrages d'art (barrages, ponts, déversoirs de sécurité...) ;
- Délimitation des zones inondables ;
- Simulation des débits pour des reconstitutions historiques ;
- Prévision des crues ;
- Détection de l'influence des changements d'occupation du sol ;
- Simulation de l'impact du changement climatique ;
- Pré détermination des débits de crue ou d'étiage (fréquence et durée) ;
- Prévision des étiages.

Devant ces problématiques, l'application de la modélisation en hydrologie est indispensable. Nous essayons donc, dans cette partie du chapitre ; d'appliquer le modèle GR sur notre bassin d'étude.

La version que nous avons utilisé est la version Excel disponible dans le site du CEMAGREF.

L'application de ce modèle a été effectuée sur les données annuelles pour GR1A ; ensuite mensuelles pour GR2M et enfin journalières pour le GR4J ; des pluies (P) mesurées à la station de Tlemcen, Hennaya et Zenata, et des débits (Q) mesurés à la station de Zenata.

A cause des contraintes rencontrées lors des consultations des données pluviométriques et des débits ; la période choisie pour l'étude est celle allant de 1985 à 2009.

1- Modèle annuel GR1A

Dans cette étude, pour prédire le débit à une année donnée on utilise à l'entrée du modèle des valeurs des pluies annuelles observées (mm), des ETP calculées par la méthode de Thornthwaite et celle de Turc en mm et des débits annuels (exprimés en lames d'eau écoulées) observés au niveau de la station de Zenata qui se trouve en aval du bassin versant d'Oued Bou Messaoud.

1-1 Calage du modèle GR1A

La procédure de calage a consisté à déterminer les paramètres optimisés à partir des différents critères de qualité ; nous avons donc cherché à caler le paramètre X1 du modèle. En modifiant ce paramètre pour la somme moyenne des précipitations des trois ou deux stations, ou même chaque station à part, jusqu'à l'obtention d'un critère de Nash optimum avec une valeur supérieur ou égal à 70% et un coefficient de corrélation acceptable. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 29 et représentés dans les figures (41 à 46).

Tableau 29 : Résultat du calage du modèle GR1A

Données annuelles	ETP (Thornthwaite)				ETP (Turc)			
	X	Nash (%)	Bilan (%)	Coefficient de corrélation (R)	X	Nash (%)	Bilan (%)	Coefficient de corrélation (R)
St. Tlemcen	1,68	73,8	103,7	0,86	1,53	74	104,8	0,85
St. Tlemcen et Hennaya	1,32	75,5	105,2	0,89	1,22	75,5	103,9	0,87
St. Tlemcen + Hennaya et Zenata	1,13	71,5	105,7	0,87	1,15	72,3	105,7	0,87

X : coefficient de correction de l'ETP (mm).

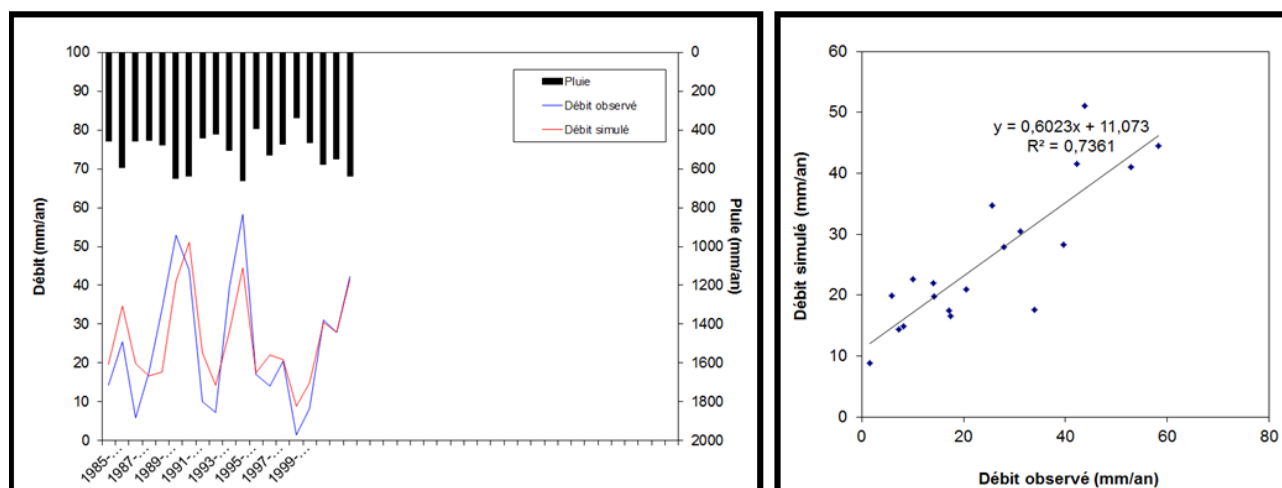


Figure 41: Résultat obtenu du calage du modèle GR1A avec les précipitations de la station de Tlemcen et l'ETP de Thornthwaite.

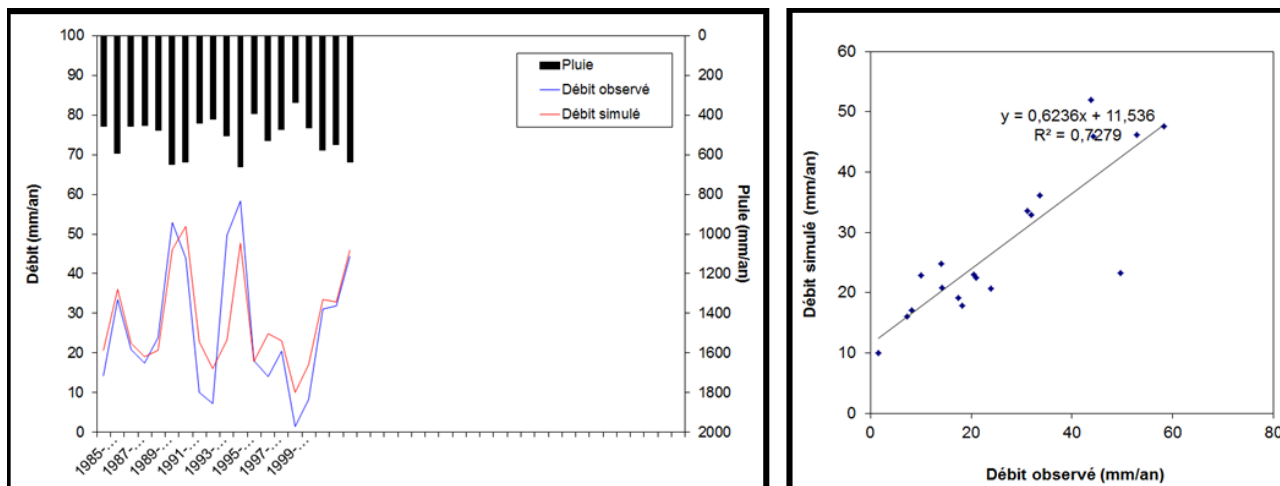


Figure 42 : Résultat obtenu du calage du modèle GR1A avec les précipitations de la station de Tlemcen et l'ETP de Turc.

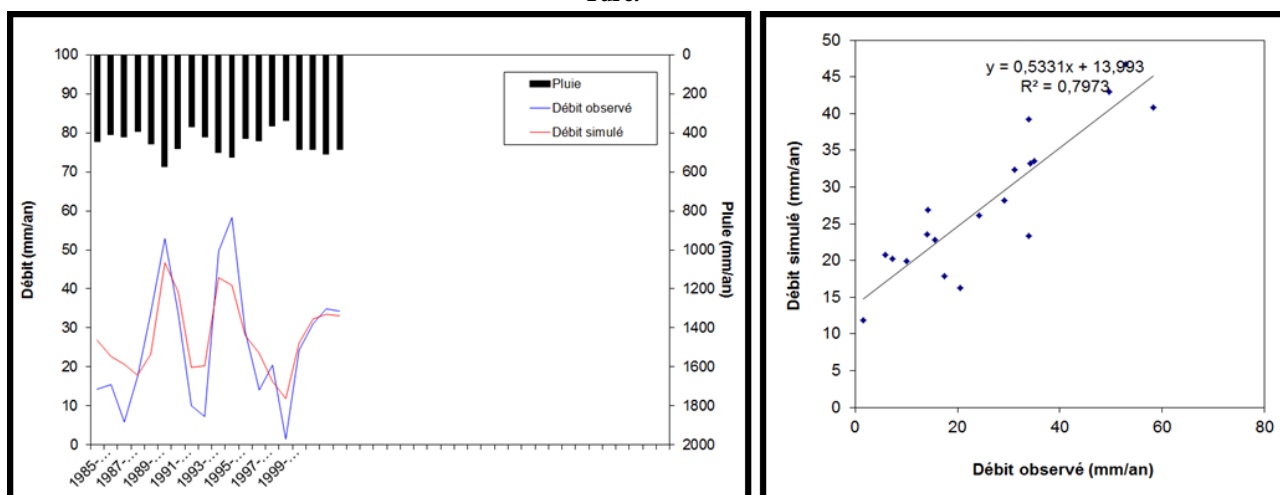


Figure 43 : Résultat obtenu du calage du modèle GR1A avec la moyenne des précipitations des stations de Tlemcen et Hennaya et l'ETP de Thornthwaite.

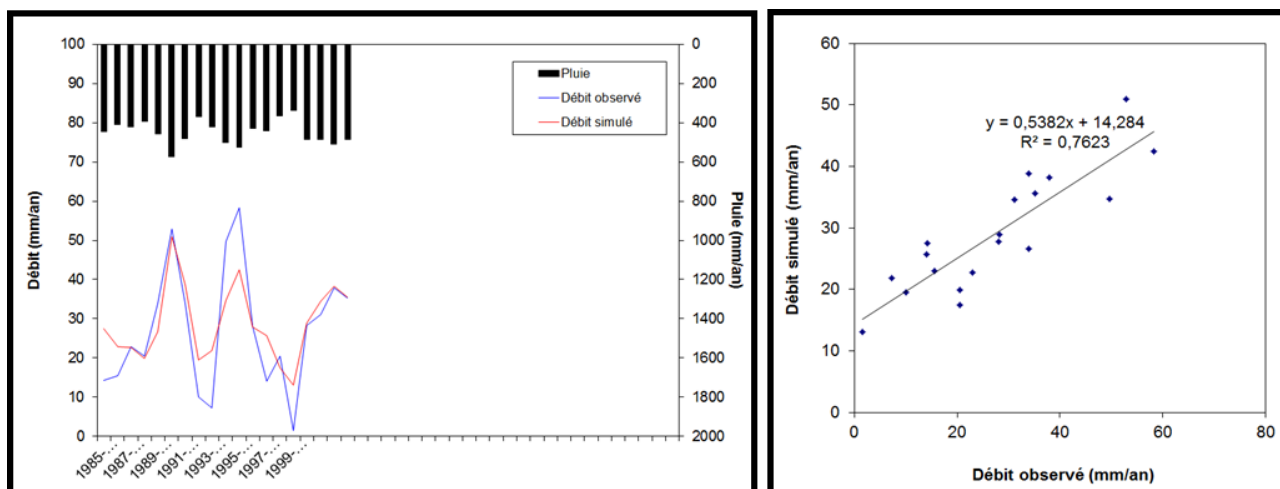


Figure 44 : Résultat obtenu du calage du modèle GR1A avec la moyenne des précipitations des stations de Tlemcen et Hennaya et l'ETP de Turc.

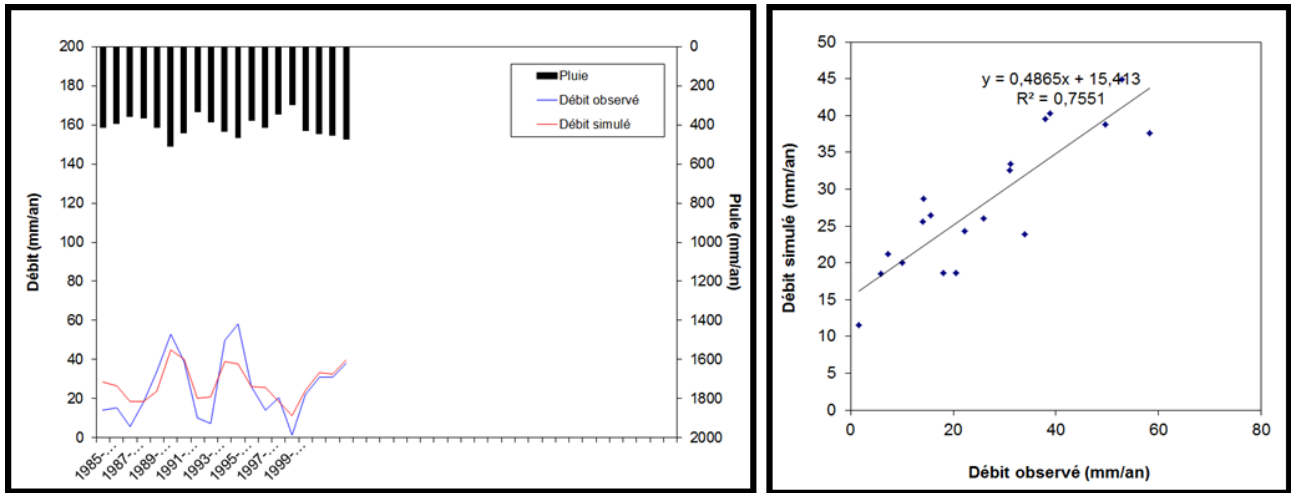


Figure 45 : Résultat obtenu du calage du modèle GR1A avec la moyenne des précipitations des stations de (Tlemcen, Hennaya et Zenta) et l’ETP de Thornthwaite.

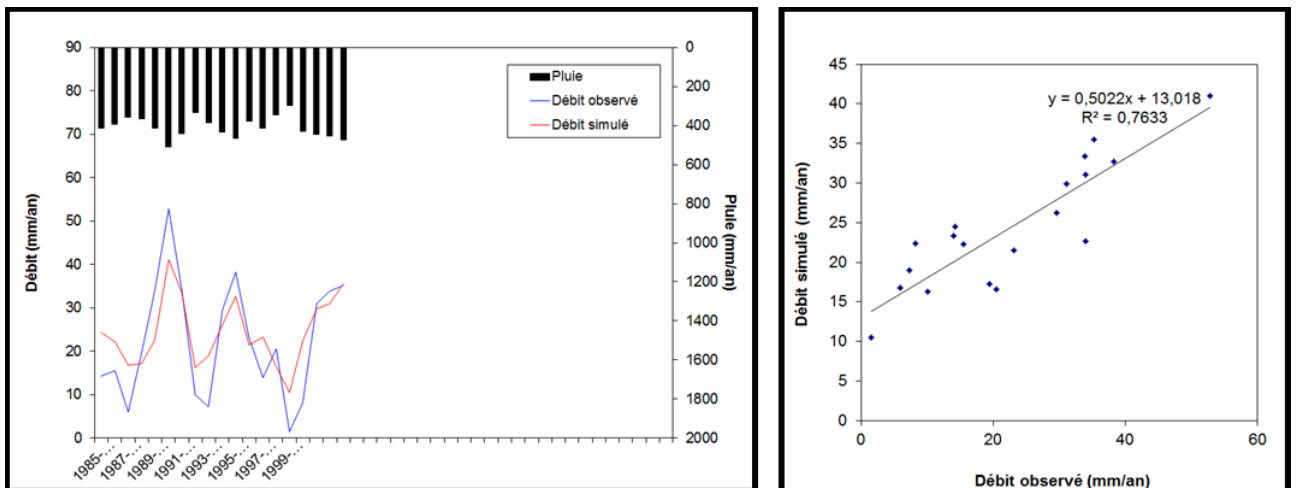


Figure 46 : Résultat obtenu du calage du modèle GR1A avec la moyenne des précipitations des stations de (Tlemcen, Hennaya et Zenata) et l’ETP de Turc.

Selon le coefficient de correction de l'évapotranspiration X1, nous remarquons que ce paramètre diminue de l'amont vers l'aval tout au long du bassin de l'Oued Bou Messaoud. Le paramètre X traduit l'influence d'une ouverture du bassin sur l'extérieur non atmosphérique et montre que pour la valeur de X qui varie entre 1,14 à 1,68, le bassin perd de l'eau en profondeur particulièrement dans la partie amont karstique du bassin.

1-2 Validation du modèle :

La validation porte sur l'application du modèle sur une série de données qui n'ont pas été utilisées lors du calage.

Le tableau 30 ; donne les variations du coefficient de corrélation Q simulé – Q observé relatifs à l'utilisation des ETP de Turc et Thornthwaite.

Tableau 30 : Les variations de coefficients de corrélation de la validation du modèle GR1A.

	Coefficient de détermination (R ²)		Coefficient de corrélation (R)	
	ETP (Thornthwaite)	ETP (Turc)	ETP (Thornthwaite)	ETP (Turc)
Tlemcen	0,771	0,767	0,88	0,88
Tlemcen et Hennaya	0,899	0,897	0,95	0,95
Tlemcen + Hennaya et Zenata	0,871	0,867	0,93	0,93

On remarque que la validation du modèle GR1A, obtenues par l'utilisation des ETP de Turc et Thornthwaite donne les même coefficients de corrélation (R).

Selon ces coefficients de corrélation qui sont obtenus à partir des débits simulés en fonction des débits observés (figure 47, 48 et 49), on constate que la modélisation pluie-débit élaborée par l'utilisation de GR1A ; donne des résultats très acceptables.

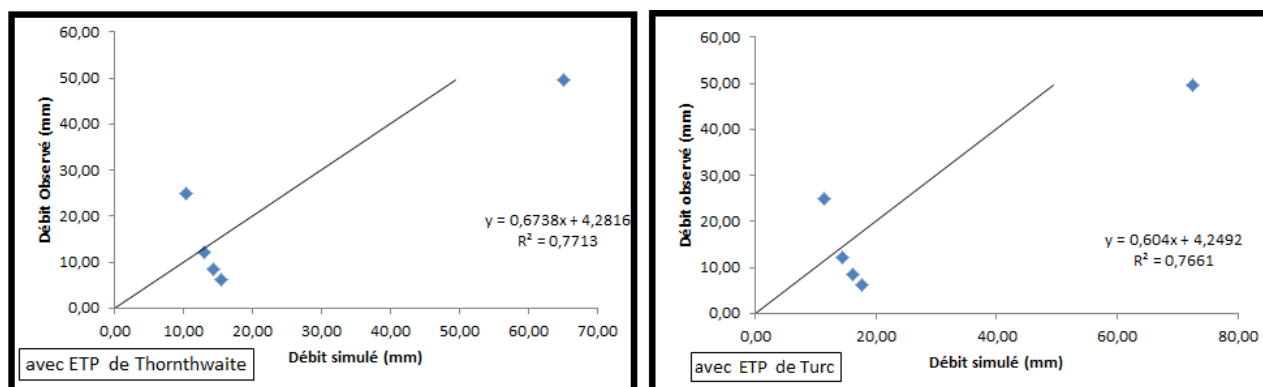


Figure 47 : Validation du modèle GR1A pour les précipitations à la station de Tlemcen (2004-2009).

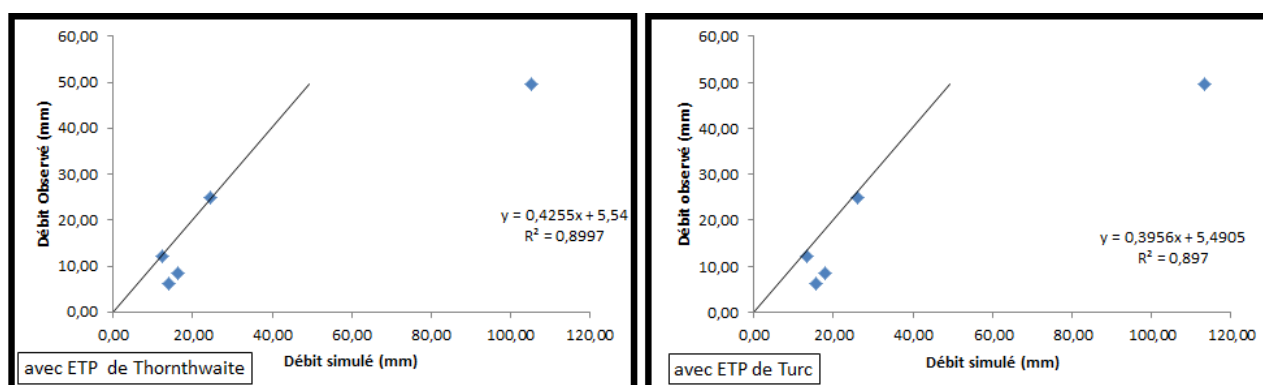


Figure 48 : Validation du modèle GR1A pour les précipitations moyennes des stations de Tlemcen et Hennaya (2004-2009).

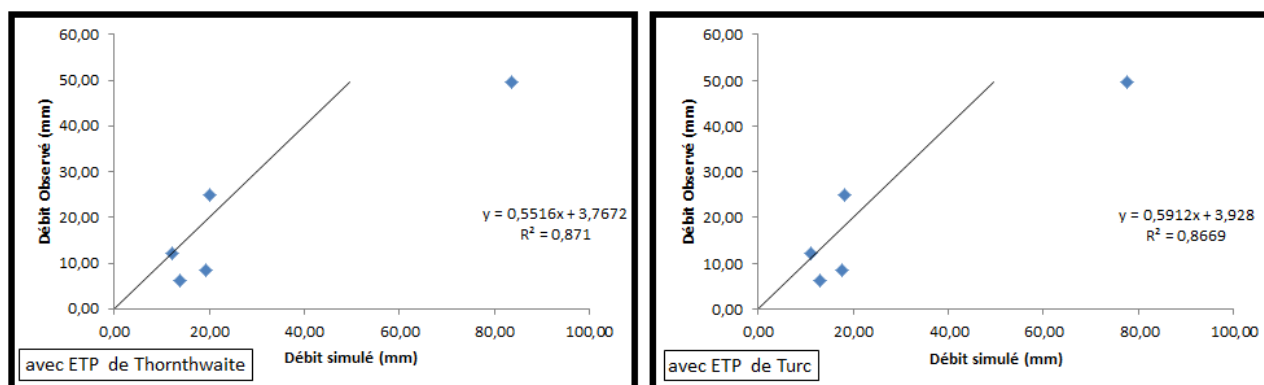


Figure 49: Validation du modèle GR1A pour les précipitations moyennes des stations de Tlemcen, Hennaya et Zenata (2004-2009).

