

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Modélisation pluie-débit sur le bassin versant de l'Isser.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0045-17

APA Citation (APA توثيق):

Gueriane, Brahim (2017). Modélisation pluie-débit sur le bassin versant de l'Isser[Thèse de master, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بثمين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بنه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT : HYDRAULIQUE URBAINE

MEMOIRE DE MASTER

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option : CONCEPTION DES SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT

THEME DU PROJET

**MODELISATION PLUIE-DEBIT SUR LE BASSIN VERSANT
DE L'ISSER**

PRESENTE PAR :

Mr GUERIANE BRAHIM

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
MEDDI Hind	M.C.A	Présidente
AMMARI Abdelhadi	M.C.B	Examineur
BOUFEKANE Abdelmadjid	M.A.A	Examineur
HOULI Samia	M.A.A	Examinatrice
M ^{me} SALHI Chahrazed	M.A.A	Promotrice

2016-2017

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissances et de respect :

- *A ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils ont consenti à mon égard ;*
- *A ma chère petite famille Amina, Meriem, Hadjer et Katia*
- *A mes neveux Alaa et Anaïs*
- *A toute la famille GUERIANE et NADJI*
- *A mes meilleurs amis Karim Medjoubi, Yacine Bekkar , et Amine Chekireb*
- *Mes amis Chouaib, Hamoudi, Anis, Hichem et Ammar.*
- *A mes amis de Sétif*
- *A mes amis de l'école préparatoire d'Annaba*
- *A mes amis de l'ENSH*

GUERIANE BRAHIM

REMERCIEMENT

D'abord je remercie Dieu le Tout Puissant pour m'avoir permis d'accomplir dans les meilleures conditions ce travail.

A l'issu de cette étude, Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé tout au long de mon travail.

Ma reconnaissance va plus particulièrement à :

- Ma promotrice M^{me} SALHI Chahrazed pour sa contribution à l'élaboration de ce mémoire et ses précieux conseils.

-L'ensemble des enseignants qui m'ont suivi durant mon cycle d'étude.

-Mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur d'apprécier mon travail.

-Mes derniers remerciements s'adressent à tous mes amis et collègues de la promotion 2013-2016, pour avoir beaucoup de sollicitudes et de chaleur humaine dont nous avions tant besoin.

GUERJANE BRAHIM

ملخص

Résumé

Abstract

ملخص

لقد أصبح النموذج الهيدرولوجي أداة لا غنى عنها في مختلف المجالات: التنمية وبناء هياكل الري، والوقاية من الفيضانات والتنبؤ، ودراسة التغيرات المناخية، والآثار الناتجة من النشاطات الإنسانية، والآثار الناتجة عن الكوارث الطبيعية. هذا العمل يمثل نموذج هطول الأمطار والسيول من نوع شبكة العصبونات الاصطناعية وهو نموذج عالمي يطبق على حوض المياه لواد يسر شمال وسط الجزائر من خلال المجال الزمني السنوي. في الأول قدمنا نظرة على مختلف النماذج الهيدرولوجية المستعملة ثم قدمنا منطقة الدراسة (حوض المياه يسر) ومختلف المعطيات التي جمعناها حول المنطقة وأخيرا قدمنا نموذج العصبونات الاصطناعية الذي طبقناه على منطقة الدراسة اين استطعنا التحقق من امكانية تطبيق هذا النموذج على احواض المياه المتوسطة الشبه قارية.

Résumé

Le modèle hydrologique est devenu un outil indispensable pour divers domaines : Aménagement, construction des ouvrages hydrauliques, prévention et prédétermination des crues, études des changements climatiques, impacts anthropiques, impacts des catastrophes naturelles, reconstitution des climats par la paléontologie...

Ce travail représente la modélisation pluie-débit par le modèle de réseaux de neurones artificiels appliqués au bassin versant de l'oued ISSER suivant le pas temps annuel.

Nous avons donné dans un premier temps un aperçu sur la modélisation hydrologique ; ensuite nous avons présenté la zone d'étude (bassin versant Isser), et son cadre hydrologique, et enfin une description et application du modèle RNA sur notre bassin versant ou on a pu vérifier la fiabilité du model RNA appliqué sur des bassins méditerranéens semi-arides

Abstract

Hydrological model is an important tool in different fields: construction of hydraulic projects, prevention predetermination of floods, studies of climate change... This work deals with rainfall-runoff modeling applied to ISSER basin following annual step time.

We tried the rainfall-runoff modeling by Artificial Neuronal Network which input parameters are precipitation and ETP and the output parameter is the flow.

Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I: Recherche Bibliographique

Introduction	3
I.1. Propriétés du modèle.....	3
I.2. Classification des modèles	4
I.2.1 Modèle déterministe – stochastique	4
I.2.2 Modèle empirique - ‘boîte noire’ – conceptuel – à base physique.....	4
I.2.3 Modèle continu – événementiel	4
I.2.4 Modèle statique ou dynamique	4
I.2.5 Les modèles physiquement fondés.....	5
I.2.6 Les modèles empiriques	5
I.2.7 Modèle Conceptuel GR.....	5
I.3 Les modèles boîte noire « Réseau de neurone »	11
I.3.1 Principe du neurone artificiel	11
I.3.2 Définition	13
I.3.3 Architecture des réseaux de neurones	13
I.3.4 Les réseaux de neurones statiques.....	13
I.3.5 Les réseaux de neurones bouclés	14
I.4 Critères de validation des modèles	15
I.5. Travaux de Mr Dechmi, Mr Benkaci et Mr Issolah.....	16
I.6. Travaux de Mr El Ghachtoul, Y.Derraz, M.Lek, S.Dimopoulos.....	16
Conclusion.....	17

CHAPITRE II: Présentation de la zone d'étude

Introduction	18
II.1. Situation géographique	18
II.2. Caractéristiques morphométriques du bassin de l'Isser.....	19
II.3. Réseau hydrographique	20
II.4. Végétation.....	22
II.5. Ressources en eaux.....	22
II.5.1. Eaux superficielles	22
II.5.2. Eaux souterraines	22

II.6. Pluviométrie.....	23
II.7. Climatologie	24
II.7.1. Climat.....	24
II.7.2. Température	26
II.7.3. Gelée	26
II.7.4. Sirocco	27
II.7.4. Vents	27
II.7.5. Humidité	27
II.7. Stations hydrométriques	28
Conclusion.....	29

CHAPITRE III:Etudes pluviométrique et Climatique

Introduction	30
III.1. Etude pluviométrique	30
III.1.1. Comblement des lacunes	30
III.1.2. Etude homogénéisation de la serie pluviométrique.....	31
III.1.3. Ajustement des pluies annuelles.....	32
III.2. Etude Climatique.....	35
III.2.1. Calcul de l'Evapotranspiration	35
Conclusion.....	38

CHAPITRE IV:Application du modèle

IV.1. Développement du modèle.....	39
IV.1.1. Choix de l'échantillon	39
IV.1.2. Prétraitement des données	41
IV.1.3. Elaboration de la structure du réseau	41
IV.1.4. Choix du paramètre de la phase d'apprentissage.....	42
IV.1.5. Application du modèle.....	44
IV.2. Résultats et discussions	45
IV.2.1. Le Haut ISSER	45
IV.2.2. Le Moyen ISSER.....	47
IV.2.3. Le Bas ISSER.....	48
Conclusion.....	49
Conclusion générale	50

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1. Valeur des paramètres du modèle GR2M.....	9
Tableau I.2. Valeur des paramètres du modèle GR4J.....	11
Tableau II.1. Répartition altimétrique du bassin versant d'Isser	19
Tableau II.2. Caractéristiques hydrologiques du bassin d'Isser	20
Tableau II.3. Les sous bassin de l'Isser	21
Tableau II.4. Station pluviométrique sur le bassin Isser.....	23
Tableau II.5. Précipitations moyennes interannuelles des stations pluviométriques	24
Tableau II.6. Caractéristiques des stations climatologiques	25
Tableau II.7. Température moyennes des 6 stations climatologiques recueillies	24
Tableau II.8. Nombre de jours de Gelée aux stations de Tablat, BirGhbalou(2006) et Médéa(1996-2008)	26
Tableau II.9. Nombre de jours de Sirocco aux stations de BS1 et Bir Ghbalou 2006	27
Tableau II.10. Vitesse moyennes mensuelles des stations	27
Tableau II.11. Humidité relative des différentes stations climatologiques.....	28
Tableau II.12. Caractéristiques des stations hydrométriques.....	28
Tableau III.1. Caractéristiques de la série.	32
Tableau III.2. Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour	33
Tableau III.3. Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour.	34
Tableau III.4. Récapitulatif de l'ajustement des séries pluviométriques.....	35
Tableau III.5. Stations représentatives.	35
Tableau III.6. ETP Annuelle Haut Isser (en mm/an).....	36
Tableau III.7. ETP Annuelle Moyen Isser (en mm/an)	37
Tableau III.8. ETP Annuelle Moyen ISSER (en mm/an).....	38
Tableau IV.1. Paramètres du modèles RNA utilisés.....	46
Tableau IV.2. Résultats du modèle n°1 appliqué sur le haut ISSER	47
Tableau IV.3. Caractéristiques statistiques de l'échantillon.....	48
Tableau IV.4. Résultats du modèle n°2 appliqué sur le moyen ISSER	49
Tableau IV.5. Caractéristiques statistiques de l'échantillon.....	50
Tableau IV.6. Résultats du modèle n°3 appliqué sur le Bas ISSER.....	50
Tableau IV.7. Caractéristiques statistiques de l'échantillon.....	51

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1. Schéma de la structure du modèle GR2M.....	8
Figure I.2. Schéma de la structure du modèle GR4J.....	10
Figure I.3. Structure des modèles 'boîte noire'	11
Figure I.4. Neurone artificiel.....	12
Figure I.5. Différents types de fonction de transfert pour le neurone artificiel.....	12
Figure I.6. Réseau de neurones statique.....	14
Figure I.7. Réseau de neurone bouclé	14
Figure II.1. Carte du Bassin de L'ISSER.....	18
Figure II.2. Courbe hypsométrique du bassin d'ISSER.....	20
Figure II.3. Carte des sous bassin de l'ISSER.....	21
Figure II.4. Carte d'identification des stations Pluviométriques	23
Figure II.5. Carte d'identification des stations climatologiques	25
Figure II.6. Carte d'identification des stations climatologiques	29
Figure III.1. Ajustement à loi de GUMBEL.....	33
Figure III.2. Ajustement à loi de LOGNORMAL.	34
Figure IV.1. Structure des modèles 'boîte noire'.....	39
Figure IV.2. Carte SB de l'ISSER.....	42
Figure IV.3. Carte Architecture du modèle RNA.	47
Figure IV.4. Débits observés et débits simulés par le modèle N°1	48
Figure IV.5. Débits observés et débits simulés par le modèle N°2.....	49
Figure IV.4. Débits observés et débits simulés par le modèle N°3.....	51

Introduction générale

Introduction générale

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 le modèle de réseaux de neurones (Boite noire) sur le bassin versant d'Oued ISSER. 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.

Introduction Générale

Cette recherche est structurée en quatre chapitres :

Le premier chapitre, donne une recherche bibliographique sur les différents modèles hydrologiques utilisés

Le second chapitre, sera consacré une présentation de la zone d'étude et les différentes données pluviométriques et climatiques du bassin versant de l'isser.

Le troisième chapitre nous procéderons au traitement et exploitation des données du bassin versant d'Oued ISSER.

Enfin, le quatrième chapitre porte sur l'application du modèle réseau de neurones sur les données relatives au bassin versant de l'ISSER

CHAPITRE I

Introduction

Il existe un grand nombre de modèles pluie-débit, qui vont ainsi simuler un débit à l'exutoire d'un bassin versant, en utilisant la précipitation et l'Evapotranspiration potentielle (ETP) comme données d'entrées. Plusieurs auteurs ont proposé une classification :

- Les modèles conceptuels considèrent le bassin versant, comme un ensemble de réservoirs interconnectés.
- Les modèles empiriques de type boîte noire, cherchent à reproduire la dynamique des variables de sortie sans tenter de décrire les processus élémentaires.
- Les modèles distribués à base physique cherchent à décrire l'ensemble des processus élémentaires en tout point du bassin versant.

La notion de modèles physiques est à opposer à celle de modèles conceptuels, ainsi que l'on oppose modèles distribués à modèles global au niveau de la description spatiale du bassin versant.

Il n'y a pas de conflit entre ces différents modèles qui ont été développés à des fins différentes : les modèles physiques et distribués pour une étude plus fine des processus hydrologiques, et les modèles conceptuels pour une détermination des paramètres moyens sur le bassin étudié et des débits à l'exutoire uniquement.

I.1. Propriétés du modèle

La conception des modèles en hydrologie, se base sur des théories scientifiques, ou à partir de certaines expériences réalisées sur le terrain. De ce fait, plusieurs modèles ont été élaborés, dans un contexte théorique ou pratique. On ne peut donc comparer ces divers modèles, sans définir à priori certaines valeurs pertinentes, qui définissent une supériorité remarquable, et une validité suffisante pour un tel modèle.

L'établissement d'une assise de comparaison entre modèles, est défini par certaines qualités qu'on résume en :

Cohérence rationnelle : c'est la première étape de la modélisation, la rationalité scientifique est une exigence de toute recherche scientifique.

Précision du modèle : elle concerne le fonctionnement de ce dernier après ajustement aux données expérimentales.

Simplicité : qualité essentielle de tout modèle, la simplicité concerne l'économie de moyens utilisés, c'est à dire un nombre réduit de variables et de paramètres.

Robustesse : c'est la capacité du modèle à garder une certaine précision, même dans les conditions extrêmes, cette qualité reflète le pouvoir de reproduire les différents cycles hydrologiques, et de simuler certaines valeurs caractéristiques.

Falsifiabilité : concerne la possibilité d'introduire des hypothèses dans un modèle, en le modifiant, et en l'adaptant à de nouvelles exigences, sans altérer sa cohérence hydrologique.

Accessibilité et fiabilité : l'acquisition des données calculées en temps réel, est parfois une nécessité pour l'étude d'un phénomène hydrologique. Dans ce cas, l'accessibilité des données mais aussi leur fiabilité, sont jugées comme critères de comparaison entre divers modèles.

I.2. Classification des modèles

Depuis la première conception de modèles pluie-débit, plusieurs modèles sont apparus, et vu les différents objectifs des modélisateurs, les modèles se sont diversifiés, et la classification des modèles peut se baser sur les différences entre : **Roche P.A. (1988)**

- **Modèle distribué - global**

Cette différence est importante sur le plan pratique, car certains modèles abordent la représentation de certains mécanismes dans leur diversité spatiale. Cette modélisation est motivée par le développement et l'exploitation de nouveaux outils tels que la télédétection et les systèmes d'informations géographiques. Dans ce cas, le modèle permet d'étudier l'impact des changements éco-physiologiques (déforestation), et de prévoir certains phénomènes hydrologiques (tels que les débits), dans un endroit bien précis du bassin. Par opposition à ce type de modèles, les modèles (globaux) qui considèrent le bassin versant comme une entité mathématique, ont été plus exploités, de par leur conception simple, et leur parcimonie, en matière de variables et de paramètres à introduire dans le modèle.

I.2.1. Modèle déterministe – stochastique

Les hydrologues ont souvent classé les différents modèles selon leurs degrés de déterminisme. Un modèle est dit déterministe, si à partir de moyens d'observation, on obtient une adéquation correcte entre le modèle et les observations.

I.2.2. Modèle empirique - 'boîte noire' – conceptuel – à base physique

La nature des relations mathématiques entre les entrées du système et les sorties, entretient souvent une confusion, des lors que la définition de chaque classe de modèle, n'est toujours pas assez bien définie, et la frontière entre chaque modèle est loin d'être nette.

I.2.3. Modèle continu – événementiel

Les processus hydrologiques peuvent intervenir à des échelles temporelles différentes. Lors d'un épisode pluvieux, l'estimation de certaines crues nécessaires au dimensionnement d'ouvrages, se déroule durant les averses.

Nous pouvons cependant dire que les modèles pluie-débit événementiels, calculent les débits de ruissellement plutôt que les débits tout entiers.

I.2.4. Modèle statique ou dynamique

Un modèle est dit statique, si les états du système sont des variables intemporelles, et dit dynamique, si ce sont des processus indexés par le temps.

En vue d'une description cognitive des modèles et d'une classification qu'on juge meilleure, nous proposons la classification suivante :

I.2.5. Modèles physiquement fondés

Sont développés comme une alternative aux modèles conceptuels et globaux, à des fins de recherche parallèlement aux progrès de l'informatique.

D'après leurs concepteurs, ils sont censés rendre compte des problèmes pour lesquels les modèles conceptuels sont à priori jugés inadéquats, tels que la prévision des effets des changements naturels ou anthropiques des caractéristiques du bassin versant ; la variabilité spatiale des entrées et des sorties ; le mouvement des polluants et des sédiments ; la prévision des réponses pour des bassins non jaugés.

Un modèle physique peut être défini comme un modèle dont les relations fonctionnelles sont des équations phénoménologiques basées sur des principes physiques fondamentaux tels que les lois de conservation de la masse, de l'énergie et de la quantité de mouvement **Mouelhi, S., 2003**

Cependant, l'application de ces modèles, trouve leur difficulté dans l'agrégation des paramètres. Les bases physiques de ces modèles, ont été développées à l'échelle microscopique, et dans certaines conditions aux limites telles l'homogénéité et l'isotropie. Leur validation à l'échelle macroscopique (bassin versant) est confrontée à la limite physique de certains paramètres, par exemple, le modèle peut trouver une optimisation dans un domaine où la conductivité hydraulique fait apparaître des valeurs qui n'ont rien en commun avec sa définition usuelle

I.2.6. Modèles empiriques

Dans ces modèles, la transformation pluie-débit se fait non par l'application des lois physiques à un milieu et ses conditions aux limites, mais par l'examen des enregistrements des pluies et des débits.

Ces modèles sont basés sur des informations d'ordre général, que l'on possède sur un grand nombre de bassins versants présentant des caractéristiques similaires au bassin étudié.

La méthode empirique de l'estimation des débits vient d'être fondée, et à partir de multiples travaux plusieurs équations empiriques ont vu le jour pour estimer certains débits caractéristiques d'un bassin.

I.2.7. Modèle Conceptuel GR

La transformation de la pluie en débit est une composante très complexe du cycle hydrologique qui engage différents facteurs à une échelle spatiale et temporelle différente.

C'est dans cette approche, que les modèles conceptuels essayent de représenter le cycle hydrologique par une conceptualisation des différents mécanismes, en introduisant des hypothèses jugées capables de traduire la physique de la relation pluie-débit et reliées dans leur ordre conceptuel logique **Mouelhi, S., 2003**

Ces modèles considèrent le bassin versant comme un assemblage de réservoirs d'humidité interconnectés, et sont censés représenter plusieurs niveaux de stockage suivant une dimension verticale.

En hydrologie, ces modèles sont les plus utilisés, cependant, même s'ils peuvent s'interpréter conceptuellement, les paramètres utilisés sont généralement sans grande signification physique, ni corrélables à des caractéristiques du bassin.

- **Modèles de Génie Rural**

Comme tout modèle hydrologique, les modèles GR opèrent un triple globalisation (triple considération de moyenne) du système bassin versant :

Au niveau des processus : les modèles GR proposent des relations comportementales simples à l'échelle du bassin, mises au point empiriquement et sans liens directs avec la physique des processus à petite échelle et pouvant représenter une moyenne de plusieurs processus ;

Au niveau de l'espace : les modèles GR sont globaux, c'est-à-dire que, tout en reconnaissant l'extraordinaire hétérogénéité de tout bassin versant, ils considèrent le bassin versant comme un tout. C'est le comportement de la moyenne spatiale qui est étudié en priorité ;

Au niveau du temps : les modèles GR ont été développés pour des pas de temps de fonctionnement spécifiques : annuel (GR1A), mensuel (GR2M) et journalier (GR4J). Les différents modèles travaillent donc sur des moyennes temporelles.

La spécificité du pas de temps, bien que souvent négligée, est importante, une même structure de modèle n'étant pas également performante à tous les pas de temps. Globalement, les structures sont d'autant plus simples que le pas de temps est long.

Au cours de leur développement, les modèles GR ont tous été testés sur de larges échantillons de plusieurs centaines de bassins, particulièrement en France mais également aux Etats-Unis, en Australie, au Brésil, au Mexique, en Algérie.

Ces modèles n'ont besoin pour fonctionner que de données continues de pluie et d'évapotranspiration potentielle¹, cette dernière pouvant être une courbe moyenne interannuelle. Les modèles GR ont un faible nombre de paramètres, ce qui permet de limiter les problèmes de surparamétrisation et leur confère une bonne robustesse **Mouelhi, S., 2003**

Les paramètres doivent être déterminés par calage, en minimisant l'erreur du modèle sur une série de débits observés. Lorsque des données de débit ne sont pas disponibles, l'estimation des paramètres peut se faire par des formules régionales liant les valeurs des paramètres à des descripteurs physiques du bassin, par l'utilisation de modèles calés sur des bassins voisins **Mouelhi, S., 2003**

Dans la suite, on désignera par P (mm) la hauteur journalière de pluie, par E (mm) l'évapotranspiration potentielle journalière (ETP) et par Q (mm) le débit simulé (mm). P est une estimation de la pluie de bassin, calculée à partir de l'information pluviométrique disponible.

➤ **Description du 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, 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.

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 s'écrit: (Mouelhi, et al 2003,2006)

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

Où X est l'unique paramètre du modèle 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].

➤ **Description du 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. Ses applications dans le domaine des ressources en eau et des étiages.

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 (Mouelhi, et al, 2006)

Un schéma de la structure est donné à la Figure 1. P_k est la pluie mensuelle du mois k et E l'évapotranspiration potentielle moyenne pour le même mois calendaire. Les équations qui régissent le modèle sont les suivantes :

• **Production**

La fonction de production du modèle repose sur un réservoir de suivi d'humidité du sol. Une partie P_s de la pluie P_k va être ajoutée au contenu S_k dans le réservoir en début de pas de temps :

$$P_s = \frac{X_1 \left(1 - \left(\frac{S_k}{X_1}\right)^2\right) \tanh\left(\frac{P_k}{X_1}\right)}{1 + \frac{S_1}{X_1} \tanh\left(\frac{P_k}{X_1}\right)} \dots\dots\dots(2)$$

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

$$P_1 = P - P'_s$$

Et le contenu du réservoir est actualisé :

$$S' = S_k + P_s$$

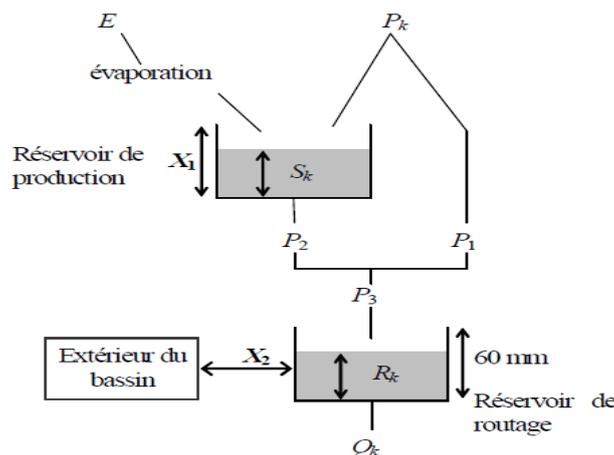


Figure I.1. Schéma de la structure du modèle GR2M

Du fait de l'évapotranspiration, une quantité E_s est prélevée du réservoir :

$$E_s = \frac{S' \left(2 - \frac{S'}{X_1}\right) \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right)}{1 + \left(1 - \frac{S'}{X_1}\right) \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right)} \dots\dots\dots(3)$$

E est l'évapotranspiration potentielle moyenne du mois calendaire considéré. Le niveau S' devient S'' :

$$S'' = S' - E_s \dots\dots\dots(4)$$

• **Percolation**

Le réservoir de suivi d'humidité du sol se vidange ensuite selon une percolation P_2 :

$$P_2 = S'' \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{S''}{X_1} \right)^3 \right]^{-\frac{1}{3}} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

Et son niveau S_{k+1} , prêt pour les calculs du mois suivant, est alors donné par:

$$S_{k+1} = S'' - P_2$$

• **Routage et échange avec l'extérieur non atmosphérique**

La quantité d'eau totale P_3 qui atteint le réservoir de routage est donnée par:

$$P_3 = P_1 + P_2 \dots\dots\dots(6)$$

Le niveau R_k dans le réservoir devient alors R' :

$$R' = P_3 + R_k \dots\dots\dots(7)$$

Un terme d'échange en eau souterrain F a été imposé par les données des nombreux bassins utilisés. Ignorer cette ouverture sur l'extérieur non atmosphérique conduit à une baisse considérable de l'efficacité du modèle. F est alors calculé par :

$$F = (X_2 - 1).R' \dots\dots\dots(8)$$

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

$$R'' = R' . X_2 \dots\dots\dots(9)$$

Le réservoir, de capacité fixe égale à 60 mm, se vidange pour donner le débit Q_k selon l'équation suivante

$$Q_k = \frac{R''^2}{R''+60} \dots\dots\dots(10)$$

Le contenu du réservoir est enfin actualisé par :

$$R_{k+1} = R'' - Q_k \dots\dots\dots(11)$$

Le modèle a deux paramètres optimisables :

X1 : capacité du réservoir de production (mm)

X2 : coefficient d'échanges souterrains

Sur un large échantillon de bassins versants, on obtient les valeurs données dans le Tableau (I.1).