2- Modèle mensuel GR2M

Le modèle GR2M est un modèle pluie-débit mensuel qui présente deux paramètres à caler. Pour prédire le débit mensuel simulé nous avons utilisé les pluies et les débits exprimés en lames d'eau écoulées mensuelles en mm relatives à la période 1990-2007.

De la même manière que GR1A ; nous avons testé l'évapotranspiration (mensuelle) calculée par les méthodes de Turc et de Thornthwaite.

2-1 Calage du modèle GR2M

Dans ce cas nous avons cherché à caler les deux paramètres $X1$ et $X2$ du modèle jusqu'à l'obtention des valeurs optimum des coefficients de détermination et du critère de Nash. La période choisie pour le calage est celle comprise entre Janvier 1990 à Décembre 2000.

Après plusieurs manipulations sur le logiciel GR2M ; et pour trouver la meilleure simulation nous avons procédé d'entrer les valeurs des précipitations mensuelles des stations de Tlemcen, la moyenne de P mensuelles des stations de Tlemcen et Hennaya et enfin la moyenne de P mensuelles des trois stations Tlemcen, Hennaya et Zenata. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 31.

Tableau 31 : Résultat du calage du modèle GR2M

Paramètre		St. de Tlemcen	St. Tlemcen et Hennaya	St. Tlemcen, Hennaya et Zenata
ETP (Thornthwaite)	$X1$	357,81	148,41	148,41
	$X2$	0,44	0,47	0,54
	Nash	83,8	77,2	80,6
	Bilan	87	96,9	99,5
	R^2	0,852	0,782	0,797
ETP (Turc)	$X1$	361,41	148,41	148,41
	$X2$	0,51	0,55	0,65
	Nash	85,3	77,3	81
	Bilan	90,9	90,4	100,3
	R^2	0,858	0,759	0,79

D'après les valeurs du critère de Nash et les coefficients de détermination, ainsi que la bonne superposition des courbes des lames d'eaux écoulées calculés et mesurés (Tableau 31 ; et les figures 50, 51, 52, 53, 54, 55), le calage paraît correct pour l'ensemble des stations choisies.

La variation du réservoir de production est très importante (entre 7 à 250 mm) pour la station de Tlemcen , alors que pour les autres elle reste assez modérée (entre 0 à 94 mm) et cela pour les deux types de l'ETP (Turc et Thonthwaite).

L'évolution du taux de remplissage du réservoir de routage reste assez stable et comprise entre 0 à 35 mm pour les trois situations des précipitations.

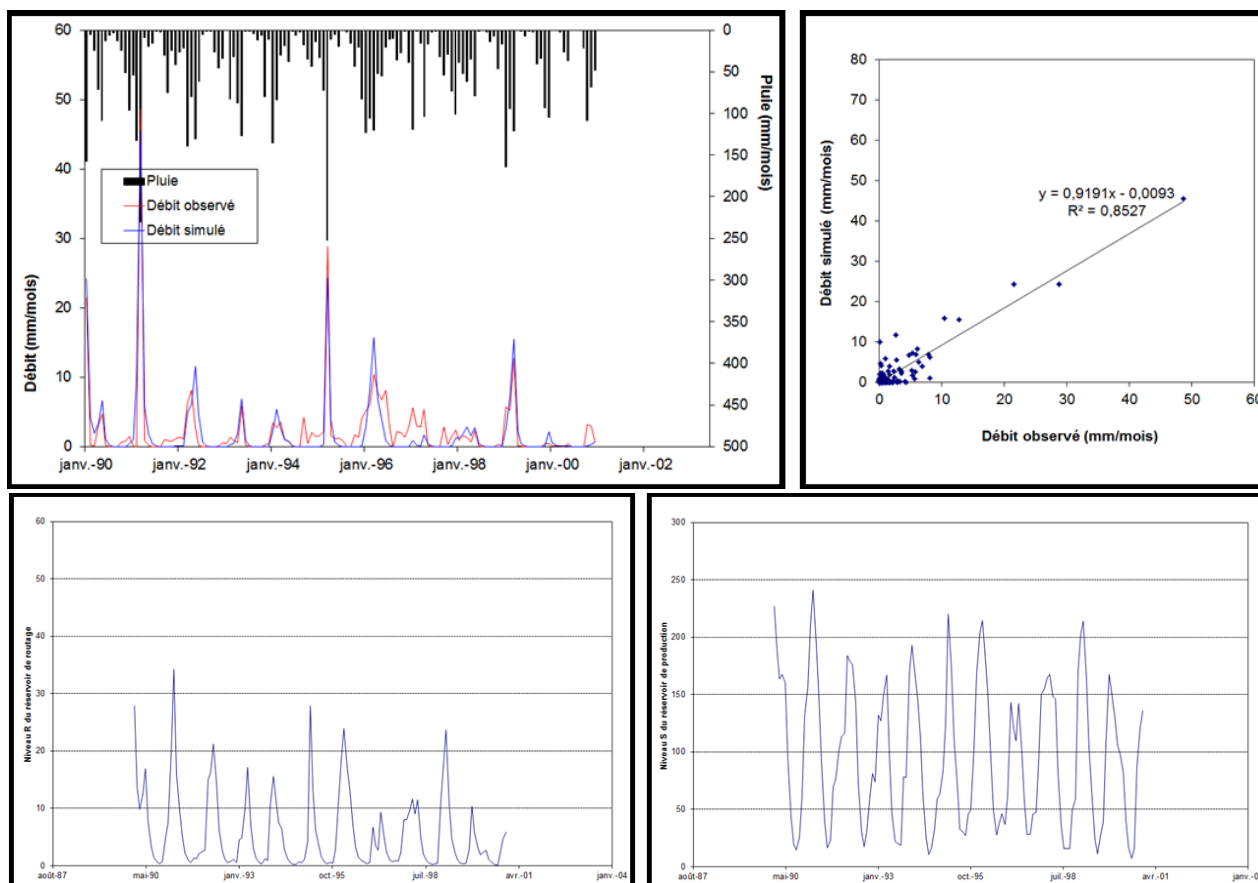


Figure 50 : Calage du modèle GR2M avec les précipitations de la station de Tlemcen et l'ETP de Thornthwaite.

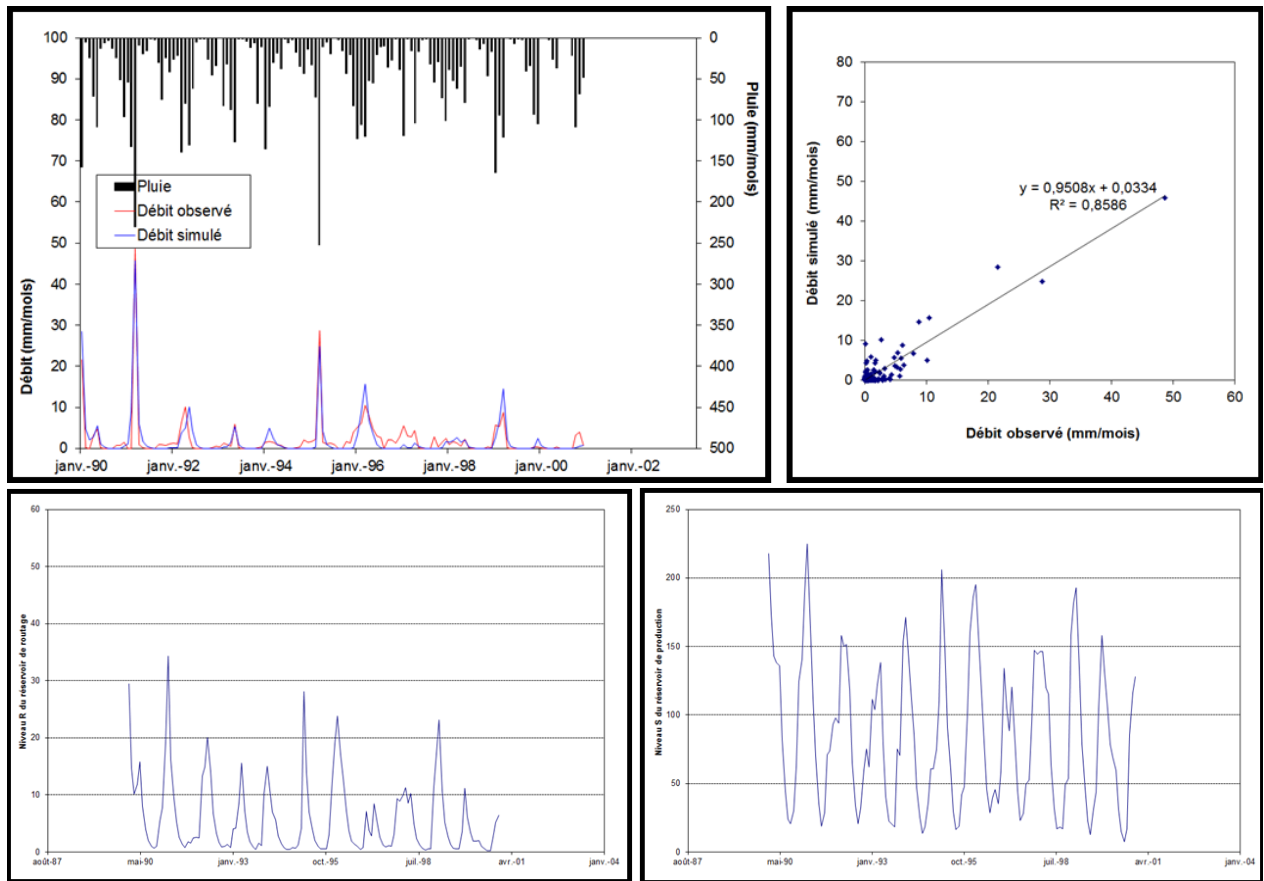


Figure 51 : Calage du modèle GR2M avec les précipitations de la station de Tlemcen et l'ETP de Turc.

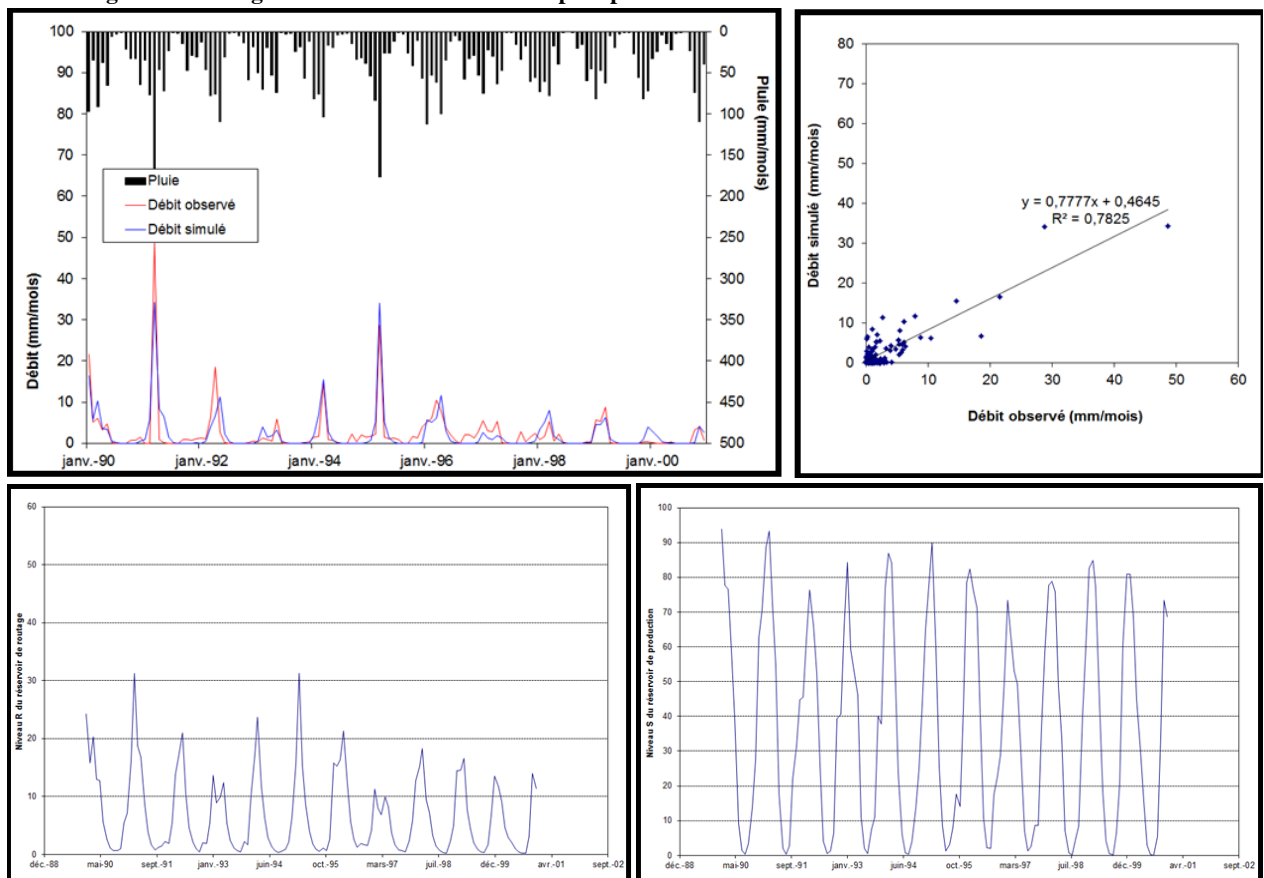


Figure 52 : Calage du modèle GR2M avec les précipitations moyennes de Tlemcen et Hennaya, et l'ETP de Thornthwaite

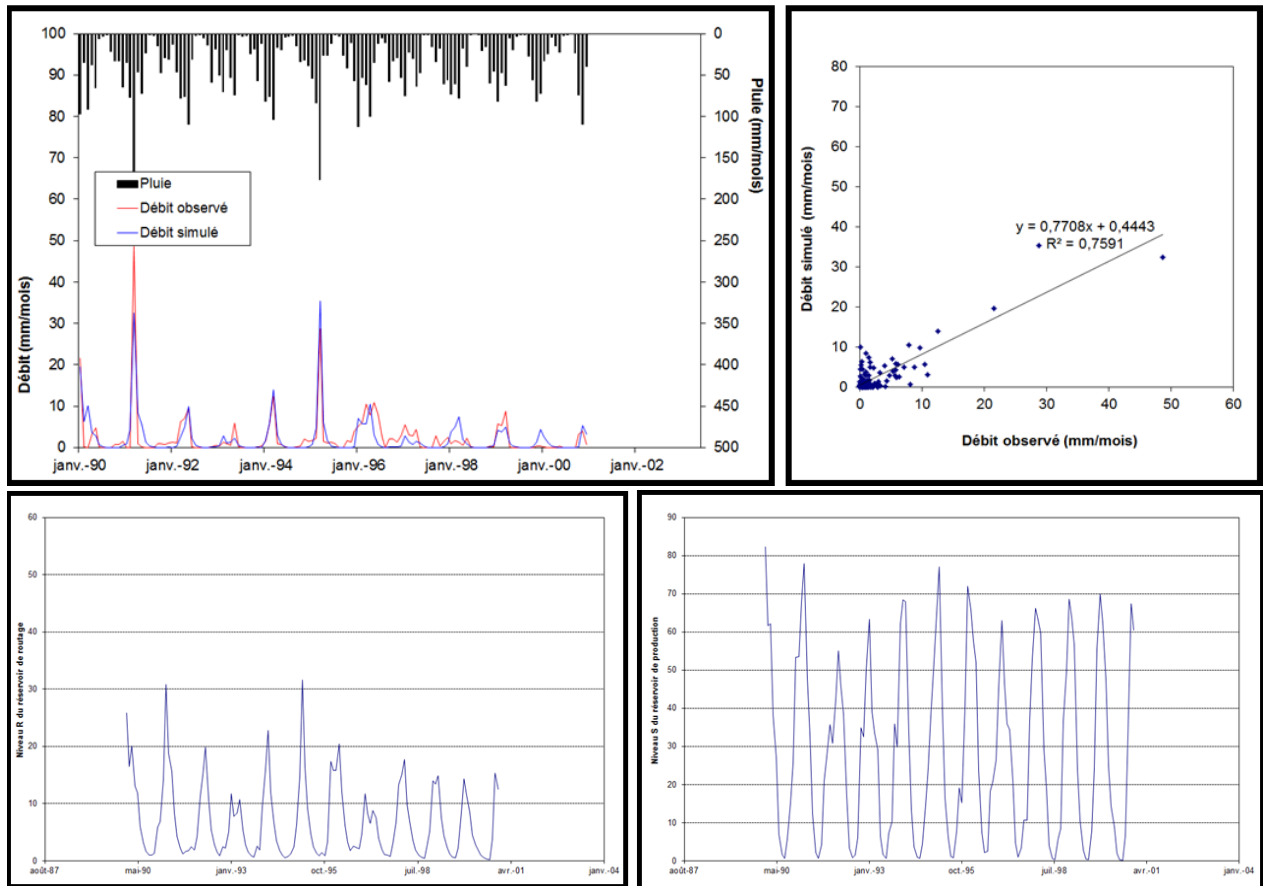


Figure 53 : Calage du modèle GR2M avec les précipitations moyennes de Tlemcen et Hennaya et l'ETP de Turc.

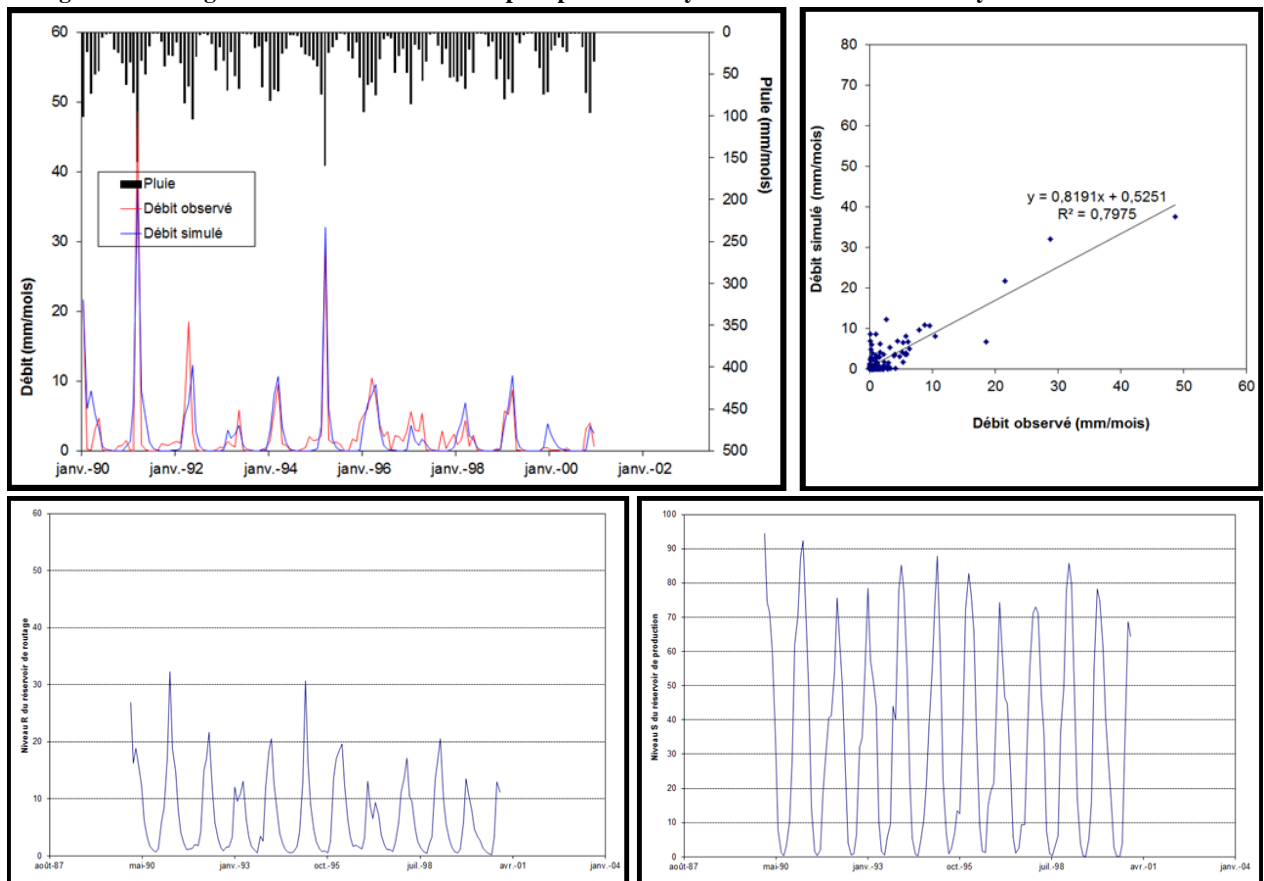


Figure 54 : Calage du modèle GR2M avec les précipitations moyennes de Tlemcen, Hennaya et Zenata et l'ETP de Thornthwaite.