Tableau I.1. Valeur des paramètres du modèle GR2M obtenues sur un large échantillon de bassins versants

Paramètres	Médiane	Intervalle de confiance à 90%
X1	380	140 – 2640
X2	0.92	0.21 – 1.32

➤ Description du 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.

Un schéma de la structure est donné à la Figure I.2. P_k est la pluie journalière du jour k et E l'évapotranspiration potentielle moyenne pour le même jour calendaire [7] Perrin, C., Michel, C. et Andréassian, V., 2003

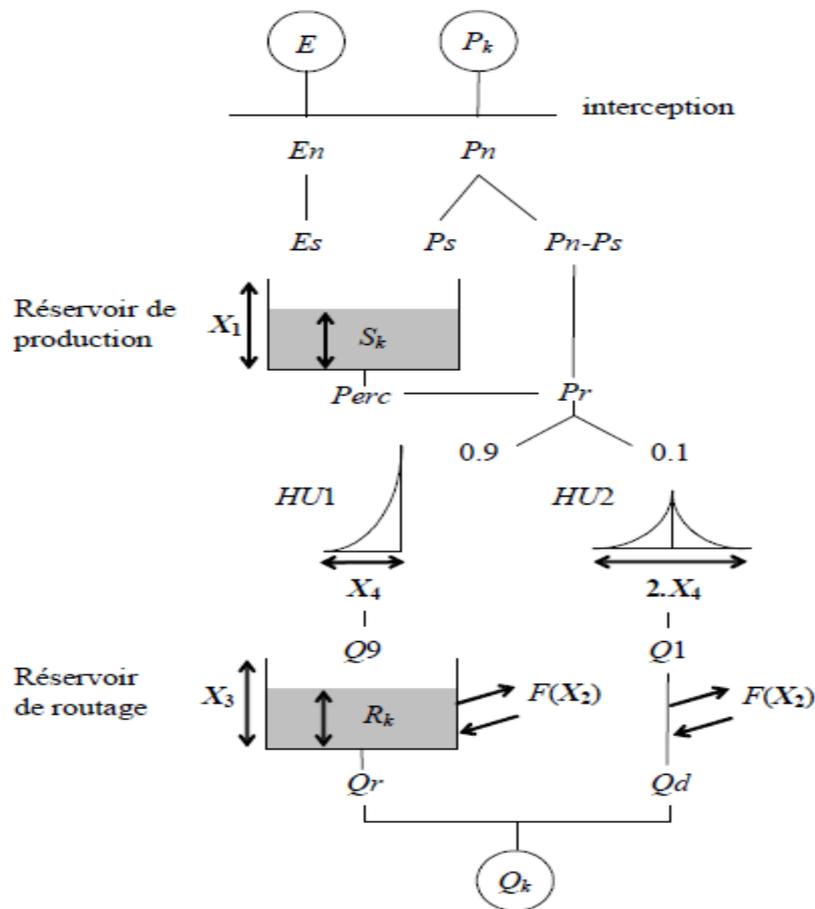


Figure I.2. Schéma de la structure du modèle GR4J

Le modèle GR4J ne comporte que quatre paramètres à caler:

X1: capacité du réservoir de production (mm)

X2: coefficient d'échanges souterrains (mm)

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 (I.2).

Tableau I.2. 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 (mm)	0	-5 à 3
X3 (mm)	90	20 à 300
X4 (jours)	1.7	1.1 à 2.9

I.3. Modèles boîte noire « Réseau de neurone »

Vu la complexité du système pluie-débit, certains hydrologues ont pu modéliser la relation pluie-débit par une formulation mathématique plus ou moins complexe. Dans ce cas les bassins versants sont considérés comme des « boîtes noire » ou ce qu'on appelle réseau de neurone, qui essaye de représenter théoriquement le prototype hydrologique (Figure I.3).

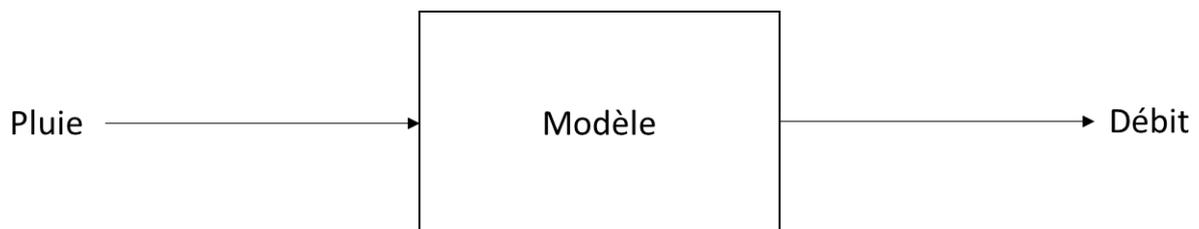


Figure I.3. Structure des modèles 'boîte noire'

I.3.1. Principe du neurone artificiel

Chaque neurone artificiel est un processeur élémentaire. Il reçoit un nombre variable d'entrées en provenance de neurones en amont ou des capteurs composant la machine dont il fait partie. A chacune de ses entrées est associé un poids représentatif de la force de la connexion. Chaque processeur élémentaire est doté d'une sortie unique, qui se ramifie ensuite pour alimenter un nombre variable de neurones en aval. A chaque connexion est associé un poids. Il est commode de représenter graphiquement un neurone comme indiqué sur la figure (I.4). (Mc Culloch et al, 2003)

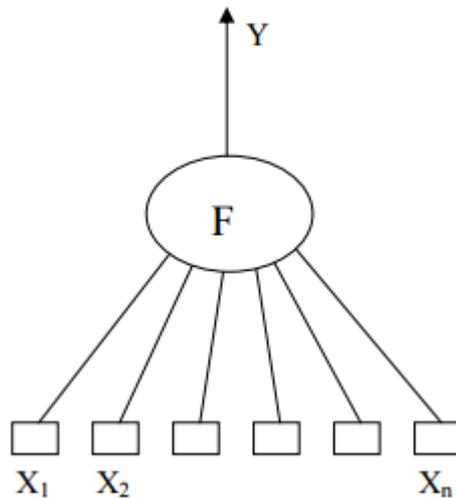


Figure I.4. Neurone artificiel.

Le neurone réalise alors trois opérations sur ses entrées :

- Pondération : multiplication de chaque entrée par un paramètre appelé poids de connexion,
- Sommation : une sommation des entrées pondérées est effectuée
- Activation : passage de cette somme dans une fonction, appelée fonction d'activation. La valeur calculée est la sortie du neurone qui est transmise aux neurones suivants.

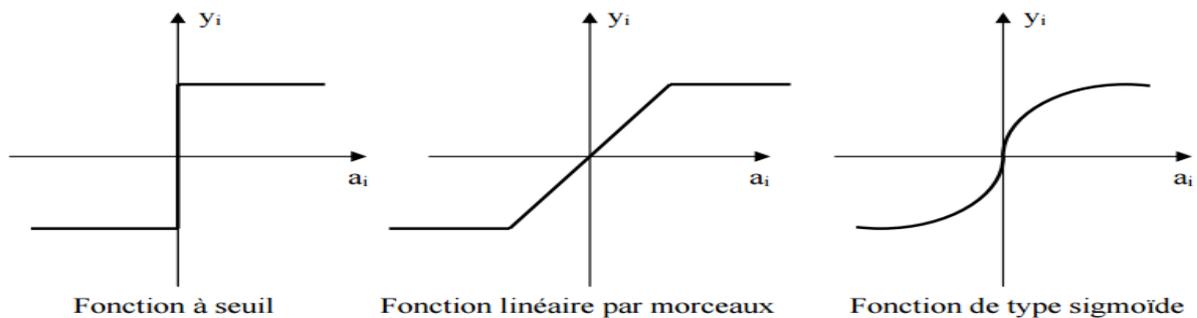


Figure I.5. Différents types de fonction de transfert pour le neurone artificiel

La fonction f est appelée fonction d'activation (figure I.5). Elle peut être une fonction à seuil, une fonction linéaire ou non linéaire. La fonction sigmoïde se présente comme une approximation continûment dérivable de la fonction d'activation linéaire par morceaux ou de la fonction seuil. Elle présente l'avantage d'être régulière, monotone, continûment dérivable, et bornée entre 0 et 1 :

$$f(x) = \frac{1}{1+\exp(-x)} \dots\dots\dots(12)$$

I.3.2. Définition

Un réseau de neurones peut être considéré comme un modèle mathématique de traitement réparti, composé de plusieurs éléments de calcul non linéaire (neurones), opérant en parallèle et connectés entre eux par des poids. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit.

L'information dans le réseau se propage d'une couche à l'autre, on dit qu'ils sont de type « feed-forward ». Nous distinguons trois types de couches :

- **Couche d'entrée** : les neurones de cette couche reçoivent les valeurs d'entrée du réseau et les transmettent aux neurones cachés. Chaque neurone reçoit une valeur, il ne fait pas donc de sommation ;
- **Couches cachées** : chaque neurone de cette couche reçoit l'information de plusieurs couches précédentes, effectue la sommation pondérée par les poids, puis la transforme selon sa fonction d'activation qui est en général une fonction sigmoïde, c'est la plus adaptée au modèle hydrologique. Par la suite, il envoie cette réponse aux neurones de la couche suivante ;
- **Couche de sortie** : elle joue le même rôle que les couches cachées, la seule différence entre ces deux types de couches est que la sortie des neurones de la couche de sortie n'est liée à aucun autre neurone.

I.3.3. Architecture des réseaux de neurones

On distingue deux structures de réseau, en fonction du graphe de leurs connexions, c'est-à-dire du graphe dont les noeuds sont les neurones et les arêtes les « connexions » entre ceux-ci :

- Les réseaux de neurones statiques (non bouclés).
- Les réseaux de neurones dynamiques (bouclés).

I.3.4. Les réseaux de neurones statiques

Un réseau de neurones non bouclé réalise une (ou plusieurs) fonction algébrique de ses entrées par composition des fonctions réalisées par chacun de ses neurones. Dans un tel réseau (figure 1.6), le flux d'information circule des entrées vers les sorties sans retour en arrière.

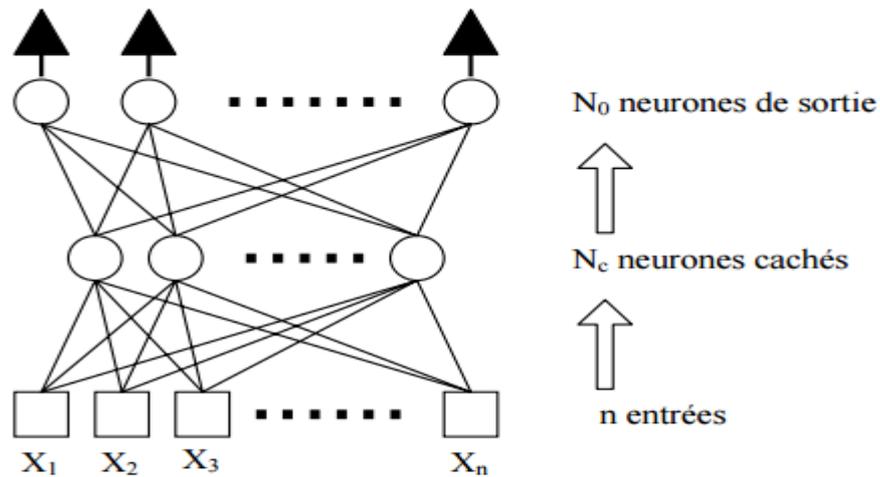


Figure I.6. Réseau de neurones statique

I.3.5 Les réseaux de neurones bouclés

L'architecture la plus générale pour un réseau de neurones est le « réseau bouclé », dont le graphe des connexions est cyclique : lorsqu'on se déplace dans le réseau en suivant le sens des connexions, il est possible de trouver au moins un chemin qui revient à son point de départ (un tel chemin est désigné sous le terme de « cycle »). La sortie d'un neurone du réseau peut donc être fonction d'elle-même ; cela n'est évidemment concevable que si la notion de temps est explicitement prise en considération.

Ainsi, à chaque connexion d'un réseau de neurones bouclé (ou à chaque arête de son graphe) est attaché, outre un poids comme pour les réseaux non bouclés. Pour éliminer le problème de la détermination de l'état du réseau par bouclage, on introduit sur chaque connexion « en retour » un retard qui permet de conserver le mode de fonctionnement séquentiel du réseau (figure 1.7).

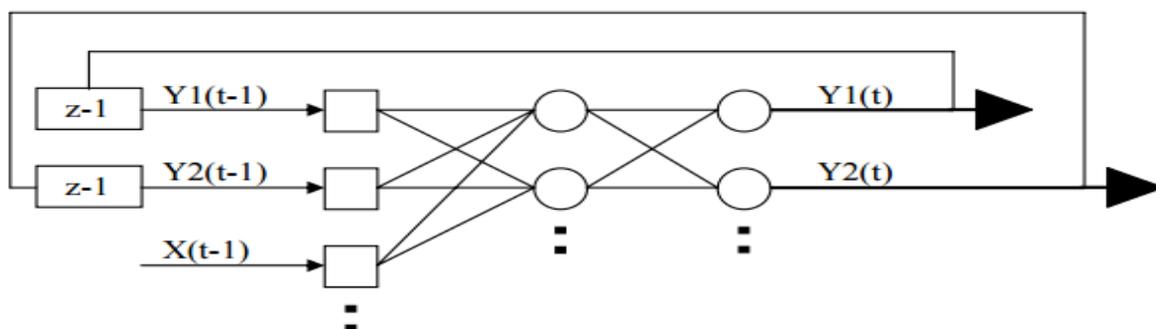


Figure I.7. Réseau de neurone bouclé

I.4. Critères de validation des modèles

La validation du modèle est définie par une fonction critère, qui mesure la part de la variance des débits observés expliquée par la simulation pluie-débit.

Critère de Nash (E) Ce critère adimensionnel a été proposé par Nash & Sutcliffe (1970); il est défini par:

$$E = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}'_i)^2} \right] \cdot 100 \dots\dots\dots (13)$$

où Q_i et Q'_i sont respectivement les débits observé et calculé durant la période de calage; et \bar{Q}'_i est la moyenne des débits observés en calage.

Si $E = 100\%$, l’ajustement est parfait, par contre si $E < 0$, le débit calculé par le modèle est une plus mauvaise estimation que le simple débit moyen.

Rapport des débits maximaux (I) C’est un indice qui permet de juger de la capacité du modèle à reproduire les débits de pointe observés au cours des périodes de calage et de validation. Ce rapport est calculé par :

$$I = \frac{Q_{sim \max}}{Q_{obs \max}} \dots\dots\dots (14)$$

Où : Q_{sim} et Q_{obs} sont les débits simulé et observé par le modèle. Si cet indice est égal à l’unité, la reproduction du débit maximal journalier observé est très bonne.

L’erreur moyenne des carrés MSE (Mean Squared Error) :

Elle est calculée par la relation suivante :

$$MSE = \sum_{i=1}^N (Q_{ti} - Q'_{ti})^2 / N \dots\dots\dots (15)$$

Le coefficient de détermination R^2

Il est calculé par la relation suivante

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{ti} - Q'_{ti})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{ti} - Q''_{ti})^2} \dots\dots\dots (16)$$

Ou : Q_{ti} est la valeur mesuré du débit,

Q'_{ti} est le débit calculé par le modèle,

Q''_{ti} est le débit moyen mesuré et N est le nombre de données de l’ensemble de calage.

La valeur de MSE donne une indication sur l'erreur de prévision obtenue lors de la phase de test de la modélisation et R^2 montre la variation de la valeur du débit calculé ou estimé par le modèle de la régression linéaire. Les valeurs idéales pour MSE sont égales à 0 et R peut correspondre à 1.

Calage des modèles Le calage est une étape essentielle dans la modélisation conceptuelle, il permet l'estimation des paramètres du modèle pour le bassin étudié.

I.5 Différent travaux sur les réseaux de neurones

I.5.1 Travaux de Mr Dechmi, Mr Benkaci et Mr Issolah

Ils ont travaillé sur la modélisation des débits mensuels par les modèles conceptuels et les systèmes neuro-flous sur le bassin de la Cheffia (Nord-Est Algérien) (**Dechemi, et al, 2003**)

Les modèles conceptuels mensuels utilisés sont les modèles de Thornthwaite et Arnell et le modèle GR2M, ainsi que deux modèles représentés par les réseaux de neurones à apprentissage supervisé et le modèle neuro-flou qui combine une méthode d'optimisation neuronale et une logique floue.

Les modèles conceptuels mensuels utilisés sont les modèles de Thornthwaite et Arnell et le modèle GR2M, ainsi que deux modèles représentés par les réseaux de neurones à apprentissage supervisé et le modèle neuro-flou qui combine une méthode d'optimisation neuronale et une logique floue.

Pour le modèle neuronal, l'essai de la méthode d'apprentissage en bloc des données au pas de temps mensuel, n'a pas atteint les objectifs attendus, les débits sont mal simulés et les résultats confirment son incompatibilité dans la modélisation des débits en temps réel.

I.5.2 Travaux de Mr El Ghachtoul, Y.Derraz, M.Lek, S.Dimopoulos

Ils ont travaillé sur la Modélisation de la relation pluie-débit à l'aide des réseaux de neurones artificiels dans l'Oued Beth qui se situe dans le bassin de Sebou, l'un des plus importants bassins marocains.

Pour le Modèle réseau de neurones artificielles Les résultats présentés dans cet article indiquent clairement que les réseaux de neurones artificiels peuvent apporter des réponses satisfaisantes pour la prédiction des relations pluie et débit dans une grande variété de configurations (données journalières pour la prévision « à l'instant », hebdomadaires pour la prévision à « un pas » ou « multipas ») et dans des zones climatiques aride ou semi-aride (le bassin de l'oued Beth) dont les pluies et les débits sont très irréguliers . Par rapport à des méthodes plus classiques, on constate que les réseaux de neurones possèdent un meilleur pouvoir prévisionnel (**El Ghachtoul et al, 1996**).

Conclusion

Les progrès informatiques ont permis un développement important de la modélisation en hydrologie. De ce fait, il existe un très grand nombre de modèles variés, simples ou complexes, qui dépendent de l'utilisateur et des questions auxquelles ils cherchent à répondre (prédiction de crues, simulation d'ouvrage, gestion de la ressource en eau, aménagement des bassins versants...).

Les modèles font intervenir un certain nombre de paramètres. Pour les ajuster à un bassin versant donné, il est nécessaire de disposer d'une série de précipitations, d'une série d'évaporation et d'une série de débits à l'exutoire afin de pouvoir utiliser le modèle. Ces trois séries de données doivent impérativement être disponibles sur la même période d'observation.

Un modèle hydrologique peut être défini comme une représentation simplifiée d'une réalité physique.

En hydrologie, la modélisation concerne généralement la relation pluie-débit c'est-à-dire que les modèles utilisent la pluie comme variable d'entrée et calculent un hydrogramme en sortie du bassin.

Après cette étude des modèles, notre choix porte sur un modèle hydrologique : c'est le modèle des réseaux de neurones (boîte noire).

CHAPITRE II

Introduction

Dans cette partie nous présentons la zone de notre étude des points de vue géographique, topographique, climatique et hydraulique.

II.1. Situation géographique

Le bassin d'ISSER est situé au centre nord de l'Algérie, à 70 km au sud-est d'Alger. Il couvre une superficie de 4149 Km², soit 8.72% de la superficie totale du bassin Algérois Honda Soummam. Il présente sensiblement la forme d'un quadrilatère d'orientation Sud-Ouest /Nord-Est.

Il est limité : (Figures II.1)

- A l'Est, par le bassin de la Soummam ;
- Au Sud, par le bassin du Honda ;
- A l'Ouest, et au Nord par le bassin du Côtier Algérois.
- A l'Ouest le bassin de Cheliff

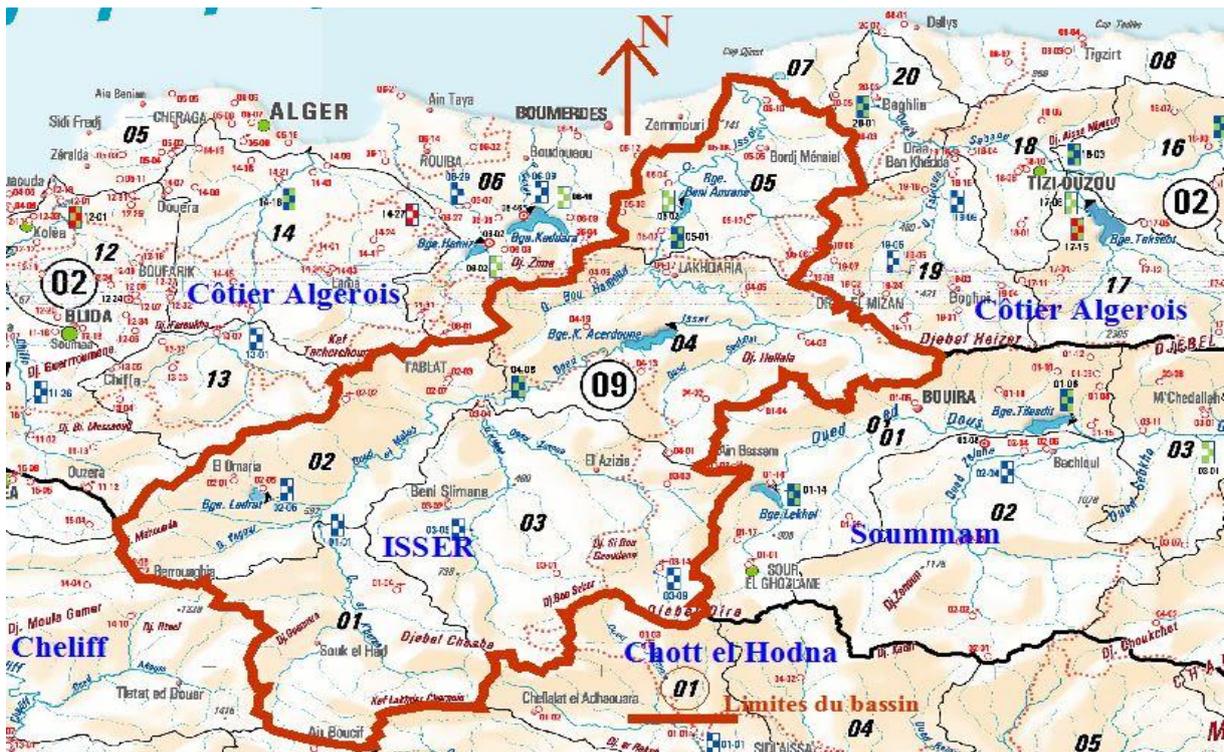


Figure II.1. Carte du Bassin de L'ISSER

Le cadre géographique dans lequel se développe le bassin versant est constitué de l'atlas Tellien algérois au nord qui culmine à 1130 m au Djebel Tamesguida et de la chaîne des Bibans au Sud qui culmine à 1810 m au Djebel Dira. Ces deux chaînes sont séparées par la plaine des Ariba d'altitude 550 m.