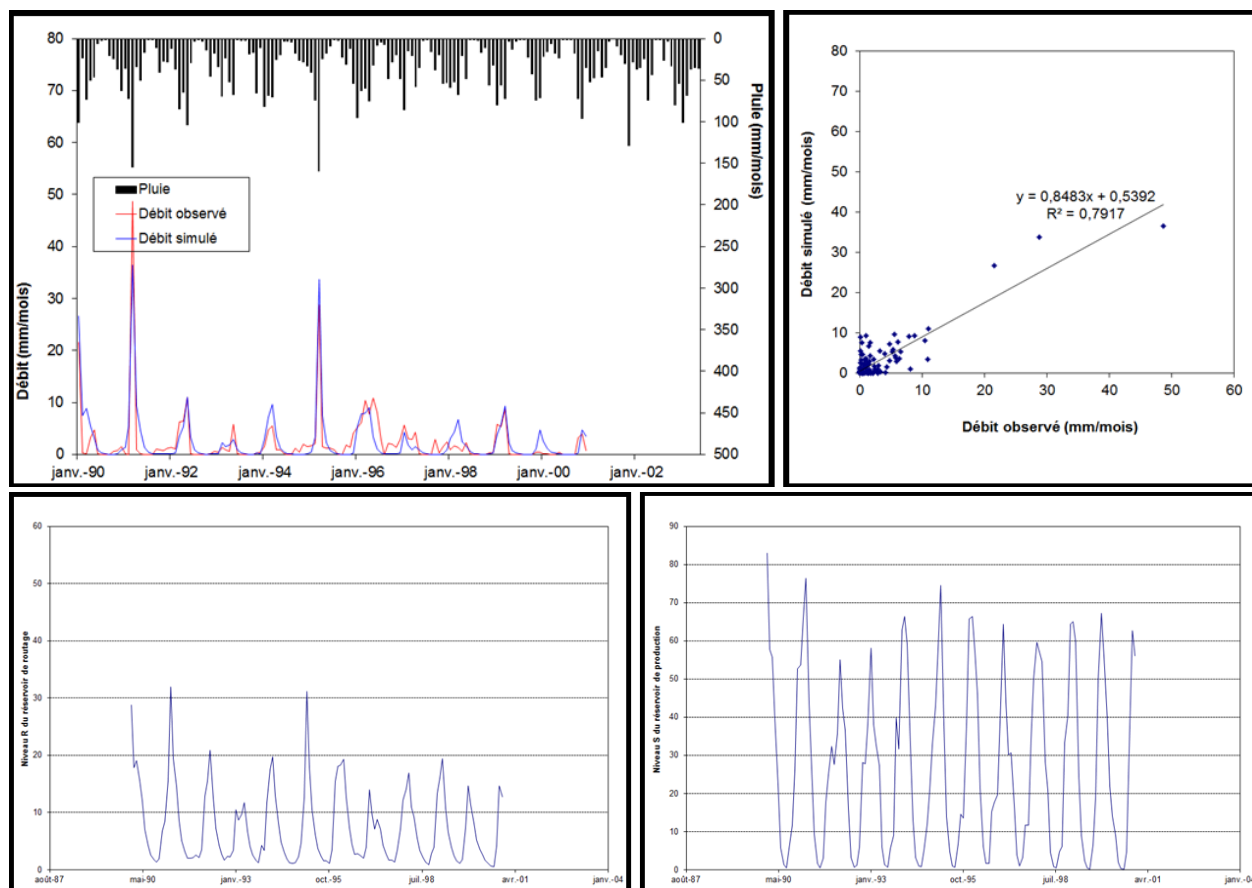


Figure 55 : Calage du modèle GR2M avec les précipitations moyennes de Tlemcen, Hennaya et Zenata et l'ETP de Turc.

2-2 Validation du modèle GR2M

Pour la validation, nous utilisons des séries des données des précipitations et d'évapotranspirations correspondant à la période de Janvier 2001 à Décembre 2007 et qui n'ont pas été déjà introduites dans le modèle.

Le tableau 32, résume les résultats de la validation du modèle GR2M, les coefficients de corrélations (débits simulés /débits observés) sont exprimés selon les données de l'ETP de Thornthwaite et de Turc.

Tableau 32 : Les variations de coefficients de corrélation de la validation du modèle GR2M

	Coefficient de détermination (R ²)		Coefficient de corrélation (R)	
	ETP (Thornthwaite)	ETP (Turc)	ETP (Thornthwaite)	ETP (Turc)
Tlemcen	0,66	0,69	0,81	0,83
Tlemcen et Hennaya	0,52	0,49	0,72	0,7
Tlemcen + Hennaya et Zenata	0,61	0,58	0,78	0,76

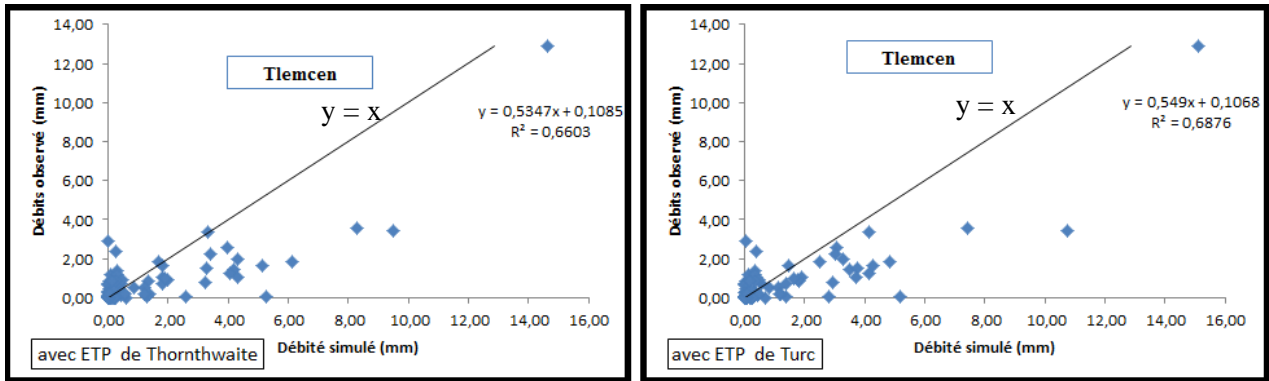


Figure 56 : Validation du modèle GR2M pour la station de Tlemcen.

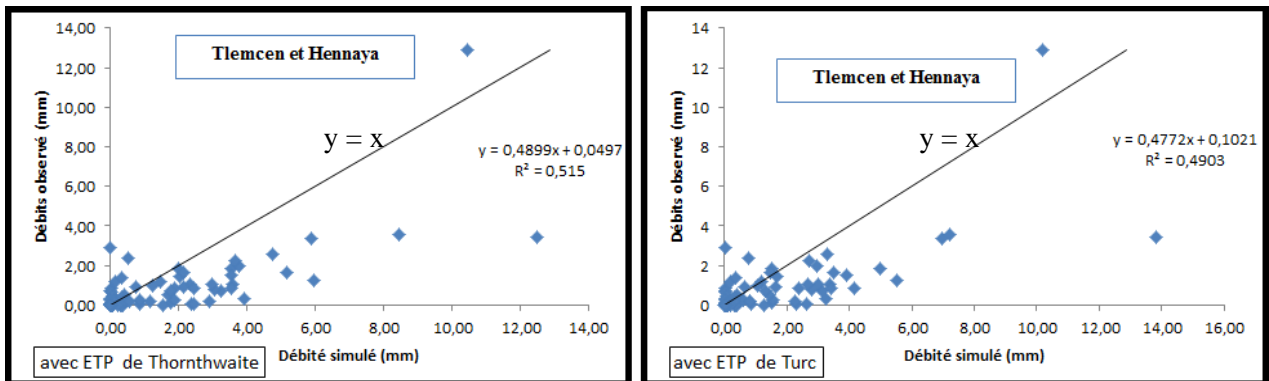


Figure 57 : Validation du modèle GR2M pour les stations de Tlemcen et Hennaya.

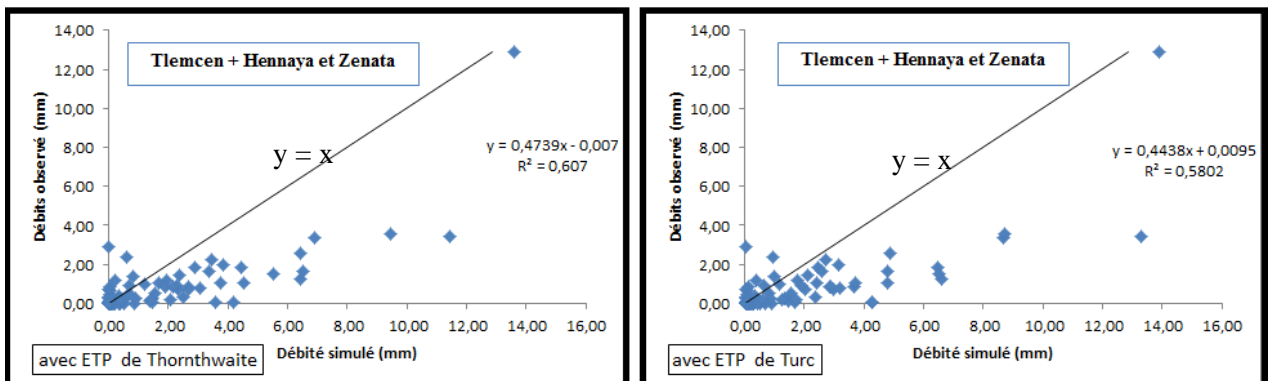


Figure 58 : Validation du modèle GR2M pour les stations de Tlemcen, Hennaya et Zenata.

La corrélation de la validation des débits simulés en fonction des débits observés (figure 56, 57 et 58) donne des valeurs du coefficient R^2 assez significatifs. Par conséquent nous pouvons dire que la modélisation pluie-débit par l'utilisation du modèle GR2M, donne des résultats acceptables et très encourageant pour le bassin d'Oued Boumessaoud.

3- Modèle journalier GR4J

Le modèle GR4J est un modèle journalier à quatre paramètres optimisables : X1, capacité du réservoir de production (mm), X2 : coefficient d'échanges souterrains (-), X3 : capacité à un jour du réservoir de routage (mm), X4 : temps de base de l'hydrogramme unitaire HU1 (j). Le modèle utilise en entrée la hauteur de pluie moyenne sur le bassin versant P (mm) et l'évapotranspiration potentielle E (mm).

3-1 Formule d'Oudin pour la détermination de l'évapotranspiration potentielle en modélisation hydrologique

Le concept d'évapotranspiration potentielle (ETP) permet de représenter la demande évaporatoire de l'atmosphère. En modélisation pluie-débit, l'ETP est souvent utilisée car, contrairement à l'évapotranspiration réelle (ETR), son estimation ne nécessite que la connaissance de paramètres liés à l'atmosphère. Ces paramètres sont plus homogènes à l'échelle du bassin et plus facilement mesurables que des paramètres tels que la nature du sol et l'état hydrique du sol, dont la connaissance est nécessaire pour estimer l'ETR.

L'évaluation de 27 formulations d'évapotranspiration potentielle (ETP) pour des applications de modélisation pluie-débit a conduit à la mise au point d'une formule d'ETP simple et efficace permettant d'obtenir de meilleurs résultats que l'ensemble des formulations existantes, en termes de restitution des débits (Oudin, 2004; Oudin, et al., 2005).

La formulation est détaillée par Oudin et al. (2004). Elle utilise comme seule donnée d'entrée la température. Elle utilise également le calcul de la radiation extraterrestre détaillée par Morton (1983).

Formule d'Oudin :
$$PE = (R_e / \lambda P) * (T_a + K_2) / K_1$$

Si : $T_a + K_2 > 0$

Sinon : $PE = 0$

Avec :

PE : Evapotranspiration potentielle (mm/jour) ;

R_e : Radiation extra-terrestre (MJ m-2/jour) calculée en fonction de la latitude et du jour ;

T_a : Température journalière en °C ;

λ : Flux de chaleur latente (2.48 MJ/Kg) ;

ρ : Densité de l'eau (Kg/m3).

Les valeurs de l'ETP calculés par la formule d'Oudin sont résumées dans le tableau en ANNEXE 7.

3-2 Calage du modèle GR4J

Pour prédire le débit journalier simulé, les données utilisées sont les débits moyens journaliers à la station de Zenata, les pluies journalières et les ETP calculées par la méthode d'Oudin à la station de Zenata (Il faut noter que les données de températures journalières entrant dans le calcul de l'ETP proviennent du site www.tutitempo.net). La période choisie pour l'étude est la période allant de 2005 à 2008.

Dans le but de chercher la meilleure corrélation ; nous avons procédé d'entrer dans le modèle les valeurs des précipitations moyennes journalières des stations de Tlemcen, la moyenne de P journalières des stations de Tlemcen et Hennaya et enfin la moyenne de P journalières des trois stations Tlemcen, Hennaya et Zenata.

La procédure de calage a consisté à déterminer les paramètres optimisés à partir des différents critères de qualité. Nous avons reporté dans le tableau 33, les paramètres obtenus pour les différentes stations.

Tableau 33 : Résultat du calage du modèle GR4J

Paramètre	St. de Tlemcen	St. Tlemcen et Hennaya	St. Tlemcen, Hennaya et Zenata	
ETP d'OUUDIN	<i>X1</i>	445,86	298,87	109,95
	<i>X2</i>	-4,84	-4,02	-1,03
	<i>X3</i>	20,09	20,09	22,20
	<i>X4</i>	2,89	2,89	2,86
	<i>Nash</i>	94,8	76,7	88
	<i>Bilan</i>	112,6	101	98,7
	<i>R²</i>	0,78	0,72	0,73

D'après les valeurs des coefficients de détermination et du critère de Nash (Tableau 33) et les figures 59, 60 et 61, le calage est satisfaisant pour l'ensemble des stations choisies.

Selon le graphe de l'évolution du taux de remplissage du réservoir de production pour les différentes stations choisies, nous pouvons déduire qu'une partie importante reste sous forme de pertes en profondeur faisant retarder la réponse au niveaux des stations hydrométriques.

L'évolution du taux de remplissage de routage, peut expliquer aussi un échange avec les formations adjacentes.

Le taux de remplissage maximum du réservoir est le plus élevé en amont du bassin, par contre, et inversement le taux minimum est le plus petit. Il varie entre 0,83 à 0,13 mm pour la station de Tlemcen, et de 0,75 à 0,16 mm pour la moyenne pluviométrique des stations de Tlemcen et Hennaya ; et enfin de 0,65 à 0,19 mm pour la moyennes des précipitations des trois stations.

Le niveau de routage vari entre 0,65 à 0,03 mm pour st. Tlemcen, et de 0,70 à 0,001 mm pour st. Tlemcen et Hennaya ; et enfin de 0,64 à 0 mm pour st. Tlemcen, Hennaya et Zenata.

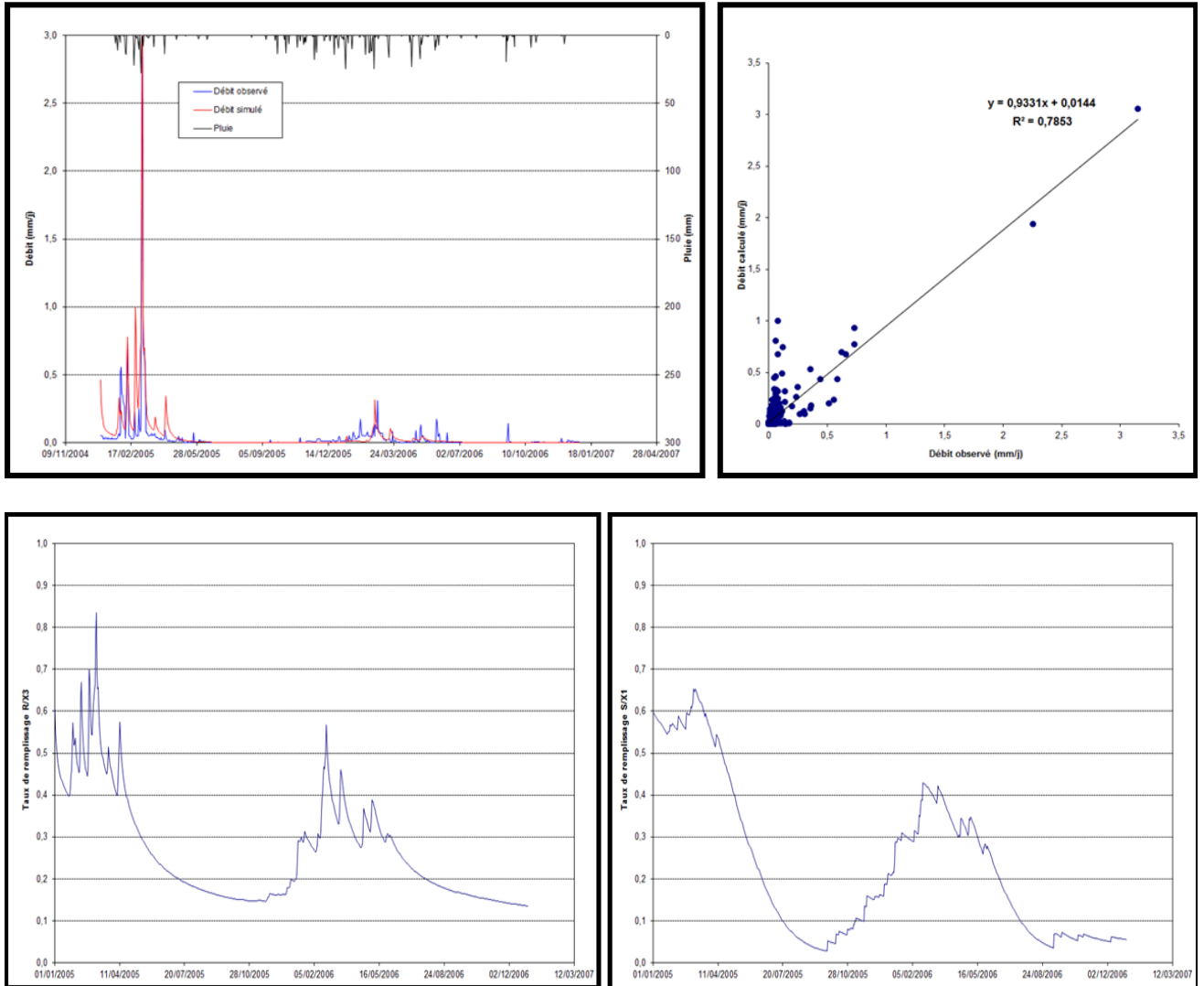


Figure 59 : Calage du modèle GR4J (st. de Tlemcen).

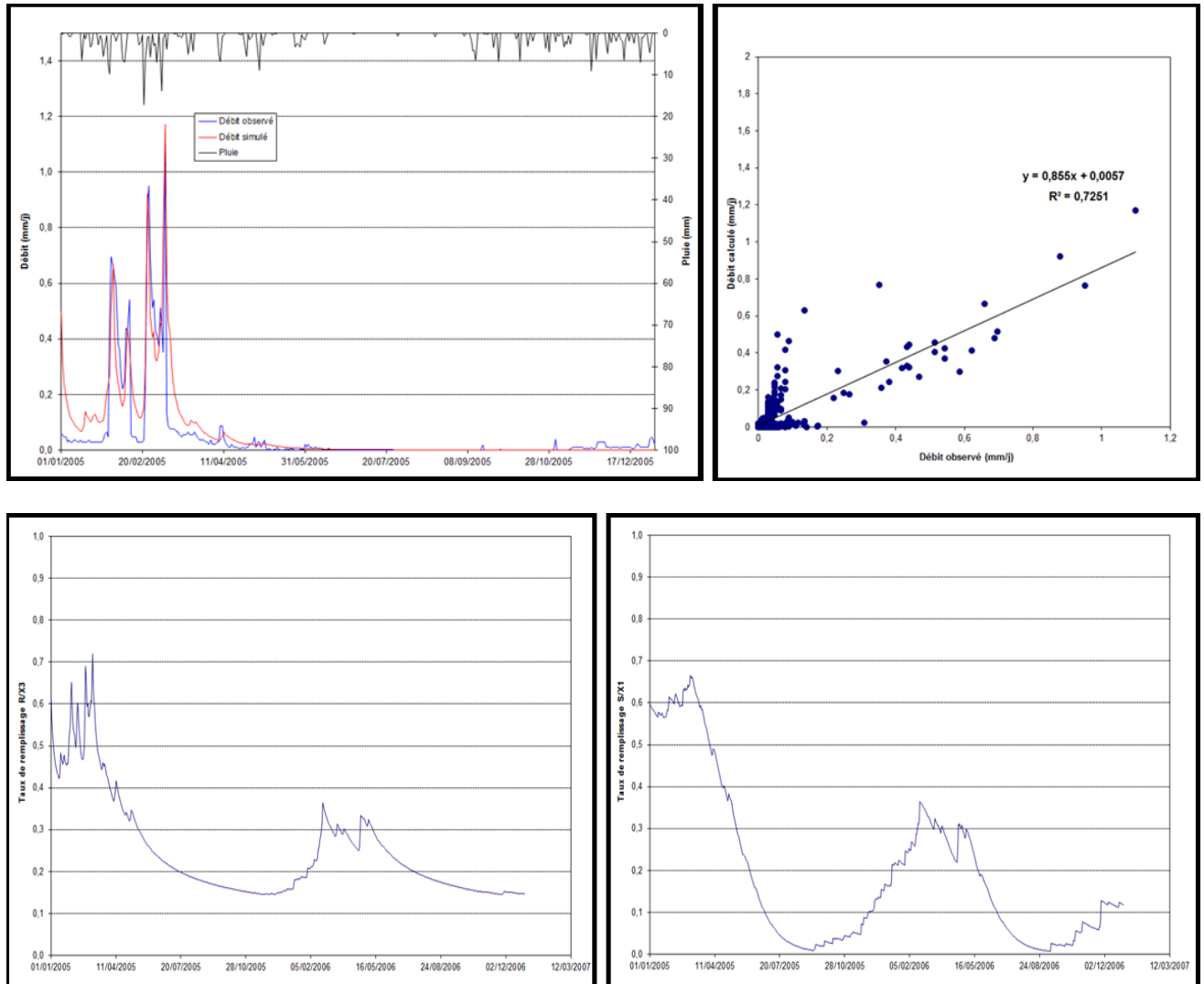


Figure 60 : Calage du modèle GR4J (st. de Tlemcen et Hennaya).

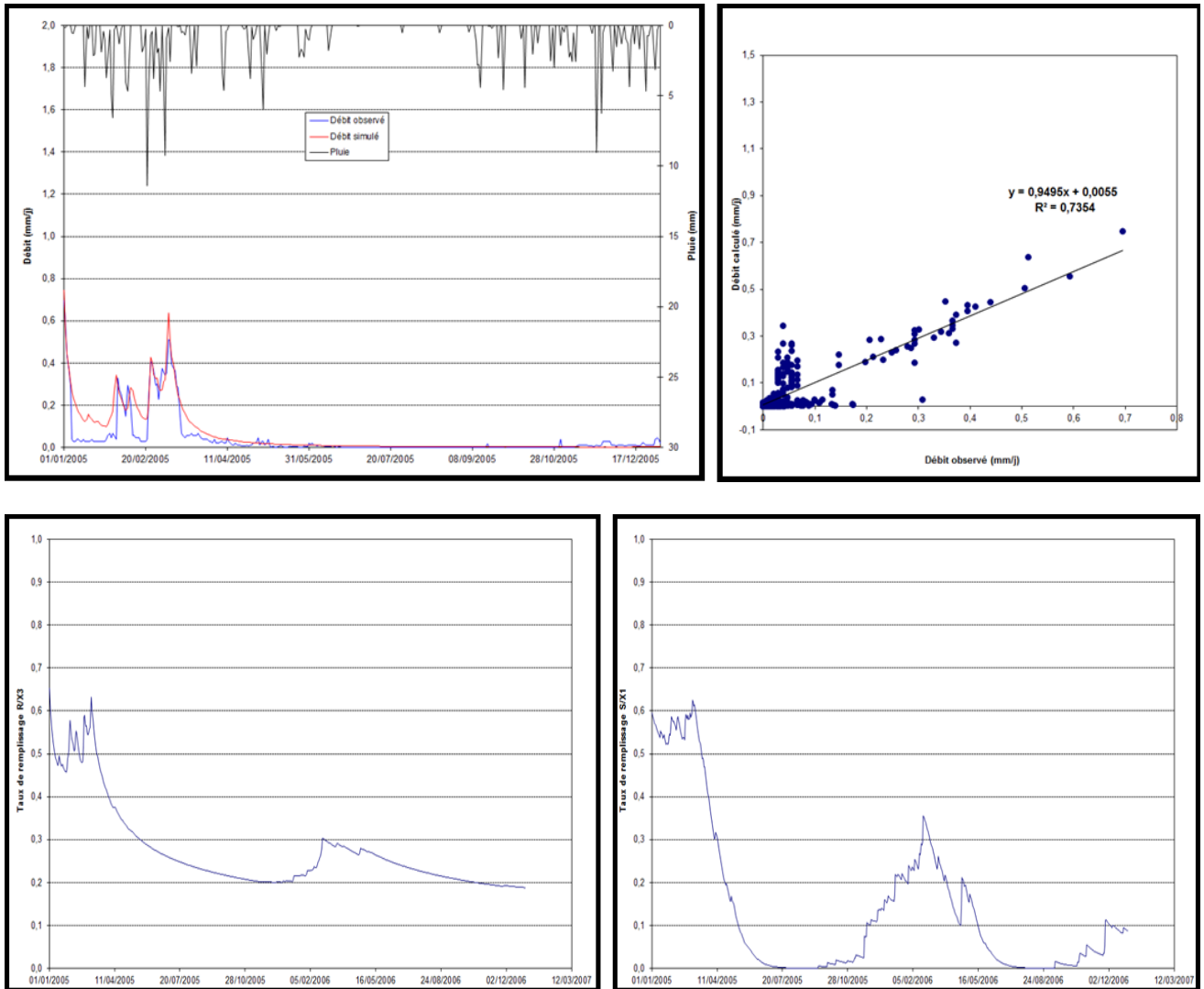


Figure 61: Calage du modèle GR4J (st. de Tlemcen, Hennaya et Zenata).

3-3 Validation du modèle GR4J

Pour la validation, nous avons utilisé des séries de données des précipitations et d'évapotranspirations calculées toujours par la méthode d'Oudin, et qui correspondent à la période du 01 Janvier 2007 au 31 Décembre 2008, et qui n'ont pas été utilisées lors du calage.

Les résultats de la validation exprimés par les coefficients de corrélations (Tableau 34) et les droites de la figure 62, permettent de constater que le modèle GR4J, présentent de bonnes performances pour les données du bassin versant d'Oued Boumessaoud, toutefois le meilleur résultat est obtenu par les précipitations de la station de Tlemcen située à l'amont du bassin.

Tableau 34 : Les variations de coefficients de corrélation de la validation du modèle GR4J

Station	coefficients de détermination (R ²)	coefficients de corrélation (R)
Tlemcen	0,71	0,84
Tlemcen et Hennaya	0,52	0,72
Tlemcen + Hennaya et Zenata	0,67	0,81

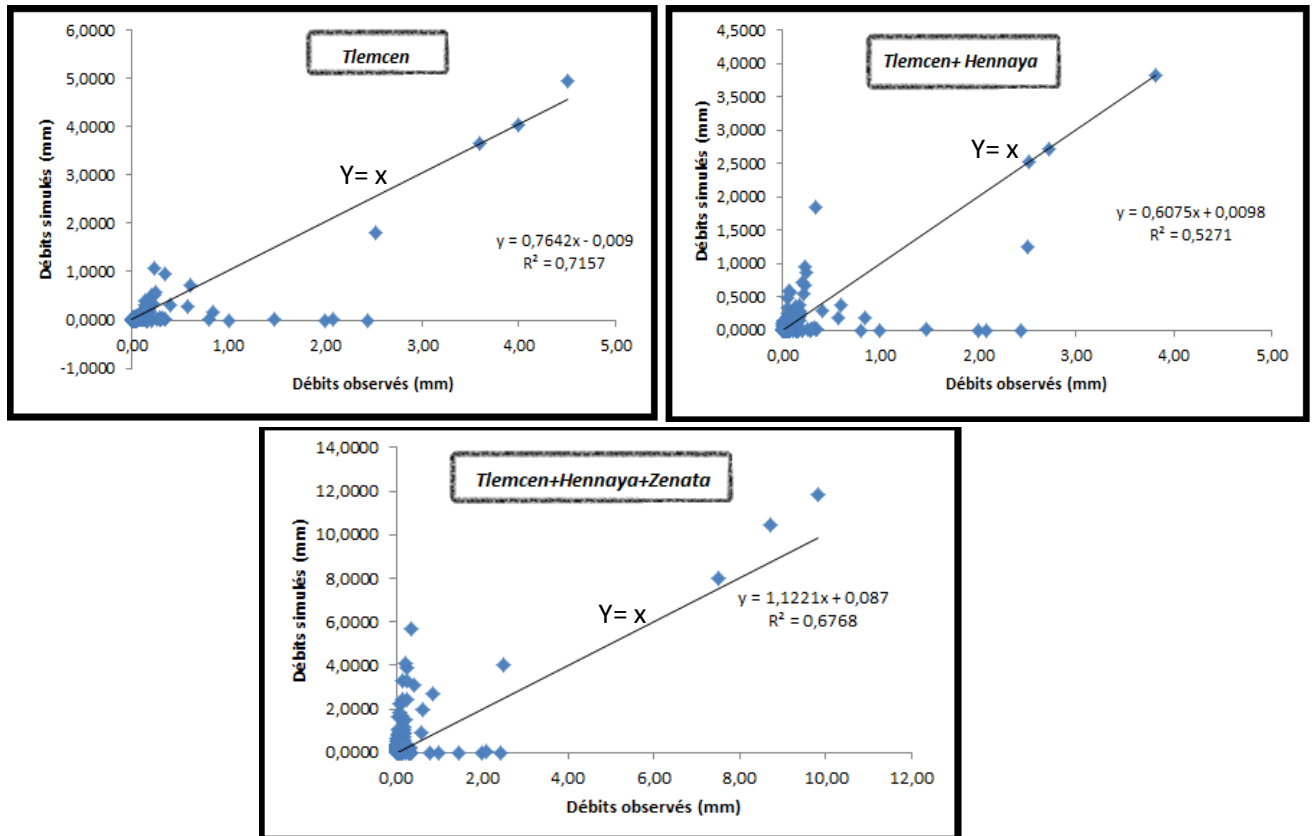


Figure 62: Validation du modèle GR4J.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Les modèles pluie-débit sont des outils qui permettent de simuler les débits en un point donné d'un cours d'eau à partir de la connaissance des pluies tombées sur le bassin versant correspondant. Cette modélisation est faite à l'échelle du bassin versant, entité caractéristique de concentration des écoulements, et permet donc de simuler la transformation qu'effectue le bassin sur les pluies pour générer les débits.

Les applications des modèles pluie-débit sont multiples : simulations de crues à court terme, prévision d'étiages, prédétermination des crues et dimensionnement d'ouvrages, mise en évidence du non stationnarité du comportement hydrologique sous l'effet du changement climatique ou de l'évolution de l'occupation du sol... De plus les modèles pluie-débit permettent d'allonger les délais de prévision par rapport aux modèles débit-débit.

Dans le but de simuler un modèle pluie-débit pour une meilleure compréhension du comportement hydrologique du bassin versant de l'Oued Boumessaoud ; nous avons entamé l'application du modèle génie rural au pas du temps annuel (GR1A), mensuel (GR2M) et enfin journalier (GR4J).

L'étude statistique des conditions climatiques, met en évidence une variation des précipitations qui se traduit par une diminution de la pluviométrie de l'amont vers l'aval. L'ajustement de ces valeurs suit la Loi Normal pour les trois stations utilisées (Tlemcen, Hennaya et Zenata).

L'étude hydrologique a permis d'apprécier l'évolution des lames d'eau écoulées au niveau des deux stations de jaugeages du bassin versant de l'Oued Boumessaoud (Hennaya et Zenata). L'analyse statistique du test graphique des débits moyens annuels montre qu'ils s'ajustent bien à la loi Log Normale.

Les résultats obtenus par la modélisation pluie-lame d'eau écoulée par l'approche corrélatoire, n'étaient pas concluants, mais nous a permis de choisir pour la suite du travail, les stations pluviométriques qui présentent les meilleurs corrélations (Tlemcen, moyenne de Tlemcen et Hennaya et enfin moyenne de Tlemcen, Hennaya et Zenata).

Pour l'application du modèle du génie rural, les paramètres d'entrés utilisés sont les précipitations de Tlemcen d'une part, ensuite Tlemcen et Hennaya d'autre part et enfin celle de Tlemcen ; Hennaya et Zenata. Avec l'ETP calculée par la méthode de Turc et de Thornthwaite pour le modèle GR1A et GR2M ; et l'ETP d'Oudin pour le GR4J. Le paramètre de sortie étant la lame d'eau écoulé au niveau de la station de Zenata.

Le calage du modèle GR1A montre des valeurs très rapprochés du coefficient de corrélation pour les différents cas de précipitations choisies avec l'ETP de Turc ou de Thornthwaite, les valeurs du coefficient sont comprises entre 0,85 et 0,89. Pour la validation les résultats obtenus permettent de constater que la modélisation pluie-débit élaborée par l'utilisation de GR1A ; donne des résultats très acceptables pour les pluies moyennes de Tlemcen et Hennaya avec un coefficient de corrélation entre la lame d'eau calculée et la lame d'eau simulée de 0,95.

Le paramètre X1, supérieur à 1 traduit le transfert d'une partie des eaux superficielles vers les nappes profondes, surtout en amont du bassin où se présentent les dolomies karstifiées.

Pour le GR2M, le modèle pluie-débit s'ajuste très bien avec les données des précipitations de Tlemcen, le coefficient de corrélation R est de 0,83 pour l'ETP de Turc et de 0,81 pour l'ETP de Thornthwaite. Ces résultats sont confirmés par le modèle GR4J où le coefficient de Nash et de corrélation R sont très significatifs aussi bien pour le calage que pour la validation.

Les variations du réservoir de production est très importante (entre 7 à 250 mm pour le GR2M et de 0,13 à 0,83 pour le GR4J) pour les précipitations de Tlemcen, alors que pour les autres combinaisons elles restent assez modérées.

L'évolution du taux de remplissage du réservoir de routage en modèle GR2M, et GR4J reste assez stable et compris respectivement entre 0 à 35 mm pour le GR2M et de 0,70 à 0 pour le GR4J.

A la fin de ce travail, nous pouvons dire que l'application des modèles du Genie Rural aux données du bassin versant d'Oued Boumessaoud donne des résultats très satisfaisants et ceci pour les trois pas de temps utilisés (Annuel, Mensuel et Journalier). Ces résultats vont dans le même sens ceux déjà trouvés par Bouanani, 2004 dans le bassin de la Tafna sur les Oueds Haute Tafna, Mefrouch et Sikkak et par Bourek, 2010 dans le bassin de Mekker.

Aussi, les modèles GR paraissent très indiqués pour être utilisés dans des bassins Méditerranéens à climat semi-aride.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdellali M. (1987). Contribution à l'étude hydrologique du bassin versant de L'Oued Boumessaoud. (W.de Tlemcen). Mem. Ing. D'état. Univ. Oran. 169P.

Ambroise B. (1998). La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant - Processus, Facteurs, Modèles. *H*G*A* (Ed.), Bucarest, 200 p.

Anctil F., Perrin C. et Andreassian V. (2004). Impact of the length of observed records on the performance of ANN and of conceptual parsimonious rainfall-runoff forecasting models. Environmental Modelling & Software, vol 19, n° 4, 357-368.

Arnaud P. (1997). Modèle de prédétermination de crues basé sur la simulation. Extension de sa zone de validité, paramétrisation du modèle horaire par l'information journalière et couplage des deux pas de temps. Thèse de doctorat, Université des sciences et technique du Languedoc. 251 p.

Benadda L., (2000). Contribution à l'étude du périmètre irrigué d'El Fhoul à partir barrage du Sikkak. Mem. Ing Hydraulique, Univ. Tlemcen.

Beven K. (1989). Changing ideas in hydrology - The case of physically-based models. Journal of Hydrology, 105, 157-172.

Beven K. (1992). The future of distributed modelling. Hydrol. Processes. 6, 253-254.

Beven K.J. et Kirkby M.J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences Bulletin, 24(1), 43-69.

Bonell M. (1993). Progress in the understanding of runoff generation dynamics in forests. Journal of Hydrology. 150, 217-275p.

Bouanani A. (2004). Hydrologie, transport solide et Modélisation : étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie) ; Thèse doctorat d'état, université Abou Beker Belkaid Tlemcen 250p.

Boucif A. (2006). Etude de la sismicité du basin Néogène de la Tafna. Mém. Ing d'état, Univ. Tlemcen.

Bourek R. (2010). Modélisation pluie- débit : Application au bassin versant de la Mactaa (NW-Algérie) ; Mém. Magister, université Abou Beker Belkaid Tlemcen 118p.

Box, G.E.P. et Jenkins, G.M. (1976). Time series analysis - Forecasting and control. Holden Day (Ed.), Oakland, California, 575 p.

Cernesson F. (1993). Modèle simple de prédétermination des crues de fréquences courante à rare sur petits bassins versants méditerranéens. Thèse de doctorat, Université des sciences et technique du Languedoc. 240 p.

Clarke R.T. (1973). A review of some mathematical models used in hydrology, with observations on their calibration and use. *Journal of Hydrology*, 19, 1-20.

Dumas A. (2006). Méthode de maximisation : estimation des crues maximales probables (CMP). *La Houille Blanche*, n° 5, 74-79.

Edijatno, Michel, C. (1989). Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. *La Houille Blanche*(2), 113-121.

Edijatno, Nascimento, N.O., Yang, X., Makhlouf, Z. et Michel, C. (1999). GR3J: a daily watershed model with three free parameters. *Hydrological Sciences Journal* 44(2), 263-277.

Estupina Borrell V. (2004). Vers une modélisation hydrologique adaptée à la prévision opérationnelle des crues éclair : Application à de petits bassins versants du sud de la France. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse., P254.

Fortin J.P., Moussa R., Bocquillon C. & Villeneuve J.P. (1995). HYDROTEL, un modèle hydrologique pouvant bénéficier des données fournies par la télédétection et les systèmes d'information géographique. *Revue des sciences de l'eau*. 8(1), 31p.

Fouchier C. (2010). Développement d'une méthodologie pour la connaissance régionale des crues. Thèse De Doctorat De L'université Montpellier II Sciences Et Techniques Du Languedoc. Thèse préparée au sein du Groupe de Recherche en Hydrologie, Cemagref, Aix-en-Provence., P266.

Gregoris Y., Lavabre J. & Descouche C. (2001). Flash flood early warning: the AIGA method. <http://www.cosis.net/abstracts/PLC5/00102/PLC5-A-00102.pdf>.

Kabouya M., (1990). Modélisation pluie-débit aux pas de temps mensuel et annuel en Algérie septentrionale. Thèse de Doctorat, Université Paris Sud Orsay, 347 pp.

Kabouya M. et Michel, C. (1991). Estimation des ressources en eau superficielle aux pas de temps mensuel et annuel, application à un pays semi-aride. *Revue des Sciences de l'Eau* 4(4), 569-587.

Liu Z. & Todini E. (2002). Towards a comprehensive physically-based rainfall runoff model. *Hydrology & Earth System Sciences*. 6(5), 859-881.

Madsen H. (2000). - Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff model using multiple objectives. *Journal of Hydrology* 235 pp.276-288.

Makhlouf Z., (1994). Compléments sur le modèle pluie-débit GR4J et essai d'estimation de ses paramètres. Thèse de Doctorat, Université Paris XI Orsay, 426 pp.

Makhlouf Z. et Michel, C., (1994). A two-parameter monthly water balance model for French watersheds. *Journal of Hydrology* 162, 299-318.

Mathevet T., (2005). Quels modèles pluie-débit globaux pour le pas de temps horaire ? Développement empirique et comparaison de modèles sur un large échantillon de bassins versants. Thèse de Doctorat, ENGREF (Paris), Cemagref (Antony), France, 463 pp.

Michel C., (1983). Que peut-on faire en hydrologie avec un modèle conceptuel à un seul paramètre ? La Houille Blanche(1), 39-44.

Michel C., (1989). Hydrologie appliquée aux petits bassins versants ruraux, Cemagref, Antony.

Morton F.I., (1983). Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. Journal of Hydrology 66 (1/4), 1-76.

Mouelhi S., (2003). Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier. thèse de Doctorat, ENGREF, Cemagref Antony, France, 323 pp.

Mouelhi S., Michel, C., Perrin, C. et Andreassian, V., (2006a). Linking stream flow to rainfall at the annual time step: the Manabe bucket model revisited. Journal of Hydrology 328, 283-296, doi:10.1016/j.jhydrol.2005.12.022.

Mouelhi S., Michel, C., Perrin, C. et Andréassian, V., (2006b). Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. Journal of Hydrology 318(1-4), 200-214, doi:10.1016/j.jhydrol.2005.06.014.

Nascimento N.O., (1995). Appréciation à l'aide d'un modèle empirique des effets d'action anthropiques sur la relation pluie-débit à l'échelle du bassin versant. Thèse de Doctorat, CERGRENE/ENPC, Paris, 550 pp.

Nash, J.E. et Sutcliffe, J.V., (1970). River flow forecasting through conceptual models. Part I - A discussion of principles. Journal of Hydrology, 27(3), 282-290.

Oudin L., (2004). Recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-débit global. Thèse de Doctorat, ENGREF (Paris) / Cemagref (Antony), 495 pp.

Oudin L., Andréassian, V., Perrin, C. et Anctil, F., (2004). Locating the sources of lowpass behaviour within rainfall-runoff models. Water Resources Research 40(11), W11101, doi:10.1029/2004WR003291.

Oudin L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F. et Loumagne, C., (2005a). Which potential evapotranspiration input for a rainfall-runoff model? Part 2 - Towards a simple and efficient PE model for rainfall-runoff modelling. Journal of Hydrology 303(1-4), 290-306.

Oudin L., Michel, C. et Anctil, F., (2005b). Which potential evapotranspiration input for a rainfall-runoff model? Part 1 - Can rainfall-runoff models effectively handle detailed potential evapotranspiration inputs? *Journal of Hydrology* 303(1-4), 275289.

Perrin C., (2000). Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. Thèse de Doctorat, Cemagref. Antony, Institut National Polytechnique de Grenoble: 530 p.

Refsgaard, J.C. et Abbott, M.B. (1996). The role of distributed hydrological modelling in water resources management - Chapter 1. In: *Distributed Hydrological modelling*, M. B. Abbott et J. C. Refsgaard (Ed.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1-16.

Singh, P. (1995). *Hydrologic systems, vol. 1 : Rainfall - Runoff modeling.*

Thomas, G., (1985), Géodynamique d'un bassin intra-montagneux, le bassin du bas Cheliff occidental (Algérie) durant le Mio-Plio-Quaternaire, Thèse d'Etat, Univ. Pau, 594 pp.

Turc L., (1955). Le bilan d'eau des sols. Relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Ann. Agr.* 6, 5-131.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Bassin versant de L'Oued Boumessaoud.....	12
Figure 2 : Carte géologique de la région de Tlemcen au 1/500.000 (A.CLAIR. 1973, in Boucif. 2006).....	13
Figure 3 : Carte géologique de la région de l'Oued Boumessaoud.....	15
Figure 4 : Carte structurale de l'Oranie nord –occidentale (Thomas, 1985).....	16
Figure 5 : Le rectangle équivalent.....	17
Figure 6 : Le rectangle équivalent.....	19
Figure 7 : Réseau hydrographique d'Oued Boumessaoud.....	20
Figure 8 : Droite représentative du nombre de Thalwegs en fonction de l'ordre.....	22
Figure 9 : Le rapport des longueurs.....	23
Figure 10 : La Courbe hypsométrique.....	24
Figure 11 : Histogramme des fréquences altimétriques.....	25
Figure 12 : Profil en long de l'Oued Boumessaoud.....	27
Figure 13 : Variations interannuelles des précipitations des stations de Tlemcen, Hennaya et Zenata.....	30
Figure 14 : Ajustement graphique des Précipitations moyennes annuelles à la loi normale.....	31
Figure 15 : Variations moyennes mensuelles des précipitations.....	33
Figure 16 : Variations saisonnières des précipitations moyennes.....	34
Figure 17 : Courbe de répartitions des températures moyennes mensuelles station de Zenata (1980-2010).....	35
Figure 18 : Courbe pluviothermique station de Zenata (1980-2010).....	35
Figure 19 : Calcul de l'ETP (Turc et Thornthwaite).....	37
Figure 20 : Variation interannuelle des modules annuels de l'Oued Boumessaoud à la station de Hennaya (1973/74 - 2005/06).....	38
Figure 21 : Variation interannuelle des modules annuels de l'Oued Boumessaoud à la station de Zenata (1985/86 -2008/09).....	38
Figure 22 : Ajustement graphique des Débits moyens annuels.....	39
Figure 23 : Variations mensuelles des lames d'eau écoulées (Station Hennaya).....	41
Figure 24 : Variations mensuelles des lames d'eau écoulées (Station Zenata).....	41
Figure 25 : Coefficient mensuel de la station de Zenata.....	42
Figure 26 : Variations saisonnières des lames d'eau écoulées.....	43
Figure 27 : Variations saisonnières des pourcentages des lames d'eau écoulées.....	43
Figure 28 : Composants d'un modèle. (Singh, 1995).....	46
Figure 29 : Classification des modèles proposées par Singh (1995).....	47
Figure 30 : Schéma de la structure du modèle GR2M.....	55
Figure 34 : Schéma de la structure du modèle GR4J (d'après Perrin, 2000).....	57
Figure 32 : Variation interannuelle des hauteurs des pluies moyennes et des lames d'eau écoulés.....	63
Figure 33 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée annuelle (La moyenne des trois stations).....	64
Figure 34 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée annuelle (La moyenne des précipitations de Tlemcen et Hennaya).....	64
Figure 35 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée annuelle (précipitations station de Zenata).....	64
Figure 36 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée annuelle (précipitations station de Tlemcen).....	65
Figure 37 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée annuelle (précipitations station d'Hennaya).....	65