Le bassin versant de l'oued ISSER dont les lignes de crête se situent entre 90 et 1810m à une altitude moyenne de 710 m le cours d'eau principal parcourt une distance de 98.2 Km.

En relation avec le contexte géologique et structural, on distingue le Haut et Moyen Isser d'une part, et le Bas Isser d'autre part.

Le bassin de l'Isser couvre en partie quatre wilayas : Médéa, Bouira, Boumerdes et TiziOuzou et comptabilise 50 communes et 114 agglomérations avec une population totale estimée, en l'an 2030, à 812291 habitants.

II.2. Caractéristiques morpho métriques du Bassin de l'Isser

Le bassin versant d'Isser est formé essentiellement des cinq sous-bassins. Afin de mieux étudier la particularité du relief du bassin et pour mieux comprendre le comportement hydrologique du bassin versant, il est impératif de connaître ses caractéristiques morphométriques (forme, altitude, pente...) qui expliquent le cycle de transformation des pluies en écoulement et s'approprient à une analyse quantifiée.

Les caractéristiques du bassin de l'Isser sont résumées comme suit :

Le tableau II.1 présente la répartition altimétrique du BV de l'Isser

- Courbe hypsométrique

Tableau II.1. Répartition altimétrique du bassin versant d'Isser

Tranches d'Altitudes (m)	Moyennes (m)	Superficies partielles		
		km ²	%	% cumulés
1600-1800	1700	2,63	0,06	0
1400-1600	1500	6,38	0,16	0,06
1200-1400	1300	80,02	1,94	0,22
1000-1200	1100	270,18	6,56	2,16
800-1000	900	823,2	20	8,73
600-800	700	1267,2	30,79	28,73
400-600	500	910,2	22,11	59,51
200-400	300	370,15	8,99	81,63
0-200	100	386,04	9,38	90,62
Totaux		4116	100	100

Source : ANRH Alger 2014

La figure II.2 représente la courbe hypsométrique du BV de l'ISSER

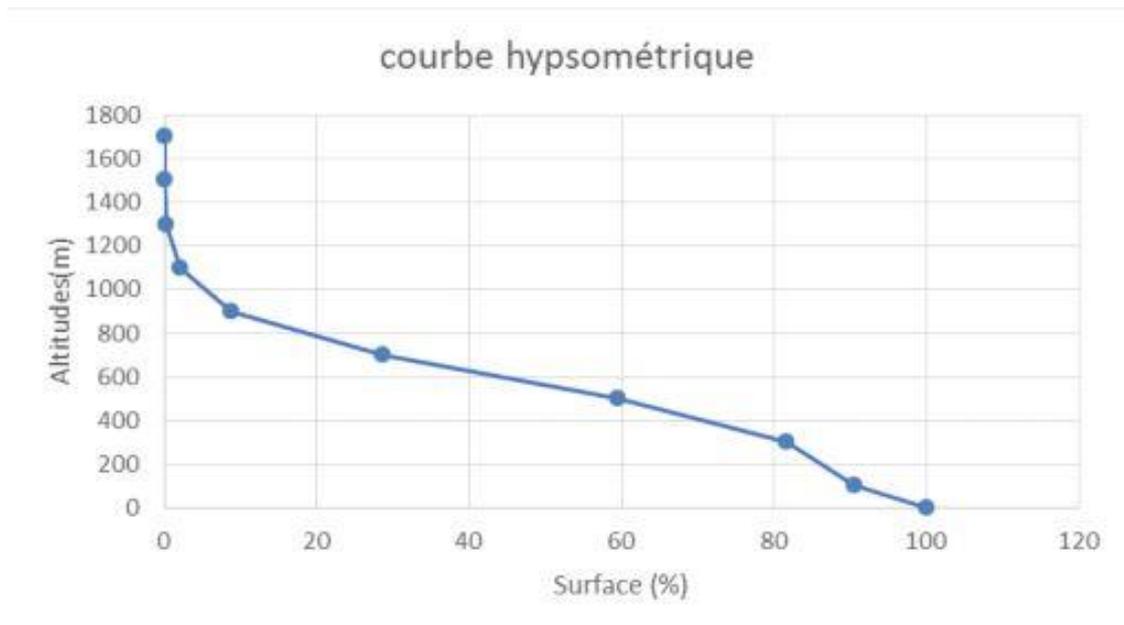


Figure II.2. Courbe hypsométrique du bassin d'Isser

H95%= 25 m ; H5%=1000 m

Tableau II.2. Caractéristiques hydrologiques du bassin d'Isser

Caractéristiques	Bassin Isser
A(Km ²)	4119,08
P(km)	416,15
Kc	1,816
L(km)	185,92
Altitude maximale (m)	1802
Altitude minimale (m)	0
Altitude moyenne (m)	659,9
Ig (m/km)	4,95
Dg (km/km ²)	0,64
Tc (heures)	24,4

Source : ANRH Alger 2014

II.3. Réseau Hydrographique

Les caractéristiques géomorphologiques du bassin Isser ont conduit à la formation d'un réseau hydrographique dense dont la mer Méditerranée constitue l'exutoire. Il draine les apports de 05 sous bassins (figure II.3) présentés dans le tableau II.1.

Tableau II.3 Sous bassin de l'ISSER (ANRH, 2008)

Code	Sous bassin	Superficie (km ²)
0901	OUED MELAH KHERZA	666
0902	OUED MELAH YAGOUR	774
0903	OUED ZEROUA	1132
0904	OUED ISSER MOYEN	1031
0905	OUED ISSER MARITIME	546
Total	05	4149

Source :ANRH, 2008



Figure II.3. Carte des sous bassin de L'ISSER

Du point de vue géologie, cette zone est constituée de plusieurs structures tectoniques, qui se répartissent du nord au Sud comme suit :

- Au Nord, dans le massif Kabyle, les époinçements de roches du socle métamorphique recouverts par une nappe allochtone de flyschs crétacés et paléogènes.
- Au Sud dans les limites des sous zones de la chaîne calcaire et des nappes de flysch.

La structure géologique de la région d'étude est marquée par la présence de terrains métamorphiques précambriens.

I.4. Végétation

Le haut ISSER : La caractéristique la plus apparente en étudiant le bassin est l'absence d'une couverture végétale arbustive dense, ce qui favorise le phénomène de l'érosion.

Le moyen ISSER : Les cultures annuelles occupent la quasi-totalité des terres agricoles de moyen ISSER. Les plaines, tout en long d'Oued ISSER sont couvertes des cultures maraîchères et d'arboricultures fruitières. Les collines sont occupées par la céréaliculture et l'arboriculture.

Le bas ISSER : Le même problème de végétation arbustive se rencontre dans le bas ISSER. Les cultures annuelles dominent la majeure partie basse du bassin à savoir l'arboriculture fruitière, fourragère et aussi céréalicultures qui occupent les plaines.

I.5. Ressources en eaux

I.5.1.Eaux superficielles

La lame d'eau moyenne annuelle pour toute la surface du bassin est estimée à 165 mm donnant un potentiel en eau superficielle de 729 Mm³, soit 17% des potentialités du bassin Algérois-Hodna-Soummam. (ANRH, 2008)

Barrages Opérationnels

- Barrage Beni Amrane : C'est un ouvrage de prise implanté sur l'oued ISSER, avec une capacité actuellement de 6 Hm³. Les apports de l'oued ISSER sont estimés à 414 Hm³ pour une superficie du bassin versant de 3710 km². (ANBT, 2003)
- Barrage Ladrat : Le barrage Ladrat est implanté sur l'oued Ladrat dont les apports au droit du barrage sont estimés à 8 Hm³ pour une superficie drainée de 73 km². D'une capacité actuelle de 9 Hm³, ce barrage est destiné à l'irrigation du périmètre de Ladrat. (ANBT 2003=
- Barrage KoudiatAcerdoune : La mise en eau de ce barrage a été faite en 2009. Il est destiné à l'alimentation en eau potable de 14 centres urbains et 34 localités à travers le territoire des wilayas : BouiraTiziOuzou, Médéa et M'sila et à l'irrigation du périmètre de la Mitidja Centre et Est.(ANBT, 2003)

II.5.2.Eaux souterraines

Description hydrogéologique du bassin d'ISSER

Les principales unités hydrogéologiques qui constituent le bassin versant de l'ISSER peuvent être présentées de la manière suivante :

- Unité hydrogéologique du haut et moyen ISSER.
- Unité hydrogéologique du bas ISSER
- Unité hydrogéologique de la plaine des Arribs
- Unité hydrogéologique de l'oued Mellah

Les potentialités en eaux superficielles et souterraines dans le bassin de ISSER sont évaluées respectivement à 729 Hm³ et 210.2 Hm³, totalisant un volume d'eau annuel de 750.2 Hm³. (DHW 2009, ANRH, ANBT)

II.6.Pluviométrie

II.6.1. Identification des stations pluviométriques

Nous avons récupéré les précipitations de 7 stations pluviométriques dans l'ISSER (figure II.4) pour une période d'observation s'étalant de 1973 à 2013 dans le bassin de l'ISSER, leur identification est donnée dans le Tableau II.4.

Tableau II.4. Stations pluviométriques sur le bassin ISSER (ANRH, 2008)

N°	Station	Code	X (m)	Y (m)	Z(m)	Equipement
1	TablatDrs	90203	527714.17	4029242.46	450	PV
2	El Omaria	90201	503114.41	4012718.37	790	PV+PG
3	Djouab	90301	539821.47	3998956.07	825	PV
4	Djebahia	90403	568678.96	4036824.15	410	PV
5	Souagui	90104	548950	312400	810	PV
6	Beni Slimane	90302	557200	322650	600	PV+PG
7	Lakhdaria Gorge	90502	579300	370000	50	PV+PG



Figure II.4. Carte d'identification des stations Pluviométriques

Les pluies moyennes interannuelles des les différentes stations pluviométriques recueillies sont présentées dans le Tableau II.5.

Tableau II.5. Précipitations moyennes interannuelles des stations pluviométriques

Nom station	Précipitations moyennes interannuelles (mm)
TablatDrs	580.44
El Omaria	447.78
Djouab	535.07
Djebahia	593.5
Souagui	346.37
Beni Slimane	380.50
Lakhdaria Gorge	703.48

Source : ANRH,2016

II.7. Climatologie

II.7.1. climat

Le bassin est soumis à un climat méditerranéen intermédiaire, entre le climat tellien de montagne pluvieux et à l'amplitude thermique faible, avec des chutes de neiges et le climat tellien de plaine plus sec relativement chaud et présentant des forts écarts de température. On peut distinguer deux principaux régimes pluvieux :

- Le régime méditerranéen est le régime le plus important, il s'étale d'octobre à mai. Son efficacité se fait sentir entre octobre et mars. Les précipitations d'origine cyclonique représentent 60% environ du total annuel dont une partie non négligeable provient des pluies orageuses (dues à la proximité de la mer) ou de l'effet orographique.
- Le régime subtropical se caractérise par des pluies qui se manifestent le plus souvent en été ou à la fin du printemps (ZEGGANE, 2005)

Les données climatologiques de 6 stations ont été recueillies auprès de l'ONM, elles se trouvent aux périphéries de l'ISSER, leurs positions géographiques par rapport au bassin d'étude est illustrée dans la figure II.5.