Figure 38 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée annuelle (La moyenne des précipitations d'Hennaya et Zenata).....	65
Figure 39 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée annuelle (La moyenne des précipitations de Tlemcen et Zenata).....	66
Figure 40 : Corrélations entre les lames d'eau écoulées et les pluies mensuelles.....	67
Figure 41 : Résultat obtenu du calage du modèle GR1A avec les précipitations de la station de Tlemcen et l'ETP de Thornthwaite.....	69
Figure 42 : Résultat obtenu du calage du modèle GR1A avec les précipitations de la station de Tlemcen et l'ETP de Turc.....	70
Figure 43 : Résultat obtenu du calage du modèle GR1A avec la moyenne des précipitations des stations de Tlemcen et Hennaya et l'ETP de Thornthwaite.....	70
Figure 44 : Résultat obtenu du calage du modèle GR1A avec la moyenne des précipitations des stations de Tlemcen et Hennaya et l'ETP de Turc.....	70
Figure 45 : Résultat obtenu du calage du modèle GR1A avec la moyenne des précipitations des trois stations et l'ETP de Thornthwaite).....	71
Figure 46 : Résultat obtenu du calage du modèle GR1A avec la moyenne des précipitations des trois stations et l'ETP de Turc).....	71
Figure 47 : Validation du modèle GR1A pour les précipitations à la station de Tlemcen (2004-2009).....	72
Figure 48 : Validation du modèle GR1A pour les précipitations moyennes des stations de Tlemcen et Hennaya (2004-2009).....	72
Figure 49: Validation du modèle GR1A pour les précipitations moyennes des stations de Tlemcen, Hennaya et Zenata (2004-2009).....	73
Figure 50 : Calage du modèle GR2M avec les précipitations de la station de Tlemcen et l'ETP de Thornthwaite.....	74
Figure 51 : Calage du modèle GR2M avec les précipitations de la station de Tlemcen et l'ETP de Turc.....	75
Figure 52 : Calage du modèle GR2M avec les précipitations moyennes de Tlemcen et Hennaya, et l'ETP de Thornthwaite.....	75
Figure 53 : Calage du modèle GR2M avec les précipitations moyennes de Tlemcen et Hennaya et l'ETP de Turc.....	76
Figure 54 : Calage du modèle GR2M avec les précipitations moyennes de Tlemcen, Hennaya et Zenata et l'ETP de Thornthwaite.....	76
Figure 55 : Calage du modèle GR2M avec les précipitations moyennes de Tlemcen, Hennaya et Zenata et l'ETP de Turc.....	77
Figure 56 : Validation du modèle GR2M (St. de Tlemcen).....	78
Figure 57 : Validation du modèle GR2M (St. de Tlemcen et Hennaya).....	78
Figure 58 : Validation du modèle GR2M (St. de Tlemcen, Hennaya et Zenata).....	78
Figure 59 : Calage du modèle GR4J (St. de Tlemcen).....	81
Figure 60 : Calage du modèle GR4J (St. de Tlemcen et Hennaya).....	82
Figure 61 : Calage du modèle GR4J (St. de Tlemcen, Hennaya et Zenata).....	83
Figure 62 : Validation du modèle GR4J.....	84

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Fréquences de direction des failles (Abdellali, 87).....	17
Tableau 2 : Calcul du Rapport de confluence.....	21
Tableau 3 : Calcul du Rapport des Longueurs.....	22
Tableau 4 : Répartition altimétrique du BV.....	24
Tableau 5 : Classification d'ORSTOM.....	26
Tableau 6 : Présentation des stations pluviométriques.....	29
Tableau 7 : Calcul statistique des trois stations.....	30
Tableau 8 : Calcul χ^2 pour la station de Tlemcen.....	31
Tableau 9 : Calcul χ^2 pour la station de Hennaya.....	32
Tableau 10 : Calcul χ^2 pour la station de Zenata.....	32
Tableau 11 : Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée.....	33
Tableau 12 : Précipitations moyennes mensuelles.....	33
Tableau 13 : Distribution saisonnières des précipitations moyennes.....	34
Tableau 14 : Température moyennes mensuelles.....	34
Tableau 15 : Calcul de l'ETP d'après la Méthode de Turc et THORNTHWAITE.....	36
Tableau 16 : Caractéristiques des stations hydrométriques.....	37
Tableau 17 : Valeurs caractéristiques des modules au niveau du bassin Oued Boumessaoud.....	37
Tableau 18 : calcul χ^2 pour la station d'Hennaya (Loi Log Normale).....	39
Tableau 19 : calcul χ^2 pour la station de Zenata (Loi Log Normale).....	40
Tableau 20 : Calcul des débits pour des périodes de récurrence donnée.....	40
Tableau 21 : Débits moyens mensuels.....	40
Tableau 22 : valeurs des coefficients mensuels des débits.....	42
Tableau 23 : Distribution saisonnières des débits moyens.....	43
Tableau 24 : Tableau résumé de quelques modèles hydrologiques.....	52
Tableau 25 : Valeur des paramètres du modèle GR2M obtenues sur un large échantillon de bassins versants.....	57
Tableau 26: Valeur des paramètres du modèle GR4J obtenues sur un large échantillon de bassins versants.....	61
Tableau 27: Résultats des différentes corrélations entre les deux paramètres pluie et la lame d'eau écoulée annuelle.....	63
Tableau 28: Résultats des différentes corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée mensuelles.....	66
Tableau 29 : Résultat du calage du modèle GR1A.....	69
Tableau 30 : Variations de coefficients de corrélation de la validation du modèle GR1A..	72
Tableau 31 : Résultat du calage du modèle GR2M.....	73
Tableau 32 : Variations de coefficients de corrélation de la validation du modèle GR2M.	77
Tableau 33 : Résultat du calage du modèle GR4J.....	80
Tableau 34 : Variations de coefficients de corrélation de la validation du modèle GR4J...	84

ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE 1 : Données du modèle GR1A (P de Tlemcen)

Année	Pluie (mm)	Débit (mm)	THORNTHWAITE		TURC	
			ETP (mm)	Débit simulé (mm)	ETP (mm)	Débit simulé (mm)
1985-1986	459,5	14,29	917,69	20,24	979,34	21,28
1986-1987	592,5	15,56	916,37	34,76	983,91	36,11
1987-1988	459,2	5,96	973,26	19,97	999,96	22,54
1988-1989	453,4	74,50	972,27	16,60	989,80	19,09
1989-1990	478	33,96	1001,82	17,62	1007,17	20,74
1990-1991	650	52,89	953,10	41,04	979,21	46,14
1991-1992	638,5	33,88	895,66	51,10	972,35	52,00
1992-1993	442	10,06	893,77	22,67	974,48	22,90
1993-1994	423,7	7,34	954,83	14,36	987,60	16,04
1994-1995	505,5	49,65	818,59	28,28	996,56	23,30
1995-1996	660,2	58,32	943,05	44,49	995,54	47,62
1996-1997	394,1	70,15	913,00	17,52	991,97	17,82
1997-1998	528,2	14,03	972,90	22,02	1000,25	24,84
1998-1999	474,5	20,52	949,99	20,90	988,24	23,05
1999-2000	338,8	1,55	965,42	8,89	992,59	10,06
2000-2001	466,1	8,24	982,12	14,89	1003,28	17,03
2001-2002	577,9	31,12	956,53	30,48	994,81	33,59
2002-2003	548,5	13,99	998,82	27,90	1001,68	32,86
2003-2004	637,3	14,25	955,24	41,57	991,22	45,90

ANNEXE 2 : Données du modèle GR1A (P moyenne de Tlemcen et Hennaya).

Année	Pluie (mm)	Débit (mm)	THORNTHWAITE		TURC	
			ETP (mm)	Débit simulé (mm)	ETP (mm)	Débit simulé (mm)
1985-1986	446,35	14,29	917,69	27,56	979,34	28,11
1986-1987	409,45	15,56	916,37	22,77	983,91	22,98
1987-1988	421,90	5,96	973,26	20,78	999,96	22,75
1988-1989	392,30	74,50	972,27	17,92	989,80	19,97
1989-1990	458,45	33,96	1001,82	23,38	1007,17	26,63
1990-1991	574,75	52,89	953,10	46,71	979,21	50,89
1991-1992	480,25	33,88	895,66	39,20	972,35	38,78
1992-1993	369,50	10,06	893,77	19,87	974,48	19,49
1993-1994	420,15	7,34	954,83	20,20	987,60	21,85
1994-1995	501,95	49,65	818,59	42,94	996,56	34,66
1995-1996	527,40	58,32	943,05	40,84	995,54	42,45
1996-1997	429,40	70,15	913,00	28,18	991,97	27,83
1997-1998	440,20	14,03	972,90	23,53	1000,25	25,71
1998-1999	364,80	20,52	949,99	16,30	988,24	17,45
1999-2000	338,95	1,55	965,42	11,93	992,59	13,06
2000-2001	486,75	8,24	982,12	26,16	1003,28	28,92
2001-2002	484,60	31,12	956,53	32,35	994,81	34,56
2002-2003	510,10	13,99	998,82	33,54	1001,68	38,24
2003-2004	483,95	14,25	955,24	33,18	991,22	35,58

ANNEXE 3 : Données du modèle GR1A (P moyenne de Tlemcen, Hennaya et Zenata).

Année	Pluie (mm)	Débit (mm)	THORNTHWAITE		TURC	
			ETP (mm)	Débit simulé (mm)	ETP (mm)	Débit simulé (mm)
1985-1986	415,00	14,29	917,69	28,52	979,34	25,05
1986-1987	393,33	15,56	916,37	25,57	983,91	22,30
1987-1988	356,77	5,96	973,26	17,82	999,96	16,82
1988-1989	366,50	74,50	972,27	17,96	989,80	17,24
1989-1990	415,50	33,96	1001,82	23,06	1007,17	22,67
1990-1991	511,40	52,89	953,10	43,35	979,21	41,04
1991-1992	442,40	33,88	895,66	38,89	972,35	33,41
1992-1993	333,07	10,06	893,77	19,28	974,48	16,32
1993-1994	387,53	7,34	954,83	20,40	987,60	19,02
1994-1995	433,33	49,65	818,59	37,52	996,56	26,21
1995-1996	465,17	58,32	943,05	36,29	995,54	32,72
1996-1997	377,40	70,15	913,00	25,13	991,97	21,46
1997-1998	415,53	14,03	972,90	24,70	1000,25	23,31
1998-1999	345,57	20,52	949,99	17,94	988,24	16,55
1999-2000	298,27	1,55	965,42	11,15	992,59	10,50
2000-2001	428,93	8,24	982,12	23,45	1003,28	22,38
2001-2002	447,73	31,12	956,53	32,28	994,81	29,87
2002-2003	453,60	13,99	998,82	31,47	1001,68	31,09
2003-2004	475,83	14,25	955,24	38,22	991,22	35,54

ANNEXE 4 : Données du modèle GR2M (P de Tlemcen)

Année	Pluie (mm)	Débit (mm)	THORNTHWAITE		TURC	
			ETP (mm)	Débit simulé (mm)	ETP (mm)	Débit simulé (mm)
janv-90	157,00	21,52	21,71	24,22	39,76	28,48
févr-90	5,00	0,23	34,34	4,08	50,90	4,78
mars-90	24,00	0,07	48,57	1,93	63,77	2,06
avr-90	71,00	3,14	52,26	3,32	79,95	2,90
mai-90	108,50	4,72	92,13	6,69	109,52	5,61
juin-90	12,50	0,17	128,66	1,14	123,38	1,22
juil-90	6,00	0,00	162,57	0,20	136,54	0,28
août-90	3,00	0,00	160,86	0,04	128,58	0,07
sept-90	12,50	0,01	146,11	0,01	104,18	0,02
oct-90	24,00	0,66	77,24	0,00	74,58	0,01
nov-90	51,50	0,83	41,38	0,01	49,26	0,02
déc-90	96,00	1,46	23,73	0,41	38,02	0,54
janv-91	54,00	0,07	19,04	1,07	38,04	1,14
févr-91	133,00	0,04	21,00	9,97	43,63	9,16
mars-91	230,00	48,69	39,57	45,48	60,10	45,75
avr-91	9,00	0,96	47,55	5,83	77,84	5,92
mai-91	20,00	0,17	74,10	1,82	103,65	1,73
juin-91	16,00	0,00	122,29	0,50	122,00	0,50
juil-91	1,50	0,00	168,53	0,09	137,53	0,12
août-91	2,50	0,00	172,55	0,02	130,37	0,03
sept-91	30,00	1,02	129,19	0,00	101,62	0,01
oct-91	75,00	0,89	65,12	0,03	71,49	0,06
nov-91	24,00	0,82	37,46	0,02	47,89	0,05

déc-91	41,50	1,14	25,37	0,08	38,84	0,10
janv-92	26,50	1,34	18,41	0,11	37,60	0,12
févr-92	22,00	1,09	25,77	0,13	46,63	0,11
mars-92	139,50	6,32	35,69	4,98	58,25	3,79
avr-92	80,00	8,12	58,78	6,11	82,59	4,94
mai-92	131,00	2,60	88,78	11,64	108,53	10,06
juin-92	62,00	0,18	96,41	4,62	115,45	4,36
juil-92	5,50	0,00	149,57	0,70	134,21	0,85
août-92	1,50	0,00	165,12	0,12	129,25	0,19
sept-92	1,00	0,00	114,58	0,02	99,07	0,05
oct-92	26,00	0,00	65,99	0,01	71,73	0,01
nov-92	45,50	0,15	38,58	0,01	48,29	0,02
déc-92	33,50	0,56	27,59	0,02	39,88	0,03
janv-93	0,00	0,46	18,45	0,01	37,63	0,01
févr-93	82,50	1,37	21,88	0,37	44,23	0,30
mars-93	32,50	0,92	46,72	0,42	63,08	0,32
avr-93	87,50	0,57	57,75	1,97	82,20	1,43
mai-93	126,50	5,85	79,51	6,88	105,55	5,43
juin-93	1,30	0,19	116,31	0,93	120,63	0,98
juil-93	1,50	0,00	151,59	0,16	134,59	0,22
août-93	4,20	0,00	154,82	0,03	127,60	0,05
sept-93	11,50	0,00	92,95	0,01	94,54	0,01
oct-93	6,40	0,00	66,41	0,00	71,84	0,00
nov-93	80,00	0,26	40,47	0,03	48,95	0,04
déc-93	11,00	0,43	25,89	0,01	39,09	0,02
janv-94	135,00	3,47	22,20	2,15	40,06	2,11
févr-94	84,00	2,75	26,60	5,42	47,10	4,98
mars-94	30,00	3,52	43,73	2,67	61,89	2,40
avr-94	19,00	0,98	52,03	1,07	79,86	0,91
mai-94	38,00	0,83	95,57	0,77	110,50	0,58
juin-94	0,50	0,11	122,13	0,13	121,96	0,13
juil-94	6,00	0,00	190,77	0,03	140,92	0,04
août-94	2,30	0,00	176,07	0,01	130,89	0,01
sept-94	17,50	4,26	104,18	0,00	97,03	0,00
oct-94	35,00	0,45	79,97	0,00	75,20	0,00
nov-94	43,50	2,02	47,29	0,01	51,10	0,01
déc-94	14,00	1,46	27,94	0,00	40,03	0,01
janv-95	33,00	1,62	25,75	0,02	42,03	0,02
févr-95	72,00	2,19	34,37	0,34	50,91	0,32
mars-95	252,00	28,78	44,67	24,31	62,27	24,80
avr-95	11,20	1,57	56,63	3,89	81,76	4,20
mai-95	5,60	1,13	101,21	0,73	112,03	0,91
juin-95	19,20	1,26	116,50	0,23	120,68	0,29
juil-95	0,00	0,90	155,93	0,04	135,38	0,07
août-95	2,50	0,00	24,14	0,01	128,14	0,02
sept-95	15,60	0,00	99,53	0,00	96,03	0,01
oct-95	43,40	1,76	82,46	0,01	75,75	0,01
nov-95	20,70	1,33	54,88	0,00	53,15	0,00
déc-95	82,50	4,08	40,47	0,14	44,67	0,16
janv-96	123,40	5,18	37,89	2,86	47,27	3,29

févr-96	106,10	6,04	24,54	8,28	45,91	8,78
mars-96	119,90	10,41	40,12	15,78	60,34	15,67
avr-96	52,10	7,85	58,95	6,94	82,66	6,77
mai-96	54,90	6,82	82,81	3,89	106,65	3,60
juin-96	21,00	8,10	126,62	0,96	122,94	1,00
juil-96	10,80	2,75	152,24	0,19	134,71	0,25
août-96	9,80	0,00	142,54	0,04	125,45	0,07
sept-96	36,20	2,16	97,46	0,01	95,58	0,03
oct-96	26,90	2,04	64,91	0,01	71,43	0,02
nov-96	0,20	1,34	45,30	0,00	50,51	0,00
déc-96	39,20	2,82	35,88	0,01	43,16	0,01
janv-97	119,60	5,58	31,80	0,87	44,88	0,97
févr-97	0,10	2,98	32,15	0,22	49,91	0,26
mars-97	15,40	2,82	44,41	0,13	62,16	0,14
avr-97	104,00	5,34	67,17	1,75	85,58	1,38
mai-97	16,30	0,19	93,26	0,49	109,85	0,46
juin-97	2,80	0,04	121,47	0,09	121,82	0,11
juil-97	1,80	0,00	136,03	0,02	131,53	0,03
août-97	31,60	0,00	143,17	0,01	125,56	0,01
sept-97	54,40	2,85	113,16	0,01	98,80	0,02
oct-97	29,40	0,31	87,53	0,01	76,81	0,02
nov-97	73,30	1,45	49,56	0,09	51,75	0,16
déc-97	100,50	2,44	31,95	1,24	41,71	1,73
janv-98	39,20	0,93	29,13	1,23	43,69	1,56
févr-98	52,20	1,64	33,46	1,86	50,51	1,97
mars-98	62,20	1,39	45,55	2,80	62,62	2,63
avr-98	34,50	0,64	56,01	1,59	81,51	1,43
mai-98	79,40	2,28	77,94	2,76	105,02	2,12
juin-98	0,80	0,09	126,70	0,43	122,96	0,44
juil-98	0,00	0,00	161,02	0,07	136,27	0,10
août-98	2,30	0,00	160,89	0,01	128,59	0,02
sept-98	14,10	0,00	118,50	0,00	99,79	0,01
oct-98	6,90	0,00	67,24	0,00	72,07	0,00
nov-98	46,40	0,36	41,30	0,00	49,23	0,00
déc-98	16,90	0,22	23,41	0,00	37,85	0,00
janv-99	164,00	5,75	26,89	2,59	42,61	2,74
févr-99	94,40	5,31	20,69	7,16	43,42	6,92
mars-99	120,80	12,70	41,12	15,48	60,78	14,58
avr-99	0,00	0,13	56,86	2,27	81,85	2,32
mai-99	0,40	0,05	100,99	0,39	111,97	0,48
juin-99	7,40	0,00	129,76	0,09	123,61	0,13
juil-99	0,50	0,00	159,99	0,02	136,09	0,03
août-99	2,70	0,00	163,25	0,00	128,96	0,01
sept-99	40,40	0,00	112,23	0,00	98,63	0,00
oct-99	34,10	0,00	88,06	0,00	76,92	0,01
nov-99	93,70	0,44	34,90	0,15	46,91	0,23
déc-99	105,20	0,42	25,21	2,16	38,76	2,55
janv-00	0,00	0,12	17,78	0,60	37,16	0,70
févr-00	0,00	0,08	31,34	0,18	49,53	0,20
mars-00	2,40	0,06	43,55	0,06	61,82	0,06

avr-00	26,60	0,01	57,61	0,09	82,14	0,06
mai-00	36,40	0,42	97,56	0,13	111,05	0,07
juin-00	0,00	0,00	136,93	0,02	125,06	0,02
juil-00	0,00	0,00	163,28	0,00	136,66	0,00
août-00	0,00	0,00	156,95	0,00	127,95	0,00
sept-00	21,60	0,00	112,08	0,00	98,60	0,00
oct-00	108,90	3,25	66,47	0,09	71,86	0,12
nov-00	68,00	2,98	40,48	0,38	48,96	0,50
déc-00	47,90	0,72	34,41	0,63	42,63	0,77

ANNEXE 5 : Données du modèle GR2M (P moyenne de Tlemcen et Hennaya).