Figure II.5. Carte d'identification des stations climatiques

Les caractéristiques des stations climatiques recueillies sont données dans le tableau II.6.

Tableau II.6. Caractéristiques des stations climatiques

Nom station	coordonnées			Période d'observation
	Altitude	Latitude	Longitude	
Médéa	1030 m	36°17 N	02°44 E	1996-2008
Dellys	8 m	36°55 N	03°57 E	1995-2004
Dar el Beida	25 m	36°41 N	03°13 E	1995-2004
Bouira	8 m	36°55 N	03°57 E	1995-2004
Tiziouzou	188 m	36°42 N	04°03 E	1995-2004

Source :(ONM, 2016)

II.7.2. Température

Le Bassin versant de l'oued ISSER est caractérisé par une température relativement douce d'octobre au mois d'avril et chaude de Mai à Septembre. Les températures moyennes dans les différentes stations climatologiques sur leurs périodes d'observation (tableau II.6) sont présentées dans le tableau II.7.

Tableau II.7. Température moyennes des 6 stations climatologiques recueillies

Tempéra /mois	Jan	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuel
T(°C) Médéa	6.9	7.4	10.4	12.6	17.1	23.1	26.4	26.0	21.2	17.2	10.4	7.2	15.5
T(°C) Délyys	13,1	13	14,1	15,6	18,2	21,6	24,2	25,7	23,2	20,9	16,5	14,1	17,8
T(°) Dar el Beida	11,7	11,5	13,5	15,2	18,7	22,8	25,2	26,5	23,7	20,4	15,4	12,7	18,1
T(°C) Tiziouzu	10,6	11,0	14,5	16,0	19,8	25,6	29,1	29,2	25,1	21,3	15,5	12	19,1
T(°C) Bouira	8,9	12,3	12,3	14,1	18,8	24,4	27,5	27,7	*	19,2	13,5	9,9	16,7

Source : ONM Alger, 2016

Au vu du tableau II.7, la température moyenne annuelle pour la période 1995-2008 oscille entre 17 à 19°C pour les stations qui se trouvent à l'intérieur et aux périphéries du BV de ISSER. Il n'y a pas eu de grande variation de températures qui dépassent les un (1) °C.

II.7.3. Gelée

Les gelées enregistrées des mois de novembre à mai. Le nombre moyen de jour par mois enregistré aux stations de Tablat, Médéa et BirGhbalou est donnée dans le tableau II.8 :

Tableau II.8. Nombre de jours de Gelée aux stations de Tablat, BirGhbalou(2006) et Médéa (1996-2008)

Station	ALT (m)	Jan	Fev	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
TABLAT	450	5	6	3	3	1	0	0	0	0	0	1	3	22
BirGhbalou	624	11	11	6	4	4	1	0	0	0	0	3	4	43
Médéa	1030	9	6	3	1	0	0	0	0	0	0	2	4	24

Source : ANRH 2008, ONM 2016

II.7.4. Sirocco

Les vents chargés d'humidité sont de direction Nord-Sud à Nord-Ouest Sud-Est alors que les vents desséchant sont de direction Sud-Nord. Le sirocco souffle sur tout le bassin, le nombre moyen de jour de sirocco par an enregistré à la station de Beni Slimane et BirGhbalou est Donnée par le tableau II.9.

Tableau II.9. Nombre de jours de Sirocco aux stations de BS 21 et BirGhbalou 2006

Station	Janv	Fev	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Annuel
Beni Slimane	0	0	0	1	2	5	6	8	3	0	0	25
BirGhbalou	0	0	0	1	1	2	5	4	3	1	1	18

Source : ANRH, 2008

II.7.5. Vents

Les données des vitesses des vents récupérées au niveau de l'ONM représentent la vitesse moyenne mensuelle des vents pour la station Médéa pour la période 1996-2008, et les stations Dar el Beida et Dellys pour les périodes d'observation 1995-2004 les données sont mises dans le tableau II.10.

Tableau II.10. Vitesse moyennes Mensuelles des stations

Année	Jan	Fev	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
Médéa	3.3	3.2	3.4	3.7	3.2	3.2	2.8	2.7	3.0	3.0	3.5	3.5	3.2
Dar el Beida	2.5	2.1	2.2	2.7	2.7	2.7	2.4	2.4	2.4	1.9	2.5	2.6	2.4
Dellys	3.4	3.4	3	3.5	2.9	2.7	2.7	2.6	2.8	2.6	3.5	4.1	3.1

Source : ONM (ALGER, 2016)

A la lecture des valeurs des vitesses des vents, Nous remarquons que c'est très peu fréquent que les vitesses dépassent les 4 m/s. Et moyenne annuelle tourne autour de 2.5 à 4 m/s.

II.7.6. Humidité

L'examen de l'humidité relative pour les données de l'ONM montre que celle-ci ne descend pas au-dessous de 45%. Ces valeurs peuvent être légèrement différentes d'une station à une autre.

Les plus fortes valeurs de l'humidité s'expliquent par l'effet de température qui est plus élevé durant cette saison, à partir d'une coupe allant de Bousmail-Blida-Chréa-Médéa et Djelfa, nous confirmons que l'humidité relative ne descend jamais en dessous de 50% (en moyenne annuelle).

Le tableau II.11 présente l'humidité relative moyenne interannuelle des différentes stations climatologiques sur leurs périodes d'observations (tableau II.6).

Tableau II.11. Humidité relative des différentes stations climatologiques

Mois/ humidités (%)	Jan	Fev	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
Médéa	80	78	72	71	67	54	47	51	63	69	80	83	68
Dar el Beida	78	80,5	76,4	75	76,1	70,7	69,9	69,6	71,7	74,3	77,6	78	74,9
Dellyes	72,2	74,2	74,7	72	76	78,6	77,1	76	75	74	72,2	69,5	74,5
TiziOuzou	80,3	77,7	77,3	72,3	71	58,1	53	53	62,4	67,4	75	79	68,9

Source : ONM (ALGER, 2016)

A la lecture des valeurs de l'humidité relative des stations ONM, les trois stations qui se trouvent dans la périphérie du BV de ISSER ont une l'humidité relative moyenne annuelle varie entre 68 et 75%, ce qui peut nous amener à dire que l'humidité relative est assez élevée dans cette région et sur l'année, c'est rare de mesurer des valeurs inférieures à 60%.

II.8. Stations hydrométriques

On a pu récupérer les données hydrométriques (Débits) de 6 stations hydrométriques au niveau du bassin de l'ISSER

L'identification est donnée dans le tableau II.12

Tableau II.12. Caractéristiques des stations hydrométriques

Station	Code	Durée d'observation
B.Slimane	090305	1985-2015
Dechmia	090309	1972-1985
Kader	090205	1988-2001
La traïlle	090408	1970-1985
Lakhdaria	090501	1986-2015
Mezahim	090101	1984-2010

La figure II.6 montre la répartition des stations hydrométriques sur le bassin versant de l'Isser

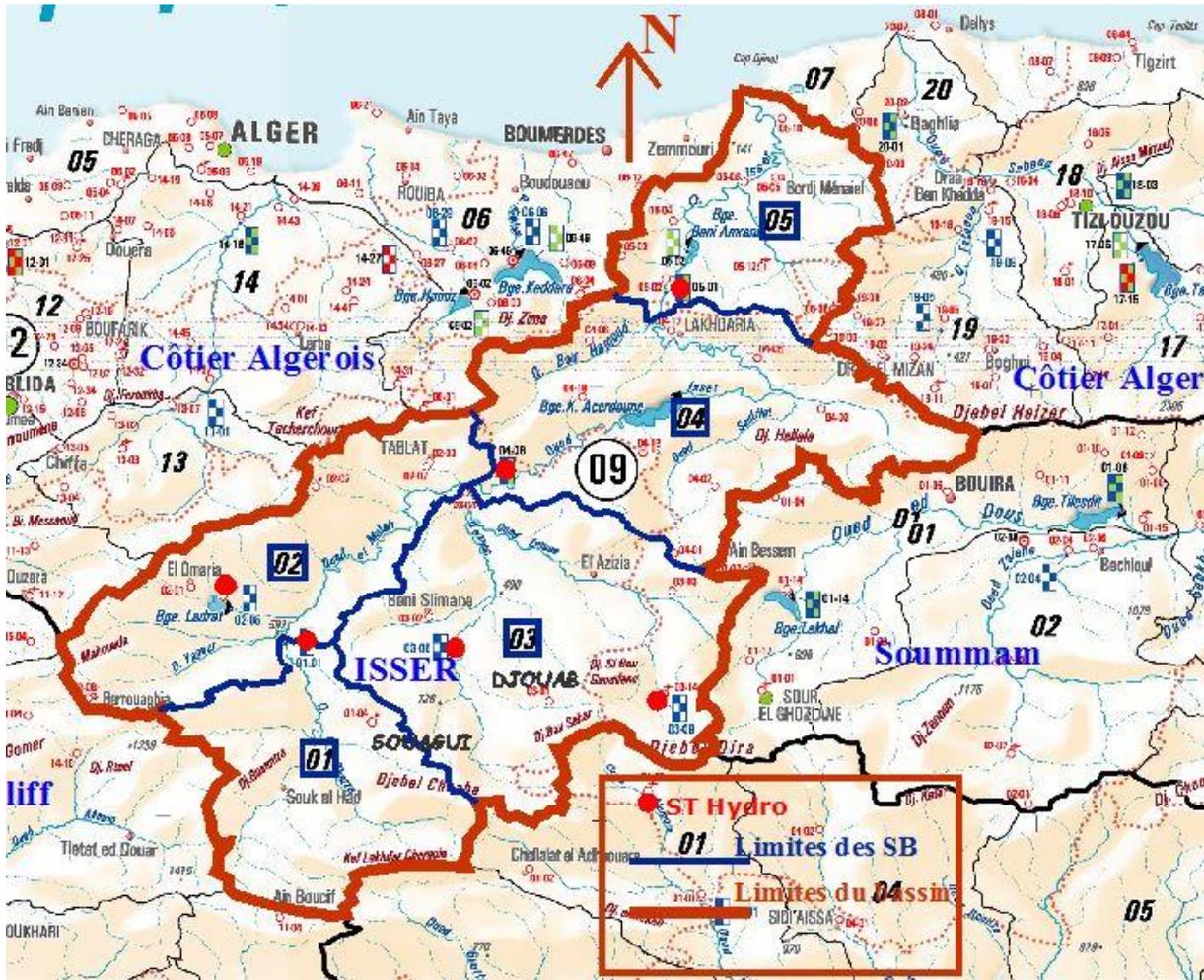


Figure II.6. Carte d'identification des stations hydrométriques

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons pu présenter notre zone d'études et présenter les différentes données relatives au BV de l'ISSER nécessaires pour notre travail.

Notre bassin présente une potentialité pluviométrique importante (17% du BV AHS), avec un climat méditerranéen intermédiaire avec une température moyenne annuelle qui oscille entre 15 et 20°C.

CHAPITRE III

Introduction

Dans ce présent chapitre nous nous allons traiter les différentes données pluviométriques et climatiques nécessaires à la construction du modèle.

III.1. Traitement des données pluviométriques

Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques et géographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Ce sont les précipitations, qui constituent le facteur essentiel intervenant par :

- Leur totale annuelle ;
- Leur répartition mensuelle qui influence directement les régimes hydrologiques.

Pour cette étude, nous avons pris en considérations les valeurs annuelles des précipitations de sept stations pluviométriques.

III.1.1. Comblement des lacunes

Le but du comblement des lacunes est de compléter les données manquantes dans les séries pluviométriques pour minimiser les erreurs et rendre les résultats plus précis et plus significatifs

Pour combler les lacunes on a utilisé l'algorithme de NIPALS

L'algorithme NIPALS est une méthode présentée par H. Wold (1973) permettant d'effectuer une analyse en composantes principales sur les données disponibles.