Année	Pluie (mm)	Débit (mm)	THORNTHWAITE		TURC	
			ETP (mm)	Débit simulé (mm)	ETP (mm)	Débit simulé (mm)
janv-90	96,95	21,52	21,71	16,53	39,76	19,58
févr-90	35,35	0,23	34,34	5,65	50,90	6,29
mars-90	91,45	0,07	48,57	10,37	63,77	10,04
avr-90	37,95	3,14	52,26	3,60	79,95	3,66
mai-90	65,75	4,72	92,13	3,42	109,52	2,90
juin-90	6,25	0,17	128,66	0,58	123,38	0,66
juil-90	3,00	0,00	162,57	0,11	136,54	0,17
août-90	1,75	0,00	160,86	0,02	128,58	0,05
sept-90	21,80	0,01	146,11	0,01	104,18	0,02
oct-90	33,10	0,66	77,24	0,01	74,58	0,02
nov-90	32,70	0,83	41,38	0,02	49,26	0,03
déc-90	64,35	1,46	23,73	0,53	38,02	0,62
janv-91	34,80	0,07	19,04	0,97	38,04	0,88
févr-91	77,35	0,04	21,00	5,96	43,63	4,39
mars-91	165,85	48,69	39,57	34,20	60,10	32,45
avr-91	46,15	0,96	47,55	8,44	77,84	8,49
mai-91	72,00	0,17	74,10	6,54	103,65	5,52
juin-91	23,45	0,00	122,29	1,42	122,00	1,37
juil-91	1,25	0,00	168,53	0,25	137,53	0,33
août-91	1,95	0,00	172,55	0,05	130,37	0,09
sept-91	15,30	1,02	129,19	0,01	101,62	0,03
oct-91	47,05	0,89	65,12	0,03	71,49	0,05
nov-91	28,75	0,82	37,46	0,03	47,89	0,06
déc-91	31,35	1,14	25,37	0,09	38,84	0,10
janv-92	13,25	1,34	18,41	0,06	37,60	0,06
févr-92	46,00	1,09	25,77	0,53	46,63	0,31
mars-92	78,05	6,32	35,69	4,10	58,25	2,62
avr-92	75,75	7,12	58,78	6,67	82,59	4,96
mai-92	109,75	9,60	88,78	11,37	108,53	9,85
juin-92	31,00	0,18	96,41	2,24	115,45	2,35
juil-92	2,75	0,00	149,57	0,38	134,21	0,53
août-92	1,25	0,00	165,12	0,08	129,25	0,14
sept-92	5,00	0,00	114,58	0,02	99,07	0,04
oct-92	14,00	0,00	65,99	0,00	71,73	0,01
nov-92	58,40	0,15	38,58	0,07	48,29	0,11
déc-92	18,50	0,56	27,59	0,07	39,88	0,09
janv-93	50,15	0,46	18,45	0,57	37,63	0,47

févr-93	69,95	1,37	21,88	4,01	44,23	2,83
mars-93	19,35	0,92	46,72	1,54	63,08	1,18
avr-93	53,40	0,57	57,75	1,96	82,20	1,36
mai-93	74,35	5,85	79,51	3,26	105,55	2,34
juin-93	0,75	0,19	116,31	0,53	120,63	0,53
juil-93	3,55	0,00	151,59	0,10	134,59	0,14
août-93	2,10	0,00	154,82	0,02	127,60	0,04
sept-93	24,20	0,00	92,95	0,01	94,54	0,02
oct-93	18,60	0,00	66,41	0,00	71,84	0,01
nov-93	56,60	0,26	40,47	0,09	48,95	0,12
déc-93	12,25	0,43	25,89	0,05	39,09	0,07
janv-94	81,85	1,47	22,20	2,03	40,06	1,78
févr-94	76,10	5,75	26,60	7,01	47,10	5,83
mars-94	103,45	12,52	43,73	15,42	61,89	13,92
avr-94	17,05	0,98	52,03	2,83	79,86	2,98
mai-94	19,55	0,83	95,57	0,77	110,50	0,83
juin-94	4,75	0,11	122,13	0,15	121,96	0,21
juil-94	3,00	0,00	190,77	0,03	140,92	0,06
août-94	2,75	0,00	176,07	0,01	130,89	0,02
sept-94	14,90	0,26	104,18	0,00	97,03	0,01
oct-94	33,65	0,45	79,97	0,00	75,20	0,01
nov-94	31,65	2,02	47,29	0,01	51,10	0,02
déc-94	38,90	1,46	27,94	0,08	40,03	0,11
janv-95	54,10	1,62	25,75	0,77	42,03	0,75
févr-95	83,40	2,19	34,37	5,42	50,91	4,80
mars-95	176,20	28,78	44,67	34,10	62,27	35,32
avr-95	26,35	1,57	56,63	5,30	81,76	6,11
mai-95	25,95	1,13	101,21	1,41	112,03	1,62
juin-95	12,25	1,26	116,50	0,28	120,68	0,41
juil-95	1,55	0,90	155,93	0,06	135,38	0,11
août-95	3,05	0,00	24,14	0,01	128,14	0,03
sept-95	25,85	0,00	99,53	0,01	96,03	0,01
oct-95	41,60	1,76	82,46	0,02	75,75	0,03
nov-95	10,75	1,33	54,88	0,01	53,15	0,01
déc-95	57,40	4,08	40,47	0,13	44,67	0,20
janv-96	112,85	5,18	37,89	5,69	47,27	7,06
févr-96	53,15	6,04	24,54	5,14	45,91	5,67
mars-96	62,15	10,41	40,12	6,15	60,34	5,65
avr-96	100,05	7,85	58,95	11,70	82,66	10,52
mai-96	34,60	10,82	82,81	3,11	106,65	3,03
juin-96	12,35	8,10	126,62	0,59	122,94	0,71
juil-96	5,70	2,75	152,24	0,12	134,71	0,18
août-96	10,95	0,00	142,54	0,02	125,45	0,05
sept-96	57,45	2,16	97,46	0,06	95,58	0,11
oct-96	32,70	2,04	64,91	0,05	71,43	0,09
nov-96	28,90	1,34	45,30	0,05	50,51	0,08
déc-96	53,25	2,82	35,88	0,31	43,16	0,40
janv-97	74,85	5,58	31,80	2,61	44,88	2,82
févr-97	22,30	2,98	32,15	1,23	49,91	1,32
mars-97	30,35	2,82	44,41	0,89	62,16	0,81

avr-97	63,60	4,34	67,17	1,98	85,58	1,53
mai-97	47,05	0,19	93,26	1,31	109,85	1,08
juin-97	1,60	0,04	121,47	0,24	121,82	0,27
juil-97	1,20	0,00	136,03	0,05	131,53	0,07
août-97	16,15	0,00	143,17	0,01	125,56	0,02
sept-97	34,15	2,85	113,16	0,01	98,80	0,02
oct-97	17,95	0,31	87,53	0,00	76,81	0,01
nov-97	60,40	1,45	49,56	0,10	51,75	0,17
déc-97	55,75	2,44	31,95	0,60	41,71	0,85
janv-98	73,50	0,93	29,13	3,47	43,69	3,82
févr-98	60,90	1,64	33,46	5,15	50,51	5,05
mars-98	77,90	1,39	45,55	8,00	62,62	7,44
avr-98	17,25	0,64	56,01	1,80	81,51	1,92
mai-98	39,70	2,28	77,94	0,98	105,02	0,88
juin-98	1,55	0,09	126,70	0,19	122,96	0,22
juil-98	0,00	0,00	161,02	0,04	136,27	0,06
août-98	1,15	0,00	160,89	0,01	128,59	0,02
sept-98	20,50	0,00	118,50	0,00	99,79	0,01
oct-98	15,90	0,00	67,24	0,00	72,07	0,00
nov-98	60,15	0,36	41,30	0,09	49,23	0,13
déc-98	45,80	0,22	23,41	0,44	37,85	0,49
janv-99	82,00	5,75	26,89	4,58	42,61	4,22
févr-99	47,20	5,31	20,69	4,65	43,42	3,88
mars-99	62,80	8,70	41,12	6,36	60,78	4,93
avr-99	5,70	0,13	56,86	1,11	81,85	1,10
mai-99	19,45	0,05	100,99	0,35	111,97	0,34
juin-99	3,70	0,00	129,76	0,07	123,61	0,09
juil-99	0,25	0,00	159,99	0,01	136,09	0,03
août-99	1,35	0,00	163,25	0,00	128,96	0,01
sept-99	27,40	0,00	112,23	0,00	98,63	0,01
oct-99	55,65	0,00	88,06	0,05	76,92	0,08
nov-99	81,35	0,44	34,90	0,90	46,91	1,39
déc-99	72,35	0,42	25,21	3,93	38,76	4,46
janv-00	32,85	0,12	17,78	2,85	37,16	2,75
févr-00	24,20	0,08	31,34	1,64	49,53	1,37
mars-00	4,65	0,06	43,55	0,38	61,82	0,37
avr-00	15,30	0,01	57,61	0,15	82,14	0,13
mai-00	22,80	0,42	97,56	0,08	111,05	0,06
juin-00	2,00	0,00	136,93	0,02	125,06	0,02
juil-00	0,40	0,00	163,28	0,00	136,66	0,01
août-00	0,00	0,00	156,95	0,00	127,95	0,00
sept-00	23,40	0,00	112,08	0,00	98,60	0,00
oct-00	73,75	3,25	66,47	0,18	71,86	0,26
nov-00	109,40	3,98	40,48	4,26	48,96	5,31
déc-00	39,30	0,72	34,41	2,69	42,63	3,32

ANNEXE 6 : Données du modèle GR2M (P moyenne de Tlemcen, Hennaya et Zenata).

Année	Pluie (mm)	Débit (mm)	THORNTHWAITE		TURC	
			ETP (mm)	Débit simulé (mm)	ETP (mm)	Débit simulé (mm)
janv-90	100,60	21,52	21,71	21,72	39,76	26,67
févr-90	23,63	0,23	34,34	6,05	50,90	7,48
mars-90	72,83	0,07	48,57	8,63	63,77	8,87
avr-90	49,87	3,14	52,26	5,26	79,95	5,46
mai-90	45,93	4,72	92,13	3,12	109,52	3,03
juin-90	5,80	0,17	128,66	0,69	123,38	0,93
juil-90	2,70	0,00	162,57	0,17	136,54	0,32
août-90	1,37	0,00	160,86	0,05	128,58	0,12
sept-90	20,87	0,01	146,11	0,02	104,18	0,05
oct-90	24,73	0,66	77,24	0,01	74,58	0,03
nov-90	36,97	0,83	41,38	0,02	49,26	0,06
déc-90	62,43	1,46	23,73	0,66	38,02	0,86
janv-91	35,90	0,07	19,04	1,38	38,04	1,39
févr-91	71,80	0,04	21,00	6,92	43,63	5,48
mars-91	154,83	48,69	39,57	37,53	60,10	36,50
avr-91	33,80	0,96	47,55	8,56	77,84	9,32
mai-91	50,47	0,17	74,10	4,87	103,65	4,62
juin-91	17,03	0,00	122,29	1,24	122,00	1,44
juil-91	1,13	0,00	168,53	0,29	137,53	0,48
août-91	1,43	0,00	172,55	0,08	130,37	0,17
sept-91	11,23	1,02	129,19	0,02	101,62	0,07
oct-91	40,70	0,89	65,12	0,03	71,49	0,07
nov-91	27,53	0,82	37,46	0,03	47,89	0,08
déc-91	27,93	1,14	25,37	0,07	38,84	0,11
janv-92	11,80	1,34	18,41	0,06	37,60	0,08
févr-92	36,63	1,09	25,77	0,32	46,63	0,22
mars-92	85,17	6,32	35,69	5,00	58,25	3,52
avr-92	64,37	18,49	58,78	6,74	82,59	5,40
mai-92	103,53	2,60	88,78	12,26	108,53	11,08
juin-92	29,50	0,18	96,41	2,88	115,45	3,28
juil-92	3,10	0,00	149,57	0,62	134,21	0,97
août-92	0,90	0,00	165,12	0,16	129,25	0,34
sept-92	3,73	0,00	114,58	0,04	99,07	0,13
oct-92	14,07	0,00	65,99	0,01	71,73	0,05
nov-92	45,83	0,15	38,58	0,04	48,29	0,10
déc-92	17,67	0,56	27,59	0,04	39,88	0,08
janv-93	34,13	0,46	18,45	0,19	37,63	0,20
févr-93	69,37	1,37	21,88	3,03	44,23	2,24
mars-93	23,03	0,92	46,72	1,81	63,08	1,45
avr-93	52,17	0,57	57,75	2,45	82,20	1,88
mai-93	67,93	5,85	79,51	3,63	105,55	2,85
juin-93	0,67	0,19	116,31	0,75	120,63	0,86
juil-93	2,37	0,00	151,59	0,19	134,59	0,30
août-93	2,10	0,00	154,82	0,05	127,60	0,11
sept-93	18,70	0,00	92,95	0,02	94,54	0,05
oct-93	16,97	0,00	66,41	0,01	71,84	0,02
nov-93	65,40	0,26	40,47	0,21	48,95	0,33

déc-93	11,27	0,43	25,89	0,12	39,09	0,19
janv-94	81,57	1,47	22,20	2,98	40,06	2,87
févr-94	68,40	5,75	26,60	8,04	47,10	7,15
mars-94	70,13	9,52	43,73	10,64	61,89	9,65
avr-94	25,17	0,98	52,03	3,44	79,86	3,55
mai-94	19,43	0,83	95,57	1,12	110,50	1,27
juin-94	3,20	0,11	122,13	0,27	121,96	0,43
juil-94	3,27	0,00	190,77	0,07	140,92	0,16
août-94	4,03	0,00	176,07	0,02	130,89	0,06
sept-94	17,23	0,26	104,18	0,01	97,03	0,03
oct-94	25,90	0,45	79,97	0,01	75,20	0,02
nov-94	28,10	2,02	47,29	0,01	51,10	0,03
déc-94	33,27	1,46	27,94	0,05	40,03	0,09
janv-95	40,93	1,62	25,75	0,34	42,03	0,38
févr-95	74,30	2,19	34,37	3,68	50,91	3,36
mars-95	159,77	28,78	44,67	32,07	62,27	33,71
avr-95	23,97	1,57	56,63	6,16	81,76	7,50
mai-95	17,60	1,13	101,21	1,61	112,03	2,21
juin-95	8,93	1,26	116,50	0,39	120,68	0,71
juil-95	1,03	0,90	155,93	0,10	135,38	0,25
août-95	2,30	0,00	24,14	0,03	128,14	0,10
sept-95	22,63	0,00	99,53	0,01	96,03	0,04
oct-95	31,33	1,76	82,46	0,01	75,75	0,04
nov-95	12,13	1,33	54,88	0,01	53,15	0,02
déc-95	54,40	4,08	40,47	0,12	44,67	0,22
janv-96	94,77	5,18	37,89	4,07	47,27	5,39
févr-96	62,67	6,04	24,54	6,76	45,91	7,81
mars-96	60,20	10,41	40,12	8,03	60,34	8,01
avr-96	74,70	7,85	58,95	9,58	82,66	9,09
mai-96	32,23	3,82	82,81	3,20	106,65	3,36
juin-96	8,60	2,10	126,62	0,74	122,94	1,02
juil-96	4,07	2,75	152,24	0,18	134,71	0,35
août-96	7,43	0,00	142,54	0,05	125,45	0,13
sept-96	48,80	2,16	97,46	0,06	95,58	0,14
oct-96	28,03	2,04	64,91	0,04	71,43	0,11
nov-96	19,37	1,34	45,30	0,03	50,51	0,07
déc-96	48,30	2,82	35,88	0,18	43,16	0,28
janv-97	85,43	5,58	31,80	3,65	44,88	4,26
févr-97	14,87	2,98	32,15	1,47	49,91	1,85
mars-97	20,50	2,82	44,41	0,79	62,16	0,95
avr-97	57,97	5,34	67,17	1,71	85,58	1,53
mai-97	34,80	0,19	93,26	0,98	109,85	0,96
juin-97	2,33	0,04	121,47	0,24	121,82	0,33
juil-97	1,47	0,00	136,03	0,06	131,53	0,13
août-97	15,53	0,00	143,17	0,02	125,56	0,05
sept-97	37,43	2,85	113,16	0,02	98,80	0,05
oct-97	19,60	0,31	87,53	0,01	76,81	0,03
nov-97	54,17	1,45	49,56	0,10	51,75	0,20
déc-97	53,03	2,44	31,95	0,60	41,71	0,96
janv-98	59,03	0,93	29,13	2,53	43,69	3,08

févr-98	52,07	1,64	33,46	4,13	50,51	4,33
mars-98	67,67	4,39	45,55	6,92	62,62	6,67
avr-98	20,30	0,64	56,01	2,21	81,51	2,46
mai-98	48,20	2,28	77,94	1,77	105,02	1,69
juin-98	1,37	0,09	126,70	0,41	122,96	0,55
juil-98	0,73	0,00	161,02	0,11	136,27	0,20
août-98	1,93	0,00	160,89	0,03	128,59	0,08
sept-98	16,73	0,00	118,50	0,01	99,79	0,03
oct-98	11,10	0,00	67,24	0,00	72,07	0,01
nov-98	56,10	0,36	41,30	0,08	49,23	0,13
déc-98	32,27	0,22	23,41	0,20	37,85	0,28
janv-99	80,07	5,75	26,89	3,87	42,61	3,77
févr-99	56,10	5,31	20,69	6,58	43,42	5,85
mars-99	71,80	8,70	41,12	10,75	60,78	9,30
avr-99	3,80	0,13	56,86	1,99	81,85	2,34
mai-99	13,07	0,05	100,99	0,58	111,97	0,80
juin-99	3,47	0,00	129,76	0,15	123,61	0,28
juil-99	0,17	0,00	159,99	0,04	136,09	0,11
août-99	0,90	0,00	163,25	0,01	128,96	0,04
sept-99	22,80	0,00	112,23	0,00	98,63	0,02
oct-99	42,80	0,00	88,06	0,02	76,92	0,06
nov-99	74,17	0,44	34,90	0,61	46,91	1,02
déc-99	71,33	0,42	25,21	3,93	38,76	4,71
janv-00	21,90	0,12	17,78	2,37	37,16	2,61
févr-00	16,13	0,08	31,34	1,23	49,53	1,26
mars-00	6,60	0,06	43,55	0,41	61,82	0,48
avr-00	17,53	0,01	57,61	0,21	82,14	0,23
mai-00	23,23	0,42	97,56	0,12	111,05	0,13
juin-00	1,33	0,00	136,93	0,03	125,06	0,05
juil-00	0,27	0,00	163,28	0,01	136,66	0,02
août-00	0,17	0,00	156,95	0,00	127,95	0,01
sept-00	17,23	0,00	112,08	0,00	98,60	0,00
oct-00	72,43	3,25	66,47	0,19	71,86	0,31
nov-00	96,03	3,98	40,48	3,57	48,96	4,74
déc-00	34,77	0,72	34,41	2,54	42,63	3,44

ANNEXE 7 : Données du modèle GR4J (ETP D'OU DIN).

Année	ETP (mm) D'Oudin	Le (mm)	Tlemcen		Tlemcen et Hennaya		Tlemcen +Hennaya+Zenata	
			P (mm)	Le simulé (mm)	P (mm)	Le simulé (mm)	P (mm)	Le simulé (mm)
01/01/2005	0,90	0,05	0	0,461	0,2	0,500	0,13	0,748
02/01/2005	0,99	0,05	0	0,290	0,2	0,321	0,13	0,557
03/01/2005	0,88	0,05	0	0,222	0	0,241	0,00	0,444
04/01/2005	0,91	0,05	0	0,181	0	0,192	0,00	0,366
05/01/2005	1,01	0,03	0	0,153	0	0,159	0,00	0,310
06/01/2005	0,91	0,04	0	0,133	0,75	0,136	0,50	0,268
07/01/2005	0,84	0,03	0	0,118	0,9	0,119	0,60	0,235
08/01/2005	0,78	0,03	0	0,107	0	0,106	0,00	0,208
09/01/2005	0,75	0,04	0	0,098	0	0,096	0,00	0,187
10/01/2005	0,81	0,04	0	0,091	0	0,088	0,00	0,169

11/01/2005	0,86	0,03	0	0,085	0	0,080	0,00	0,154
12/01/2005	0,82	0,03	0	0,080	0	0,075	0,00	0,141
13/01/2005	0,84	0,04	0	0,076	0	0,069	0,00	0,130
14/01/2005	0,90	0,03	0	0,072	6,55	0,070	4,37	0,124
15/01/2005	0,94	0,03	0	0,069	0,15	0,089	0,10	0,133
16/01/2005	0,93	0,03	0	0,066	1,45	0,139	0,97	0,156
17/01/2005	0,98	0,03	0	0,063	0	0,123	0,00	0,143
18/01/2005	1,15	0,04	0	0,061	0	0,113	0,00	0,132
19/01/2005	1,27	0,03	0	0,059	3,25	0,103	2,17	0,123
20/01/2005	1,14	0,03	0	0,057	3,05	0,104	2,03	0,120
21/01/2005	1,31	0,03	0	0,055	0	0,124	0,00	0,123
22/01/2005	1,31	0,03	0	0,053	0	0,129	0,00	0,122
23/01/2005	1,18	0,03	0	0,051	0	0,113	0,00	0,113
24/01/2005	1,10	0,03	5,6	0,052	2,8	0,101	1,87	0,106
25/01/2005	1,06	0,03	0	0,064	0,6	0,099	0,40	0,102
26/01/2005	0,68	0,03	2,9	0,094	1,6	0,105	1,07	0,101
27/01/2005	0,54	0,04	11	0,106	5,6	0,104	3,73	0,099
28/01/2005	0,56	0,05	0,3	0,184	3,55	0,135	2,37	0,110
29/01/2005	0,83	0,07	0,2	0,330	0,5	0,208	0,33	0,137
30/01/2005	0,85	0,05	1,3	0,239	7,35	0,232	4,90	0,149
31/01/2005	0,77	0,07	5,3	0,197	9,85	0,274	6,57	0,171
01/02/2005	0,81	0,05	0	0,203	0,45	0,515	0,30	0,264
02/02/2005	0,89	0,04	0	0,235	0	0,666	0,00	0,345
03/02/2005	1,01	0,03	0	0,184	0,75	0,415	0,50	0,295
04/02/2005	0,97	0,03	0	0,151	2	0,299	1,33	0,257
05/02/2005	1,03	0,04	0,3	0,128	0,35	0,242	0,23	0,231
06/02/2005	1,22	0,04	0	0,111	0	0,214	0,00	0,211
07/02/2005	1,40	0,04	0	0,099	0	0,176	0,00	0,190
08/02/2005	1,22	0,03	12,1	0,100	6,05	0,158	4,03	0,176
09/02/2005	1,29	0,19	14	0,174	7	0,186	4,67	0,186
10/02/2005	1,39	0,13	0	0,535	3,6	0,324	2,40	0,241
11/02/2005	1,27	0,07	0	0,776	0	0,435	0,00	0,285
12/02/2005	1,29	0,05	0	0,434	0	0,371	0,00	0,269
13/02/2005	1,56	0,05	0	0,294	0	0,274	0,00	0,236
14/02/2005	1,51	0,05	0	0,220	0	0,215	0,00	0,210
15/02/2005	1,10	0,05	0	0,176	0	0,177	0,00	0,189
16/02/2005	1,09	0,05	0	0,146	0	0,150	0,00	0,170
17/02/2005	1,06	0,03	0	0,126	0	0,130	0,00	0,155
18/02/2005	1,10	0,03	0	0,110	2,8	0,118	1,87	0,143
19/02/2005	1,15	0,03	0	0,099	2,1	0,117	1,40	0,136
20/02/2005	1,28	0,03	0	0,089	0,4	0,130	0,27	0,134
21/02/2005	1,51	0,04	21,9	0,103	17,1	0,152	11,40	0,138
22/02/2005	1,31	0,23	8,6	0,261	6,7	0,305	4,47	0,198
23/02/2005	1,39	0,08	0	0,999	1,05	0,921	0,70	0,426
24/02/2005	1,39	0,05	1,3	0,807	0,65	0,766	0,43	0,407
25/02/2005	1,59	0,05	2,1	0,450	5,7	0,480	3,80	0,347
26/02/2005	1,65	0,05	0,3	0,312	0,15	0,405	0,10	0,325
27/02/2005	1,54	0,05	5,9	0,254	2,95	0,427	1,97	0,330
28/02/2005	1,60	0,05	4,9	0,252	2,45	0,332	1,63	0,289
01/03/2005	1,48	0,25	10,3	0,358	7,05	0,321	4,70	0,269