L'algorithme NIPALS est appliqué sur les données pour obtenir un modèle d'ACP. Ce modèle est ensuite utilisé pour prédire les données manquantes.

Pour appliquer l'algorithme de NIPALS on a utilisé le logiciel XLSTAT 2014 sur Excel ou on a pu combler les toutes les lacunes dans nos séries pluviométriques.

III.1.2. Homogénéisation

Qu'est ce que l'homogénéisation des données ?

Pour répondre à cette question qui n'est pas aussi simple que l'on croit, il faut saisir et mesurer l'importance des dégâts que l'on peut avoir suite à une information fautive appliquée par un ingénieur pour dimensionner un ouvrage hydrotechnique.

L'homogénéisation des données est une analyse statistique de l'information aidant à une prise de décision conséquente. Elle consiste:

- ✓ La détection des anomalies dans les séries hydrologiques et d'en chercher la cause,
- ✓ La correction de ces anomalies par des méthodes appropriées,

- ✓ L'extension des serie hydrologiquecourtes à partir de serie de base homogènes.

On prend comme exemple de calcul la station SOUAGUI
 on utilise le test de la *médiane*. Ce test permet de vérifier si la serie de données est homogène ou non.

1. Classer la série par ordre croissant,
2. La médiane M est une constante de telle sorte que 50% des x_i lui soient inferieur et 50% des x_i lui soient superieur,
3. Remplacer la serie non classées par une suite de signe:

(+) pour les $x_i > M$

(-) pour les $x_i < M$

4. Calculons les quantités N_s et T_s avec :

N_s : nombre total de serie (+) ou (-)

T_s : nombre de la plus grandsérie de (+) ou (-) seccéssive

Les condition du test sont les suivantes :

$$N_s > \frac{1}{2}(N + 1 - u_{1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{N + 1})$$

$$T_s < 3.3(\log_{10}N + 1)$$

Donc: $N_s > 0.5*(41+1-1.96*(41+1)^{0.5}) \rightarrow N_s=24 > 14.71$

$T_s < 3.3*(\log_{10} (41+1))$

→

$T_s=4 < 5,35$

Donc La série pluviométrique de la station SOUAGUI est homogène, les résultats du test d'homogénéisation des autres stations sont mentionnés en annexe.

III.1.3. Ajustement des pluies 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 de vérification des paramètres d'ajustement.

Nous avons choisi de présenter les résultats d’Ajustement de la Station de Souagui dont les caractéristiques de la série sont indiquées dans le tableau III.1. les résultats du test d’ajustement des autres stations sont mentionnés en annexe.

Les résultats d’ajustement des autres stations sont mentionnés en Annexes.

Caractéristiques de la série :

Tableau III.1Caractéristiques de la série.

Taille	41
Min	164
Max	532
Moyenne	340
Ecart-type	80.5
Médiane	334
Cv	0.237
Cs	0.202
Ck	2.62

Nous procéderons à l’ajustement de la série pluviométrique avec une loi probabiliste

Ajustement de la série :

Nous avons utilisé le logiciel HYFRAN pour l’ajustement des Séries pluviométriques.

Ajustement à la loi Gumbel :

Après vérification de l’adéquation de la série avec le test Khi-carré.

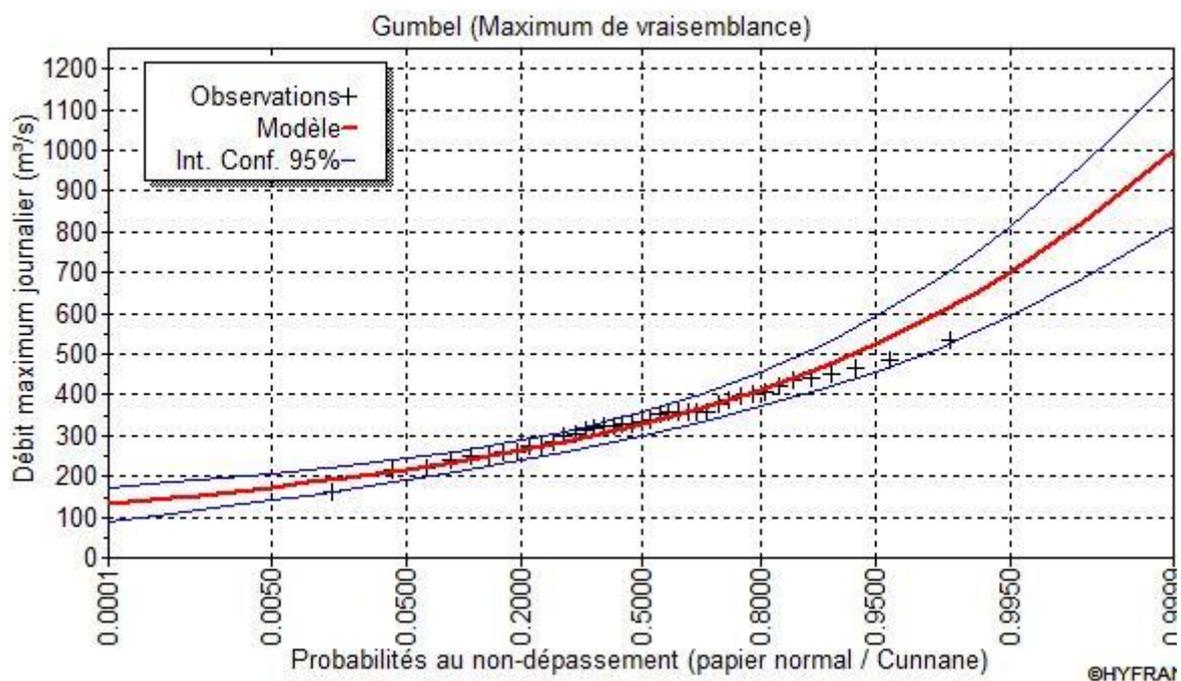


Figure III.1. Ajustement à loi de GUMBEL.

Calcul des quantiles :

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau (III.3).

Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau III.2. Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour

Période de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
SOUAGUI 090104	328	369	414	471	526	596	649	702	824

Ajustement à la loi LOG-NORMAL (GALTON) :

Après vérification de l'adéquation de la série avec le test Khi-carré

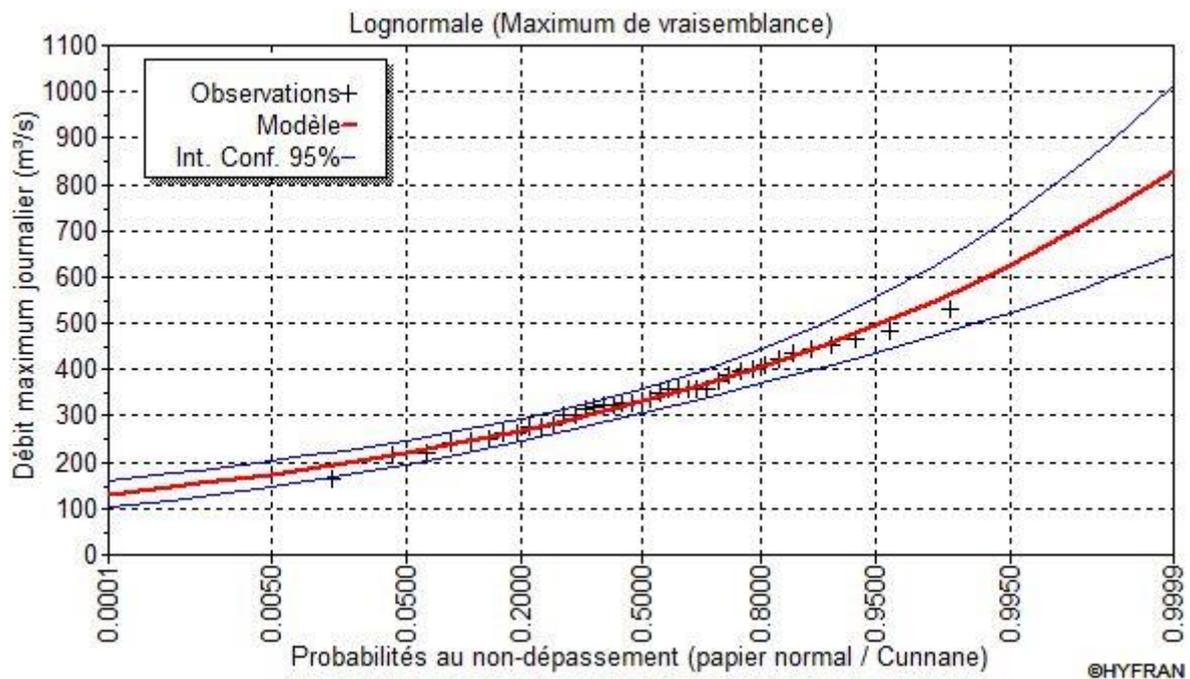


Figure III.2. Ajustement à loi de LOGNORMAL.

Calcul des quantiles :

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau (III.3).

Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau III.3. Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour.

Période de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
SOUAGUI 090104	330	367	407	545	496	549	588	625	710

Conclusion

Notre série s’ajuste mieux à la loi LOGNORMALE, tous les points sont à l’intérieur de l’intervalle de confiance et la majorité des points suivent la droite d’ajustement.

Remarque

L’ajustement du reste des séries pluviométriques des six stations restantes est résumé dans les Annexes.

Tableau récapitulatif de l’ajustement des séries pluviométriques :

Tableau III.4. Récapitulatif de l’ajustement des séries pluviométriques.

Station pluviométrique	Loi d’ajustement
SOUAGUI 90104	Loi lognormal (Galton)
TABLATDRS 90203	Loi lognormal (Galton)
DJOUAB 90301	Loi lognormal (Galton)
Beni Slimane 90302	Loi lognormal (Galton)
DJEBAHIA 90403	Loi lognormal (Galton)
LAKHDARIA GORGES 90502	Loi lognormal (Galton)
EL OMARIA 90201	Loi lognormal (Galton)

III.2. Etude Climatique

Dans cette partie on va procéder aux calculs des paramètres climatologiques de notre model (ETP)

III.2.1. Calcul de l'Evapotranspiration

Le BV a été divisé en trois parties : Haut, moyen et bas ISSER, chaque partie a une station pluviométrique représentative ainsi qu'une station climatologique pour les températures.

Tableau III.5. Stations représentatives.

Sous bassins	Station pluviométrique représentative	Station climatologique représentative
HAUT ISSER	El Omaria Pep	Médéa
MOYEN ISSER	Djebahia	Dar El Beida
BAS ISSER	Lakhdaria Gorges	Dellys

➤ **Haut ISSER**

Pour le haut ISSER on a utilisé la formule de PENMAN – MONTEITH La formule de PENMAN – MONTEITH (1) est une combinaison du bilan énergétique et de la Méthode de transfert de masse. Parmi les différentes méthodes de calcul des ETP, elle est recommandée par la FAO (Allen et al, 1998). Cette formule brute se présente comme suit :

$$\lambda ET = \frac{\Delta \cdot (R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_w - e)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \dots\dots\dots(1)$$

- Rn** : rayonnement net ;
- G** : flux de chaleur du sol ;
- ρa** : densité moyenne de l'air ;
- Cp** : chaleur spécifique d'air ;
- λ** : chaleur latente de changement d'état (2450 kJ.kg) ;
- e** : tension de vapeur à la température t ;
- e_w** : tension de vapeur saturante à la température t ;
- Δ** : la pente de la courbe de tension de vapeur saturante ;
- ra** : la résistance aérodynamique ;
- rs** : la résistance du couvert végétal ;
- γ** : la constante psychrométrique.

Pour l'application de la formule de PENMAN – MONTEITH on a utilisé le Logiciel CROPWAT 8.0 les résultats sont résumé dans le Tableau (III.7).