02/03/2005	1,63	0,11	0,1	0,489	0,05	0,355	0,03	0,273
03/03/2005	1,53	0,08	10,9	0,673	5,45	0,456	3,63	0,312
04/03/2005	1,70	0,12	27,8	0,743	13,9	0,446	9,27	0,319
05/03/2005	1,53	0,35	0,8	1,940	1,3	0,769	0,87	0,447
06/03/2005	1,59	0,13	0,5	3,056	0,25	1,172	0,17	0,637
07/03/2005	1,53	0,13	7,7	0,933	3,85	0,629	2,57	0,506
08/03/2005	1,46	0,09	0	0,675	0	0,465	0,00	0,432
09/03/2005	1,51	0,08	0	0,701	0	0,416	0,00	0,392
10/03/2005	1,77	0,08	0	0,436	0	0,308	0,00	0,331
11/03/2005	2,29	0,08	0	0,317	0	0,245	0,00	0,286
12/03/2005	2,03	0,08	0,3	0,250	0,15	0,203	0,10	0,250
13/03/2005	2,00	0,07	0	0,208	0	0,173	0,00	0,221
14/03/2005	2,00	0,07	1,6	0,180	0,8	0,151	0,53	0,197
15/03/2005	2,18	0,05	1,2	0,159	0,6	0,134	0,40	0,177
16/03/2005	2,22	0,05	2	0,144	1	0,121	0,67	0,161
17/03/2005	2,27	0,05	0,2	0,132	0,1	0,110	0,07	0,146
18/03/2005	2,20	0,05	0	0,123	0	0,101	0,00	0,134
19/03/2005	2,28	0,05	0	0,115	0	0,093	0,00	0,123
20/03/2005	2,91	0,07	0	0,108	5,15	0,088	3,43	0,114
21/03/2005	3,12	0,05	0	0,101	2,55	0,093	1,70	0,108
22/03/2005	2,69	0,05	0,1	0,095	0,05	0,108	0,03	0,103
23/03/2005	2,83	0,05	8,6	0,096	4,3	0,099	2,87	0,096
24/03/2005	2,85	0,07	0	0,124	0	0,098	0,00	0,090
25/03/2005	2,71	0,05	0	0,191	0	0,103	0,00	0,084
26/03/2005	2,78	0,05	0	0,159	0	0,093	0,00	0,079
27/03/2005	2,62	0,04	0	0,136	0	0,084	0,00	0,074
28/03/2005	2,39	0,04	0	0,119	0	0,076	0,00	0,070
29/03/2005	2,63	0,04	0	0,106	0	0,070	0,00	0,066
30/03/2005	2,77	0,04	0	0,095	0	0,064	0,00	0,062
31/03/2005	2,95	0,03	0	0,087	0	0,059	0,00	0,059
01/04/2005	2,71	0,03	0	0,079	0	0,055	0,00	0,056
02/04/2005	2,69	0,02	0	0,073	0	0,051	0,00	0,053
03/04/2005	2,49	0,04	0	0,068	0	0,047	0,00	0,050
04/04/2005	2,62	0,02	0	0,063	0	0,044	0,00	0,048
05/04/2005	2,63	0,02	0	0,059	0	0,041	0,00	0,046
06/04/2005	2,77	0,02	0	0,055	0	0,039	0,00	0,043
07/04/2005	2,79	0,03	0	0,052	0	0,036	0,00	0,042
08/04/2005	3,09	0,03	10,3	0,052	5,15	0,035	3,43	0,040
09/04/2005	2,45	0,09	13,8	0,078	6,9	0,037	4,60	0,038
10/04/2005	2,07	0,09	0	0,199	0,65	0,050	0,43	0,038
11/04/2005	2,46	0,05	0	0,339	0,45	0,065	0,30	0,038
12/04/2005	2,69	0,03	0	0,237	0	0,058	0,00	0,037
13/04/2005	2,78	0,02	0	0,180	0	0,053	0,00	0,035
14/04/2005	3,02	0,01	0	0,143	0	0,048	0,00	0,034
15/04/2005	2,87	0,01	0	0,118	0	0,044	0,00	0,033
16/04/2005	2,63	0,02	0	0,100	0	0,040	0,00	0,031
17/04/2005	2,93	0,01	0	0,087	0	0,037	0,00	0,030
18/04/2005	3,15	0,01	0	0,076	0	0,034	0,00	0,029
19/04/2005	3,24	0,01	0	0,068	0	0,032	0,00	0,028
20/04/2005	3,09	0,01	0	0,061	0	0,029	0,00	0,027

21/04/2005	3,38	0,01	0	0,055	0,4	0,027	0,27	0,026
22/04/2005	3,41	0,01	0	0,050	0,35	0,025	0,23	0,025
23/04/2005	3,52	0,01	0	0,046	0	0,024	0,00	0,025
24/04/2005	3,58	0,01	0	0,042	3,45	0,022	2,30	0,024
25/04/2005	3,35	0,01	0	0,039	5,65	0,021	3,77	0,023
26/04/2005	3,08	0,01	0	0,036	0,15	0,022	0,10	0,023
27/04/2005	3,23	0,02	3	0,034	1,5	0,024	1,00	0,022
28/04/2005	3,29	0,02	0,2	0,031	0,9	0,022	0,60	0,021
29/04/2005	3,40	0,03	0,1	0,029	0,05	0,021	0,03	0,021
30/04/2005	3,46	0,05	0	0,027	0	0,019	0,00	0,020
01/05/2005	3,69	0,01	0	0,026	0	0,018	0,00	0,020
02/05/2005	3,84	0,03	0	0,024	4,85	0,017	3,23	0,019
03/05/2005	4,10	0,03	0	0,023	9	0,017	6,00	0,019
04/05/2005	4,09	0,01	0	0,022	0	0,020	0,00	0,018
05/05/2005	4,00	0,02	0	0,020	3,05	0,025	2,03	0,018
06/05/2005	3,93	0,04	0	0,019	1,15	0,023	0,77	0,017
07/05/2005	3,91	0,01	0	0,018	0	0,022	0,00	0,017
08/05/2005	4,81	0	0	0,017	0	0,020	0,00	0,017
09/05/2005	4,98	0,01	0	0,016	0	0,019	0,00	0,016
10/05/2005	4,39	0	0	0,015	0	0,018	0,00	0,016
11/05/2005	4,06	0	0,4	0,015	0,55	0,017	0,37	0,015
12/05/2005	4,04	0,00	0	0,014	0	0,016	0,00	0,015
13/05/2005	3,87	0,01	0	0,013	0,15	0,015	0,10	0,015
14/05/2005	3,93	0,01	0	0,012	0	0,014	0,00	0,014
15/05/2005	3,70	0,00	0	0,012	0	0,013	0,00	0,014
16/05/2005	3,98	0	0	0,011	0	0,012	0,00	0,014
17/05/2005	3,80	0	0	0,011	0	0,012	0,00	0,013
18/05/2005	3,88	0	0	0,010	0	0,011	0,00	0,013
19/05/2005	4,69	0,01	0	0,010	0	0,011	0,00	0,013
20/05/2005	4,38	0,00	0	0,009	0	0,010	0,00	0,013
21/05/2005	4,41	0,00	0	0,009	0	0,010	0,00	0,012
22/05/2005	4,43	0,00	0	0,008	0	0,009	0,00	0,012
23/05/2005	4,41	0,00	0	0,008	0	0,009	0,00	0,012
24/05/2005	4,21	0,00	0	0,008	0	0,008	0,00	0,012
25/05/2005	4,05	0	0	0,007	3,4	0,008	2,27	0,011
26/05/2005	4,08	0	0	0,007	2,5	0,008	1,67	0,011
27/05/2005	4,07	0	0	0,007	2,85	0,007	1,90	0,011
28/05/2005	4,19	0,01	0	0,006	3,4	0,007	2,27	0,011
29/05/2005	4,21	0,00	0,8	0,006	0,4	0,007	0,27	0,011
30/05/2005	4,22	0,00	2,8	0,006	1,4	0,006	0,93	0,010
31/05/2005	4,48	0,02	1,2	0,006	1,6	0,006	1,07	0,010
01/06/2005	4,16	0,01	0,8	0,005	0,4	0,006	0,27	0,010
02/06/2005	4,25	0,02	0	0,005	0	0,006	0,00	0,010
03/06/2005	4,22	0,01	0	0,005	0	0,005	0,00	0,010
04/06/2005	4,71	0,01	0	0,005	0	0,005	0,00	0,010
05/06/2005	4,70	0,01	0	0,005	0	0,005	0,00	0,009
06/06/2005	4,58	0,01	0	0,005	0	0,005	0,00	0,009
07/06/2005	4,50	0,01	0	0,004	0	0,005	0,00	0,009
08/06/2005	4,69	0,01	0	0,004	0	0,005	0,00	0,009
09/06/2005	4,56	0,01	0	0,004	0	0,004	0,00	0,009

10/06/2005	5,11	0,00	0	0,004	0	0,004	0,00	0,009
11/06/2005	4,84	0,00	0	0,004	0	0,004	0,00	0,008
12/06/2005	4,98	0,00	3,2	0,004	2,7	0,004	1,80	0,008
13/06/2005	4,34	0,00	0,9	0,004	1	0,004	0,67	0,008
14/06/2005	4,69	0,01	0	0,003	0	0,004	0,00	0,008
15/06/2005	4,81	0,01	0	0,003	0	0,004	0,00	0,008
16/06/2005	5,46	0,00	0	0,003	0	0,004	0,00	0,008
17/06/2005	5,39	0	0	0,003	0	0,003	0,00	0,008
18/06/2005	4,99	0,00	0	0,003	0	0,003	0,00	0,008
19/06/2005	4,99	0,00	0	0,003	0	0,003	0,00	0,007
20/06/2005	4,89	0	0	0,003	0	0,003	0,00	0,007
21/06/2005	5,18	0	0	0,003	0	0,003	0,00	0,007
22/06/2005	5,39	0	0	0,003	0	0,003	0,00	0,007
23/06/2005	5,65	0	0	0,003	0	0,003	0,00	0,007
24/06/2005	5,23	0	0	0,003	0	0,003	0,00	0,007
25/06/2005	5,13	0	0	0,002	0	0,003	0,00	0,007
26/06/2005	5,19	0	0	0,002	0	0,003	0,00	0,007
27/06/2005	5,16	0	0	0,002	0	0,003	0,00	0,007
28/06/2005	5,03	0	0	0,002	0	0,003	0,00	0,007
29/06/2005	5,12	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,006
30/06/2005	5,15	0	0,2	0,002	0,1	0,002	0,07	0,006
01/07/2005	5,42	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,006
02/07/2005	5,11	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,006
03/07/2005	5,33	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,006
04/07/2005	5,36	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,006
05/07/2005	5,39	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,006
06/07/2005	5,02	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,006
07/07/2005	5,10	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,006
08/07/2005	5,06	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,006
09/07/2005	4,87	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,006
10/07/2005	5,05	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,006
11/07/2005	4,98	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,006
12/07/2005	4,88	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,005
13/07/2005	4,96	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,005
14/07/2005	5,21	0	0	0,001	0	0,002	0,00	0,005
15/07/2005	5,68	0	0	0,001	0	0,002	0,00	0,005
16/07/2005	5,79	0	0	0,001	0	0,002	0,00	0,005
17/07/2005	6,14	0	0	0,001	0	0,002	0,00	0,005
18/07/2005	5,99	0	0	0,001	0	0,002	0,00	0,005
19/07/2005	5,62	0	0	0,001	0	0,002	0,00	0,005
20/07/2005	5,26	0	0	0,001	0	0,002	0,00	0,005
21/07/2005	5,40	0	0	0,001	0	0,002	0,00	0,005
22/07/2005	5,81	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,005
23/07/2005	5,40	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,005
24/07/2005	5,32	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,005
25/07/2005	5,17	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,005
26/07/2005	5,01	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,005
27/07/2005	4,93	0	0	0,001	0,75	0,001	0,50	0,005
28/07/2005	4,94	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,005
29/07/2005	5,07	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,005

30/07/2005	5,03	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
31/07/2005	4,83	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
01/08/2005	4,98	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
02/08/2005	5,00	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
03/08/2005	5,25	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
04/08/2005	5,01	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
05/08/2005	4,81	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
06/08/2005	4,88	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
07/08/2005	5,57	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
08/08/2005	5,71	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
09/08/2005	5,42	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
10/08/2005	4,83	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
11/08/2005	4,70	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
12/08/2005	4,59	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
13/08/2005	4,79	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
14/08/2005	4,81	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
15/08/2005	4,82	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
16/08/2005	4,80	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
17/08/2005	4,67	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
18/08/2005	4,93	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
19/08/2005	4,81	0	1,6	0,001	0,8	0,001	0,53	0,004
20/08/2005	4,71	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
21/08/2005	4,66	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
22/08/2005	4,62	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
23/08/2005	4,66	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
24/08/2005	4,50	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
25/08/2005	4,63	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
26/08/2005	4,74	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
27/08/2005	4,69	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
28/08/2005	4,48	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
29/08/2005	4,29	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
30/08/2005	4,55	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
31/08/2005	4,66	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
01/09/2005	4,23	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
02/09/2005	4,30	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
03/09/2005	4,35	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
04/09/2005	4,37	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
05/09/2005	4,76	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
06/09/2005	4,35	0	0	0,001	0,7	0,001	0,47	0,003
07/09/2005	3,72	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
08/09/2005	3,77	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
09/09/2005	3,76	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
10/09/2005	3,78	0	3,3	0,001	1,65	0,001	1,10	0,003
11/09/2005	3,62	0	0	0,001	4,25	0,001	2,83	0,003
12/09/2005	3,49	0	0	0,001	4,2	0,001	2,80	0,003
13/09/2005	3,60	0	0	0,001	6,65	0,001	4,43	0,003
14/09/2005	3,98	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
15/09/2005	3,88	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
16/09/2005	3,45	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
17/09/2005	3,49	0,02	0	0,000	0	0,001	0,00	0,003

18/09/2005	3,44	0	0,2	0,000	0,1	0,001	0,07	0,003
19/09/2005	3,24	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,003
20/09/2005	3,20	0	0	0,000	0,3	0,001	0,20	0,003
21/09/2005	3,11	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,003
22/09/2005	3,15	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,003
23/09/2005	3,13	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,003
24/09/2005	3,23	0	3,7	0,000	3,45	0,001	2,30	0,003
25/09/2005	3,10	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,003
26/09/2005	3,17	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,003
27/09/2005	3,04	0	13,7	0,000	6,85	0,001	4,57	0,003
28/09/2005	3,20	0,00	0	0,000	0	0,001	0,00	0,003
29/09/2005	3,15	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,003
30/09/2005	3,09	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,003
01/10/2005	3,05	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,003
02/10/2005	3,02	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,003
03/10/2005	2,89	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,002
04/10/2005	2,81	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,002
05/10/2005	2,71	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,002
06/10/2005	2,66	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,002
07/10/2005	2,73	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,002
08/10/2005	2,83	0	2,9	0,000	1,45	0,000	0,97	0,002
09/10/2005	2,73	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
10/10/2005	2,77	0	13,2	0,000	6,6	0,000	4,40	0,002
11/10/2005	3,01	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
12/10/2005	2,85	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
13/10/2005	2,34	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
14/10/2005	2,29	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
15/10/2005	2,28	0	6,2	0,000	3,1	0,000	2,07	0,002
16/10/2005	2,41	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
17/10/2005	2,61	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
18/10/2005	2,45	0	0	0,000	1,9	0,000	1,27	0,002
19/10/2005	2,47	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
20/10/2005	2,39	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
21/10/2005	2,39	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
22/10/2005	2,30	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
23/10/2005	2,32	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
24/10/2005	2,19	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
25/10/2005	2,13	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
26/10/2005	2,19	0	0	0,000	3,75	0,000	2,50	0,002
27/10/2005	2,27	0	0	0,000	0,2	0,000	0,13	0,002
28/10/2005	2,48	0	9	0,000	4,5	0,000	3,00	0,002
29/10/2005	2,67	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
30/10/2005	2,79	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
31/10/2005	2,23	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
01/11/2005	2,03	0,04	4,3	0,000	2,15	0,000	1,43	0,002
02/11/2005	2,14	0	0	0,000	0,15	0,000	0,10	0,002
03/11/2005	2,05	0	0	0,000	0,7	0,000	0,47	0,002
04/11/2005	1,94	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
05/11/2005	1,92	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
06/11/2005	1,75	0	6,7	0,000	3,35	0,000	2,23	0,002

07/11/2005	1,73	0	1,4	0,000	1,9	0,000	1,90	0,002
08/11/2005	1,72	0	5	0,000	2,6	0,000	2,60	0,002
09/11/2005	1,62	0	1	0,000	0,5	0,000	0,50	0,002
10/11/2005	1,59	0,00	5,2	0,000	2,6	0,000	2,60	0,002
11/11/2005	1,62	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
12/11/2005	1,65	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
13/11/2005	1,63	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
14/11/2005	1,54	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
15/11/2005	1,53	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
16/11/2005	1,51	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
17/11/2005	1,49	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
18/11/2005	1,51	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
19/11/2005	1,50	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
20/11/2005	1,49	0,01	1,2	0,000	0,6	0,000	0,60	0,002
21/11/2005	1,55	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
22/11/2005	1,50	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
23/11/2005	1,45	0,01	18,1	0,000	9,05	0,000	9,05	0,002
24/11/2005	1,43	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
25/11/2005	1,32	0,01	0	0,002	0	0,000	0,00	0,002
26/11/2005	1,21	0,01	12,5	0,001	6,25	0,000	6,25	0,002
27/11/2005	1,12	0,03	1	0,001	0,5	0,000	0,50	0,002
28/11/2005	1,11	0,03	0	0,002	0	0,000	0,00	0,002
29/11/2005	1,10	0,03	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
30/11/2005	0,97	0,03	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
01/12/2005	0,96	0,03	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
02/12/2005	1,35	0,01	0	0,001	2,6	0,000	1,73	0,002
03/12/2005	1,53	0,01	0	0,001	4,9	0,000	3,27	0,002
04/12/2005	1,33	0,01	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
05/12/2005	1,48	0,01	0	0,001	2,3	0,000	1,53	0,002
06/12/2005	1,34	0,01	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
07/12/2005	1,15	0,01	0,6	0,001	0,3	0,000	0,20	0,002
08/12/2005	1,10	0,01	4	0,001	2	0,000	1,33	0,002
09/12/2005	1,06	0,01	1,5	0,001	0,75	0,000	0,50	0,002
10/12/2005	0,97	0,01	0,2	0,001	0,1	0,000	0,07	0,002
11/12/2005	0,95	0,01	1	0,001	1,45	0,000	0,97	0,002
12/12/2005	0,86	0,01	0	0,001	2	0,000	1,33	0,002
13/12/2005	0,85	0,01	0	0,001	6,55	0,000	4,37	0,002
14/12/2005	0,85	0,01	0	0,001	1,55	0,000	1,03	0,002
15/12/2005	0,91	0,01	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
16/12/2005	0,86	0,01	4	0,001	2	0,000	1,33	0,002
17/12/2005	0,91	0,01	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
18/12/2005	0,98	0,01	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
19/12/2005	0,95	0,01	0	0,001	2,5	0,000	1,67	0,002
20/12/2005	0,93	0,01	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
21/12/2005	1,15	0,02	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
22/12/2005	1,11	0,02	0	0,001	0,75	0,000	0,50	0,002
23/12/2005	1,04	0,01	14	0,001	7	0,000	4,67	0,002
24/12/2005	0,99	0,01	0	0,001	1,1	0,000	0,73	0,002
25/12/2005	1,10	0,01	2,2	0,005	1,1	0,000	0,73	0,003
26/12/2005	1,53	0,01	0	0,002	0	0,000	0,00	0,002

27/12/2005	1,33	0,01	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
28/12/2005	1,20	0,01	5	0,001	2,5	0,000	1,67	0,002
29/12/2005	1,10	0,04	9,5	0,001	4,75	0,000	3,17	0,002
30/12/2005	1,11	0,05	0,9	0,001	0,45	0,000	0,30	0,002
31/12/2005	1,25	0,04	0	0,004	0	0,001	0,00	0,002
01/01/2006	1,24	0,02	0	0,002	0	0,001	0,00	0,002
02/01/2006	1,11	0,01	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
03/01/2006	0,86	0,01	0,5	0,001	0,25	0,000	0,17	0,002
04/01/2006	0,83	0,01	2,1	0,001	1,05	0,000	0,70	0,002
05/01/2006	0,92	0,01	1,3	0,001	0,65	0,000	0,43	0,002
06/01/2006	1,07	0,01	2,9	0,001	1,45	0,000	0,97	0,002
07/01/2006	1,03	0,01	0,4	0,002	0,2	0,000	0,13	0,002
08/01/2006	1,07	0,01	10,7	0,002	5,35	0,000	3,57	0,002
09/01/2006	1,02	0,02	24,6	0,002	12,3	0,001	8,20	0,002
10/01/2006	0,93	0,02	2,3	0,029	1,15	0,006	0,77	0,009
11/01/2006	0,97	0,01	0	0,047	0	0,012	0,00	0,016
12/01/2006	1,01	0,01	0,6	0,011	0,3	0,006	0,20	0,012
13/01/2006	0,99	0,02	5,7	0,010	2,85	0,001	1,90	0,003
14/01/2006	1,03	0,01	0,9	0,011	0,45	0,001	0,30	0,003
15/01/2006	1,03	0,05	0	0,012	0	0,001	0,00	0,004
16/01/2006	1,08	0,03	0	0,011	0	0,001	0,00	0,004
17/01/2006	1,11	0,03	0	0,011	0	0,001	0,00	0,003
18/01/2006	0,94	0,01	0	0,010	0	0,001	0,00	0,003
19/01/2006	1,03	0,01	9,8	0,010	4,9	0,001	3,27	0,003
20/01/2006	1,23	0,05	1	0,012	0,5	0,001	0,33	0,004
21/01/2006	1,20	0,08	0	0,015	0	0,001	0,00	0,004
22/01/2006	1,14	0,05	0	0,014	0,05	0,001	0,03	0,004
23/01/2006	1,16	0,05	0	0,013	0	0,001	0,00	0,004
24/01/2006	1,07	0,03	0	0,013	0	0,001	0,00	0,004
25/01/2006	1,27	0,03	0	0,012	0	0,001	0,00	0,004
26/01/2006	1,23	0,03	0	0,011	1,45	0,001	0,97	0,004
27/01/2006	1,37	0,03	0	0,011	0	0,001	0,00	0,004
28/01/2006	1,51	0,04	0	0,010	0	0,001	0,00	0,004
29/01/2006	1,08	0,05	0	0,009	11,85	0,001	7,90	0,004
30/01/2006	1,07	0,04	0	0,009	0	0,001	0,00	0,006
31/01/2006	1,20	0,11	1,8	0,009	0,9	0,009	0,60	0,015
01/02/2006	1,25	0,17	0	0,008	0	0,003	0,00	0,011
02/02/2006	1,26	0,09	0	0,008	0	0,002	0,00	0,005
03/02/2006	1,36	0,05	0	0,008	2,25	0,002	1,50	0,005
04/02/2006	1,29	0,05	0	0,007	3,7	0,002	2,47	0,005
05/02/2006	1,29	0,05	0,6	0,007	0,3	0,002	0,20	0,005
06/02/2006	1,23	0,05	1,2	0,007	0,6	0,002	0,40	0,005
07/02/2006	1,30	0,05	0,5	0,006	0,25	0,002	0,17	0,005
08/02/2006	1,38	0,05	14,3	0,007	8	0,002	5,33	0,005
09/02/2006	1,49	0,05	0	0,009	0	0,002	0,00	0,006
10/02/2006	1,76	0,05	0	0,014	0	0,003	0,00	0,010
11/02/2006	1,59	0,07	0	0,013	0	0,003	0,00	0,007
12/02/2006	1,46	0,08	0,2	0,013	0,1	0,003	0,07	0,006
13/02/2006	1,33	0,05	0	0,012	0	0,003	0,00	0,006
14/02/2006	1,37	0,05	12,6	0,012	6,3	0,003	4,20	0,006

15/02/2006	1,46	0,05	13	0,016	6,5	0,003	4,33	0,007
16/02/2006	1,68	0,05	0	0,031	1,35	0,004	0,90	0,011
17/02/2006	1,85	0,05	11,8	0,047	5,9	0,005	3,93	0,015
18/02/2006	1,81	0,04	11,6	0,056	5,8	0,006	3,87	0,013
19/02/2006	1,58	0,05	2,2	0,092	1,1	0,008	0,73	0,014
20/02/2006	1,38	0,08	0	0,116	4,1	0,009	2,73	0,015
21/02/2006	1,51	0,11	24,8	0,109	16,9	0,010	11,27	0,017
22/02/2006	1,39	0,05	0,1	0,159	0,05	0,017	0,03	0,039
23/02/2006	1,42	0,13	0	0,318	0	0,032	0,00	0,071
24/02/2006	1,43	0,13	1,8	0,215	0,9	0,029	0,60	0,051
25/02/2006	1,56	0,10	0	0,159	0	0,027	0,00	0,029
26/02/2006	1,70	0,11	0	0,125	0	0,025	0,00	0,028
27/02/2006	1,55	0,31	0,2	0,100	0,1	0,023	0,07	0,028
28/02/2006	1,62	0,10	2,8	0,083	1,4	0,021	0,93	0,027
01/03/2006	1,78	0,08	0	0,073	0	0,020	0,00	0,026
02/03/2006	1,83	0,08	0	0,067	0	0,019	0,00	0,025
03/03/2006	1,70	0,07	0	0,057	0	0,017	0,00	0,025
04/03/2006	1,99	0,07	0	0,050	0	0,016	0,00	0,024
05/03/2006	1,88	0,07	0	0,045	0	0,015	0,00	0,023
06/03/2006	1,70	0,07	0	0,040	0	0,015	0,00	0,023
07/03/2006	1,80	0,04	0	0,036	0	0,014	0,00	0,022
08/03/2006	2,09	0,03	0	0,033	0	0,013	0,00	0,021
09/03/2006	2,10	0,02	0	0,030	0	0,012	0,00	0,021
10/03/2006	2,16	0,03	0	0,027	0	0,012	0,00	0,020
11/03/2006	2,23	0,02	0	0,025	0	0,011	0,00	0,020
12/03/2006	2,33	0,01	0,6	0,023	0,3	0,011	0,20	0,019
13/03/2006	2,22	0,02	0,2	0,022	0,1	0,010	0,07	0,019
14/03/2006	2,15	0,02	0	0,020	0	0,010	0,00	0,018
15/03/2006	2,11	0,02	10,2	0,020	5,1	0,009	3,40	0,018
16/03/2006	2,18	0,03	16,2	0,027	8,1	0,010	5,40	0,018
17/03/2006	2,44	0,03	0	0,061	0	0,012	0,00	0,019
18/03/2006	2,48	0,01	0	0,108	0	0,015	0,00	0,020
19/03/2006	2,77	0,01	0	0,088	0	0,014	0,00	0,020
20/03/2006	2,38	0,00	0	0,074	0,3	0,013	0,20	0,019
21/03/2006	2,24	0,04	0	0,063	2,2	0,013	1,47	0,019
22/03/2006	2,41	0,08	0	0,054	0	0,012	0,00	0,018
23/03/2006	2,61	0,01	0	0,048	0	0,011	0,00	0,018
24/03/2006	2,76	0,01	0	0,042	0	0,011	0,00	0,017
25/03/2006	2,74	0,01	0	0,038	0	0,010	0,00	0,017
26/03/2006	3,01	0,02	0	0,034	7,95	0,010	5,30	0,016
27/03/2006	3,34	0,01	0	0,031	4,2	0,011	2,80	0,016
28/03/2006	2,92	0,00	0	0,028	0,6	0,013	0,40	0,017
29/03/2006	2,75	0,00	0	0,026	0	0,012	0,00	0,016
30/03/2006	3,02	0,00	0	0,024	0	0,012	0,00	0,016
31/03/2006	3,27	0,00	0	0,022	0	0,011	0,00	0,016
01/04/2006	3,31	0,01	0	0,020	0	0,011	0,00	0,015
02/04/2006	3,41	0,00	0	0,019	0	0,010	0,00	0,015
03/04/2006	3,14	0,00	0	0,017	0	0,010	0,00	0,014
04/04/2006	3,15	0	0	0,016	2,25	0,009	1,50	0,014
05/04/2006	3,11	0	0,6	0,015	0,65	0,009	0,43	0,014

06/04/2006	3,04	0	0	0,014	0	0,008	0,00	0,014
07/04/2006	2,88	0	0	0,014	0	0,008	0,00	0,013
08/04/2006	3,12	0	0	0,013	0	0,008	0,00	0,013
09/04/2006	2,91	0	0	0,012	1,75	0,007	1,17	0,013
10/04/2006	3,19	0	0	0,011	0	0,007	0,00	0,012
11/04/2006	3,09	0,00	0	0,011	0,15	0,007	0,10	0,012
12/04/2006	3,12	0,00	0	0,010	1,25	0,006	0,83	0,012
13/04/2006	3,19	0	0	0,010	0,25	0,006	0,17	0,012
14/04/2006	3,54	0,00	0	0,009	0	0,006	0,00	0,012
15/04/2006	3,45	0	0	0,009	0	0,006	0,00	0,011
16/04/2006	3,45	0	0,7	0,008	1,6	0,006	1,07	0,011
17/04/2006	3,27	0	5,3	0,008	2,65	0,005	1,77	0,011
18/04/2006	3,15	0,01	0,7	0,008	2,15	0,005	1,43	0,011
19/04/2006	3,26	0	4,5	0,008	2,25	0,005	1,50	0,010
20/04/2006	3,29	0	23,1	0,009	13,4	0,005	8,93	0,010
21/04/2006	3,23	0	4,1	0,016	22,15	0,006	14,77	0,010
22/04/2006	3,18	0,01	0	0,034	1,35	0,019	0,90	0,012
23/04/2006	3,18	0,01	0,3	0,032	4,8	0,034	3,20	0,015
24/04/2006	3,27	0,00	0	0,029	0	0,020	0,00	0,013
25/04/2006	2,97	0,02	0	0,026	0	0,020	0,00	0,013
26/04/2006	3,22	0,09	0	0,024	5,65	0,019	3,77	0,012
27/04/2006	3,72	0,03	0	0,022	0,15	0,018	0,10	0,012
28/04/2006	3,78	0,01	0	0,020	0	0,019	0,00	0,012
29/04/2006	3,56	0,01	0	0,018	0	0,018	0,00	0,012
30/04/2006	3,76	0,00	0	0,017	0	0,016	0,00	0,012
01/05/2006	3,63	0,00	0	0,016	0	0,015	0,00	0,011
02/05/2006	3,88	0,00	10	0,015	5	0,014	3,33	0,011
03/05/2006	3,32	0,09	17,1	0,017	9,35	0,014	6,23	0,011
04/05/2006	3,41	0,13	1	0,028	0,5	0,016	0,33	0,011
05/05/2006	3,58	0,05	6,6	0,045	3,55	0,018	2,37	0,011
06/05/2006	3,51	0,05	3,6	0,042	1,8	0,017	1,20	0,011
07/05/2006	3,51	0,05	0	0,042	0	0,016	0,00	0,011
08/05/2006	3,94	0,04	0	0,038	0	0,015	0,00	0,011
09/05/2006	3,99	0,02	0	0,033	0	0,014	0,00	0,010
10/05/2006	3,67	0,02	0	0,030	0	0,013	0,00	0,010
11/05/2006	3,96	0,00	0,5	0,027	0,25	0,012	0,17	0,010
12/05/2006	3,94	0,01	0,1	0,025	0,05	0,012	0,03	0,010
13/05/2006	4,01	0,02	0	0,022	0	0,011	0,00	0,010
14/05/2006	4,03	0,01	0	0,021	0	0,011	0,00	0,009
15/05/2006	4,07	0,01	1,3	0,019	0,65	0,010	0,43	0,009
16/05/2006	4,34	0,01	0	0,017	0	0,009	0,00	0,009
17/05/2006	5,01	0,00	0	0,016	0	0,009	0,00	0,009
18/05/2006	5,40	0,00	0	0,015	0	0,009	0,00	0,009
19/05/2006	4,98	0	0	0,014	0	0,008	0,00	0,009
20/05/2006	4,65	0	0	0,013	0	0,008	0,00	0,009
21/05/2006	4,85	0	0	0,012	0	0,007	0,00	0,008
22/05/2006	4,75	0	0	0,011	0	0,007	0,00	0,008
23/05/2006	4,49	0	0	0,011	0	0,007	0,00	0,008
24/05/2006	4,04	0	0	0,010	0	0,007	0,00	0,008
25/05/2006	3,63	0	11,2	0,010	5,6	0,006	3,73	0,008

26/05/2006	3,75	0,02	3,6	0,011	2,05	0,006	1,37	0,008
27/05/2006	4,49	0,05	8,6	0,013	4,3	0,006	2,87	0,008
28/05/2006	4,92	0,17	3,4	0,013	1,7	0,006	1,13	0,008
29/05/2006	4,71	0,14	0	0,014	0	0,006	0,00	0,007
30/05/2006	4,56	0,05	0	0,013	0	0,005	0,00	0,007
31/05/2006	4,04	0,05	7,5	0,013	3,75	0,005	2,50	0,007
01/06/2006	4,18	0,07	0	0,013	0	0,005	0,00	0,007
02/06/2006	4,15	0,01	0	0,013	0	0,005	0,00	0,007
03/06/2006	4,26	0,00	0	0,012	0	0,005	0,00	0,007
04/06/2006	4,23	0	0	0,012	0	0,005	0,00	0,007
05/06/2006	4,46	0,00	0	0,011	0	0,004	0,00	0,007
06/06/2006	4,60	0	0	0,010	0	0,004	0,00	0,007
07/06/2006	4,79	0	0	0,010	0	0,004	0,00	0,007
08/06/2006	4,85	0	0	0,009	0	0,004	0,00	0,006
09/06/2006	5,59	0	0	0,009	0	0,004	0,00	0,006
10/06/2006	4,59	0	0	0,008	0	0,004	0,00	0,006
11/06/2006	4,49	0	0	0,008	0	0,004	0,00	0,006
12/06/2006	4,53	0	0	0,007	0	0,004	0,00	0,006
13/06/2006	5,05	0	1,9	0,007	0,95	0,003	0,63	0,006
14/06/2006	5,07	0	0	0,007	0	0,003	0,00	0,006
15/06/2006	4,71	0	0	0,006	0	0,003	0,00	0,006
16/06/2006	4,78	0	0	0,006	0	0,003	0,00	0,006
17/06/2006	4,66	0	0	0,006	0	0,003	0,00	0,006
18/06/2006	4,63	0	0	0,005	0	0,003	0,00	0,006
19/06/2006	4,35	0	0	0,005	0	0,003	0,00	0,006
20/06/2006	4,92	0,01	0	0,005	0	0,003	0,00	0,006
21/06/2006	5,08	0,01	0	0,005	0	0,003	0,00	0,005
22/06/2006	4,99	0	0	0,005	0	0,003	0,00	0,005
23/06/2006	4,99	0	0	0,004	0	0,003	0,00	0,005
24/06/2006	5,13	0	0	0,004	0	0,003	0,00	0,005
25/06/2006	4,99	0	0	0,004	0	0,002	0,00	0,005
26/06/2006	4,81	0	0	0,004	0	0,002	0,00	0,005
27/06/2006	4,69	0	0	0,004	0	0,002	0,00	0,005
28/06/2006	4,57	0	0	0,004	0	0,002	0,00	0,005
29/06/2006	4,79	0	0	0,004	0	0,002	0,00	0,005
30/06/2006	4,86	0	0	0,003	0	0,002	0,00	0,005
01/07/2006	5,11	0	0	0,003	0	0,002	0,00	0,005
02/07/2006	4,94	0	0	0,003	0	0,002	0,00	0,005
03/07/2006	5,24	0	1,1	0,003	0,55	0,002	0,37	0,005
04/07/2006	5,51	0	2,2	0,003	1,1	0,002	0,73	0,005
05/07/2006	5,29	0	0	0,003	0	0,002	0,00	0,005
06/07/2006	5,33	0	0	0,003	0	0,002	0,00	0,005
07/07/2006	4,93	0	0	0,003	0	0,002	0,00	0,005
08/07/2006	5,22	0	0	0,003	0	0,002	0,00	0,005
09/07/2006	5,52	0	0	0,003	0	0,002	0,00	0,004
10/07/2006	4,52	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,004
11/07/2006	6,55	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,004
12/07/2006	5,79	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,004
13/07/2006	5,59	0	0,2	0,002	0,1	0,002	0,07	0,004
14/07/2006	5,99	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,004

15/07/2006	5,87	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,004
16/07/2006	5,31	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,004
17/07/2006	5,41	0	0	0,002	0	0,002	0,00	0,004
18/07/2006	5,79	0	0	0,002	0	0,001	0,00	0,004
19/07/2006	5,34	0	0,1	0,002	0,05	0,001	0,03	0,004
20/07/2006	5,26	0	0	0,002	0	0,001	0,00	0,004
21/07/2006	5,40	0	0	0,002	0	0,001	0,00	0,004
22/07/2006	5,64	0	0	0,002	0	0,001	0,00	0,004
23/07/2006	5,73	0	0	0,002	0	0,001	0,00	0,004
24/07/2006	5,30	0	0	0,002	0	0,001	0,00	0,004
25/07/2006	5,31	0	0	0,002	0	0,001	0,00	0,004
26/07/2006	5,39	0	0	0,002	0	0,001	0,00	0,004
27/07/2006	5,78	0	1,9	0,002	0,95	0,001	0,63	0,004
28/07/2006	5,43	0	0	0,002	0	0,001	0,00	0,004
29/07/2006	5,32	0	0	0,002	0	0,001	0,00	0,004
30/07/2006	5,26	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
31/07/2006	5,61	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
01/08/2006	5,79	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
02/08/2006	5,66	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,004
03/08/2006	5,58	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
04/08/2006	5,19	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
05/08/2006	5,35	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
06/08/2006	5,59	0	0	0,001	0,1	0,001	0,07	0,003
07/08/2006	5,22	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
08/08/2006	4,78	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
09/08/2006	5,02	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
10/08/2006	5,39	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
11/08/2006	4,94	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
12/08/2006	5,21	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
13/08/2006	5,11	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
14/08/2006	4,67	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
15/08/2006	4,51	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
16/08/2006	4,32	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
17/08/2006	4,61	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
18/08/2006	4,31	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
19/08/2006	4,17	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
20/08/2006	4,28	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
21/08/2006	4,64	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
22/08/2006	4,48	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
23/08/2006	4,48	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
24/08/2006	4,53	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
25/08/2006	4,48	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
26/08/2006	4,73	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
27/08/2006	4,41	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
28/08/2006	4,45	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
29/08/2006	4,79	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
30/08/2006	4,97	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
31/08/2006	4,45	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
01/09/2006	4,30	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
02/09/2006	4,29	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003

03/09/2006	4,24	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
04/09/2006	4,07	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
05/09/2006	4,13	0	0,3	0,001	0,15	0,001	0,10	0,003
06/09/2006	4,50	0	0,8	0,001	0,4	0,001	0,27	0,003
07/09/2006	4,24	0	1,3	0,001	0,65	0,001	0,43	0,003
08/09/2006	4,14	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
09/09/2006	4,13	0	0	0,001	0,75	0,001	0,50	0,003
10/09/2006	4,02	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,003
11/09/2006	4,03	0	19,3	0,001	9,65	0,001	6,43	0,003
12/09/2006	3,80	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
13/09/2006	3,56	9,06	4,3	0,001	2,15	0,001	1,43	0,002
14/09/2006	3,47	0,14	1,1	0,001	0,55	0,001	0,37	0,002
15/09/2006	3,35	0,01	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
16/09/2006	3,32	0,01	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
17/09/2006	3,27	0,00	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
18/09/2006	3,48	0,00	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
19/09/2006	3,44	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
20/09/2006	3,84	0	1,3	0,001	0,9	0,001	0,60	0,002
21/09/2006	4,07	0	0	0,001	1	0,001	0,67	0,002
22/09/2006	3,50	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
23/09/2006	3,30	0	8,2	0,001	4,1	0,001	2,73	0,002
24/09/2006	3,27	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
25/09/2006	3,32	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
26/09/2006	3,41	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
27/09/2006	3,38	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
28/09/2006	3,23	0	0	0,001	1,95	0,001	1,30	0,002
29/09/2006	3,26	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
30/09/2006	3,15	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
01/10/2006	3,27	0	0	0,001	0	0,001	0,00	0,002
02/10/2006	3,65	0	0	0,001	2,05	0,001	1,37	0,002
03/10/2006	3,38	0	0	0,001	5,2	0,000	3,47	0,002
04/10/2006	3,03	0	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
05/10/2006	2,82	0	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
06/10/2006	2,60	0	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
07/10/2006	2,79	0	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
08/10/2006	2,86	0	0	0,001	0	0,000	0,00	0,002
09/10/2006	2,89	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
10/10/2006	2,76	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
11/10/2006	2,84	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
12/10/2006	2,71	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
13/10/2006	2,64	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
14/10/2006	2,52	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
15/10/2006	2,62	0	0	0,000	6,15	0,000	4,10	0,002
16/10/2006	2,60	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
17/10/2006	2,52	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
18/10/2006	2,57	0	8,7	0,000	6,75	0,000	4,50	0,002
19/10/2006	2,58	0,00	0	0,000	5,8	0,000	3,87	0,002
20/10/2006	2,65	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
21/10/2006	2,64	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
22/10/2006	2,51	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002

23/10/2006	2,54	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
24/10/2006	2,73	0,00	0	0,000	0,65	0,000	0,43	0,002
25/10/2006	2,73	0,01	0	0,000	0,65	0,000	0,43	0,002
26/10/2006	2,39	0,01	5,4	0,000	2,8	0,000	1,87	0,002
27/10/2006	2,24	0,01	1,6	0,000	1,05	0,000	0,70	0,002
28/10/2006	2,35	0,01	0	0,000	2,9	0,000	1,93	0,002
29/10/2006	2,13	0,00	0	0,000	9,15	0,000	6,10	0,002
30/10/2006	2,24	0,00	0	0,000	0,95	0,000	0,63	0,002
31/10/2006	2,46	0,00	0	0,000	0,3	0,000	0,20	0,002
01/11/2006	2,50	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
02/11/2006	2,37	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
03/11/2006	2,33	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
04/11/2006	2,19	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
05/11/2006	2,05	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
06/11/2006	2,03	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
07/11/2006	2,03	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
08/11/2006	1,99	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
09/11/2006	1,90	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
10/11/2006	1,73	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
11/11/2006	1,65	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
12/11/2006	1,56	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
13/11/2006	1,51	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
14/11/2006	1,50	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
15/11/2006	1,64	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
16/11/2006	1,99	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
17/11/2006	1,70	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
18/11/2006	1,48	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
19/11/2006	1,47	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
20/11/2006	1,51	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
21/11/2006	1,60	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
22/11/2006	1,63	0	0	0,000	1,2	0,000	0,80	0,002
23/11/2006	1,65	0	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
24/11/2006	1,64	0	0	0,000	3,65	0,000	2,43	0,002
25/11/2006	1,83	0	0	0,000	2	0,000	1,33	0,002
26/11/2006	1,47	0	0	0,000	6,05	0,000	4,03	0,002
27/11/2006	1,40	0	0	0,000	15,45	0,000	10,30	0,002
28/11/2006	1,36	0	0	0,000	1,25	0,000	0,83	0,002
29/11/2006	1,42	0	0	0,000	0	0,001	0,00	0,002
30/11/2006	1,38	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
01/12/2006	1,33	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
02/12/2006	1,50	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
03/12/2006	1,28	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
04/12/2006	1,31	0,03	0,4	0,000	0,2	0,000	0,13	0,002
05/12/2006	1,31	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
06/12/2006	1,35	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
07/12/2006	1,32	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
08/12/2006	1,36	0,00	6,4	0,000	3,2	0,000	2,13	0,002
09/12/2006	1,21	0,00	1,1	0,000	0,55	0,000	0,37	0,002
10/12/2006	1,09	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
11/12/2006	1,24	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002

12/12/2006	1,20	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
13/12/2006	1,12	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
14/12/2006	1,13	0,02	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
15/12/2006	1,18	0,02	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
16/12/2006	1,17	0,01	0	0,000	0,2	0,000	0,13	0,002
17/12/2006	1,09	0,02	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
18/12/2006	1,14	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
19/12/2006	1,14	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
20/12/2006	1,02	0,02	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
21/12/2006	0,98	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
22/12/2006	0,98	0,00	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
23/12/2006	0,94	0,01	0	0,000	0,75	0,000	0,50	0,001
24/12/2006	0,89	0,01	0	0,000	4,3	0,000	2,87	0,001
25/12/2006	1,08	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,001
26/12/2006	1,05	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,002
27/12/2006	1,04	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,001
28/12/2006	1,11	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,001
29/12/2006	1,06	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,001
30/12/2006	1,04	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,001
31/12/2006	1,02	0,01	0	0,000	0	0,000	0,00	0,001