Tableau III.6. ETP Annuelle Haut Isser (en mm/an)

Année	ETP (mm/an)
1996	1169,85
1997	1343,34
1998	1272,67
1999	1331,79
2000	1441,86
2001	1335,95
2002	1273,99
2003	1267,31
2004	1238,33
2005	1286,91
2006	1395
2007	1233,67
2008	1229,98

➤ **Moyen ISSER**

L'évapotranspiration potentielle (ETP0) est calculée par la formule de BOUTOUTAOU (2003) (2). Pour les conditions climatiques en Algérie, elle est donnée par l'expression suivante :

$$E_0 = 157 \cdot \beta \cdot (T + 15) \cdot \left(1 - \frac{H}{100}\right) \dots \dots \dots (2)$$

Où :

E₀- Evapotranspiration potentielle moyenne annuelle, (mm) ;

T- température moyenne annuelle de l'air, (°C) ;

H- Humidité relative moyenne annuelle de l'air, (%) ;

β- Coefficient correctif propre à chaque station météorologique, variant entre 0.73 à 1.49.

Pour le moyen et bas ISSER β=1

Les résultats sont résumés dans le tableau (III.8).

Tableau III.7. ETP Annuelle Moyen Isser (en mm/an)

Année	T (°C)	H (%)	ETP (mm/an)
1995	18,1	73,4	1382,3222
1996	17,5	75,4	1255,215
1997	18,3	72,8	1422,0432
1998	17,6	74,9	1284,6682
1999	18,4	73,3	1400,0946
2000	18,1	73	1403,109
2001	18,3	75,2	1296,5688
2002	18	76,2	1233,078
2003	18,7	76,4	1248,6524
2004	18	78,1	1134,639

➤ **Bas ISSER**

L'évapotranspiration potentielle (ETP₀) est calculée par la formule de BOUTOUTAOU (2003)

Les résultats sont résumés dans le tableau (III.9).

Tableau III.8. ETP Annuelle Moyen ISSER (en mm/an)

Année	T (°C)	H (%)	ETP (mm/an)
1995	18,4	71,6	1489,2392
1996	17,9	75,3	1275,8291
1997	13,9	77	1043,579
1998	17,5	76,2	1214,395
1999	18,6	74,5	1345,176
2000	18,5	71,3	1509,4765
2001	18,3	75,5	1280,8845
2002	18,3	75	1307,025
2003	18,8	74,3	1363,7962
2004	18,2	74,8	1313,5248

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons pu vérifier l'homogénéité des différentes séries pluviométriques, on a trouvé que nos séries pluviométriques s'ajustent mieux à la loi lognormal. A la fin de ce chapitre on a calculé l'évapotranspiration potentielle pour le Haut, le moyen et le Bas Isser.

CHAPITRE IV

Introduction

Dans ce chapitre nous allons expliciter toutes les étapes qui nous ont permis d'obtenir les résultats.

Ou va estimer les débits à partir des données pluviométriques et climatologiques en utilisant un réseau de neurones)

La première étape de cette partie consiste à recenser des données expérimentales concernant les évapotranspirations, les précipitations et les débits durant toutes les années.

IV.1. Développement du modèle

IV.1.1. Choix de l'échantillon

Etabli selon les données disponibles à l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH BLIDA) et l'office national de la météorologie (ONM Alger), pour la première étape de modélisation, les données sont subdivisées en trois parties: une partie utilisée pour l'apprentissage, une partie utilisée pour le test, et l'autre utilisée pour la validation du modèle RNA.

L'application de ce modèle a été effectuée sur les données pluies (P), de l'évapotranspiration (ETP) et du débit dans les 3 parties du bassin versant de l'ISSER : Haut, Moyen et Bas ISSER.

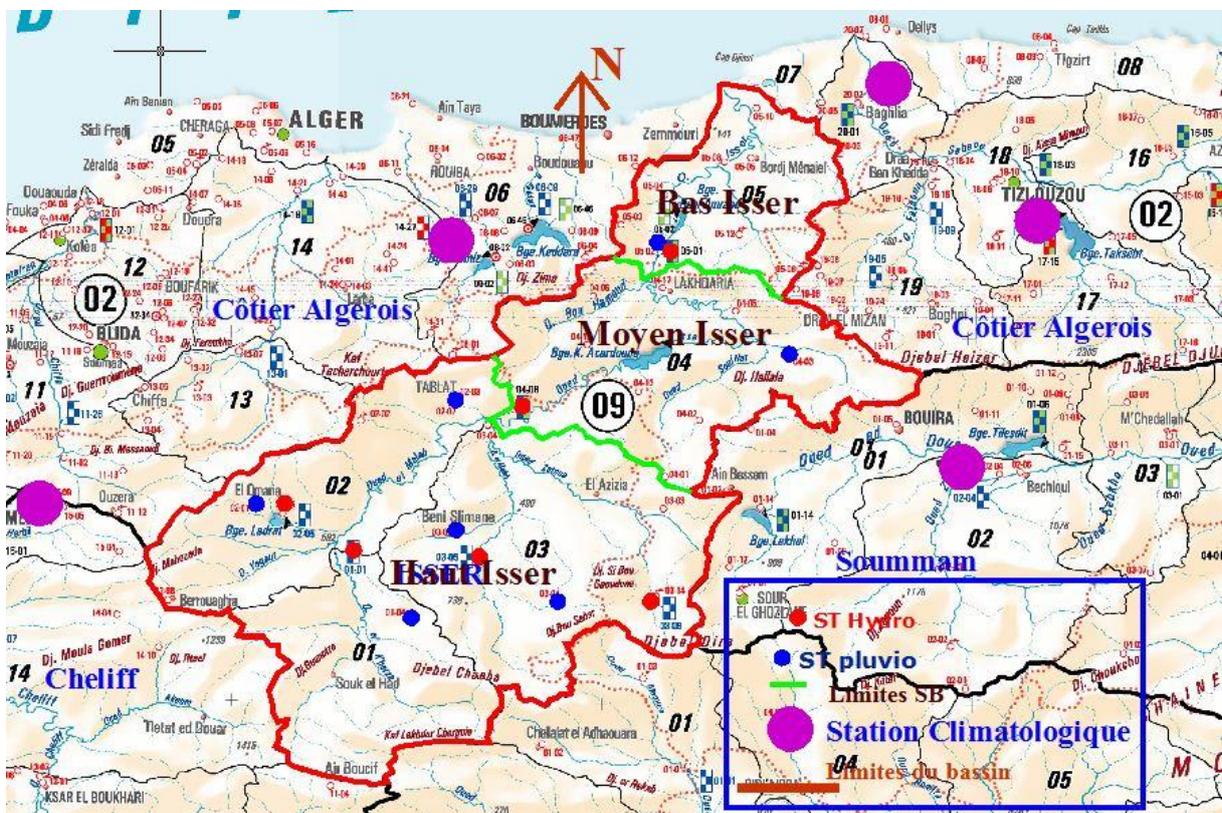


Figure IV.2. Carte SB de l'ISSER

Mise en œuvre de la banque de données

La base de données a été divisée en trois phases : La phase d'apprentissage, la phase de test, et la phase de validation

L'apprentissage est la propriété la plus intéressante du modèle des réseaux de neurones.

Pour apprendre, le réseau doit connaître la réponse qu'il aurait dû donner. C'est la phase de développement d'un réseau de neurones durant laquelle le comportement du réseau est modifié jusqu'à l'obtention du comportement désiré. L'intérêt du test est d'arrêter l'apprentissage (la minimisation) au bon moment. Une fois le réseau calculé, il faut procéder à des tests pour vérifier que le réseau réagit bien comme on le souhaite : c'est la phase de test.

Après avoir constitué la banque de données, une partie de celle-ci (habituellement 20% de données) n'est pas utilisée lors de la phase de l'apprentissage, elle est réservée comme base de test pour évaluer la performance du réseau établi.

IV.1.2. Prétraitement des données

Pré-standardisation et post-standardisation

Avant l'apprentissage, il est souvent utile de standardiser les données d'entrée sortie par l'équation suivante :

$$P_i = \frac{X_i - m}{\sigma} \dots \dots \dots (1)$$

P_i : variable centrée réduite ;

X_i : variable brute ;

m : moyenne de l'échantillon ;

σ : écart type de l'échantillon.

Donc les entrées et sorties sont centrées et réduites.

IV.1.3. Elaboration de la structure du réseau

Nous avons opté pour un réseau de type perceptron multicouches (FEED-FORWARD Backprop) composé de trois couches, une seule couche de sortie avec une fonction d'activation linéaire, et une couche cachée de nombre de neurones variable et de fonction d'activation sigmoïde tangentielle. Plusieurs études ont montré que l'apprentissage des réseaux multicouches converge plus rapidement quand la fonction sigmoïde tangentielle est employée plutôt que la sigmoïde exponentielle.

Le nombre de neurones ajustable est un des facteurs fondamentaux de la réussite d'une application : si le réseau possède un grand nombre de neurones, c'est-à-dire si le réseau est "souple", il risque de s'ajuster au bruit qui est présent dans les données de l'ensemble de l'apprentissage et même en l'absence de bruit il risque de présenter des oscillations non significatives entre les points d'apprentissage, donc de posséder de mauvaises propriétés de généralisation ; si ce nombre est trop petit, le réseau est trop rigide et ne peut reproduire la partie déterministe de la fonction.

Le problème de la détermination de l'architecture optimale est resté longtemps un problème ouvert, mais il existe actuellement diverses méthodes, mettant notamment en jeu des tests statistiques qui permettent de déterminer cette architecture pour une vaste classe de réseaux donc, en connaissant la taille de l'échantillon on peut avoir une estimation sur le nombre de neurones cachés

Pour notre étude, nous avons utilisé à l'entrée du réseau des valeurs de l'ETP et les précipitations, la sortie du réseau représente le débit simulé.

IV.1.4. Choix du paramètre de la phase d'apprentissage

Il est très difficile de savoir quel est l'algorithme d'apprentissage le plus rapide pour un problème donné. Ceci dépend de plusieurs facteurs, y compris la complexité du problème, le nombre de points dans la base d'apprentissage, le nombre de poids et biais dans le réseau, l'erreur désirée, ainsi que le réseau utilisé pour l'identification du modèle ou l'approximation de fonction (régression)

Pour la phase d'apprentissage de ces réseaux nous avons établi le modèle suivant :

Modèle utilisé : qui utilise l'algorithme d'apprentissage de Levenberg-Marquardt (`trainlm`) le plus rapide pour des réseaux de neurones de taille modérée.

IV.1.4.1. Algorithme d'apprentissage : Levenberg-Marquardt (`trainlm`)

C'est une variante d'algorithme d'apprentissage de rétro propagation du gradient (Backpropagation) visant à améliorer les performances de ce modèle.

C'est un algorithme d'apprentissage très rapide qui utilise des techniques numériques standard d'optimisation.

Il semble être la méthode la plus rapide pour l'apprentissage de réseaux de neurones (Feed-Forward) de taille modérée (jusqu'à plusieurs centaines de poids).

Une étude menée par l'auteur de guide d'utilisateur de la boîte à outil de réseaux de neurones (Neural Network Toolbox User's Guide) a montré que dans les problèmes d'approximation de fonction et pour les réseaux qui contiennent jusqu'à quelques centaines de poids synaptiques, l'algorithme de Levenberg-Marquardt aura la convergence la plus rapide.

L'avantage est particulièrement apparent si l'apprentissage très précis est exigé. Dans beaucoup de cas, l'algorithme de Levenberg-Marquardt permet d'obtenir des erreurs quadratiques moyennes inférieures à celles trouvées par d'autres algorithmes utilisés.

Cependant, à mesure que le nombre de poids dans le réseau augmente, l'avantage de l'algorithme de Levenberg-Marquardt diminue.

IV.1.4.2. Fonction d'adaptation

Learnngdm : Descente de gradient avec momentum de poids et biais.

L'utilisation de cette méthode permet de faire sortir les poids des minimums locaux, afin de chercher d'autres optimums, ce qui donne beaucoup de chances d'aboutir à un minimum global.

Fonction d'Activation : on a opté pour une fonction de transfert sigmoïdale Tansig pour la première Couche et une fonction linéaire de type PURELIN.

IV.1.4.3. Fonction de performance

La modélisation par le réseau de neurones artificiels consiste à trouver le nombre optimal de neurones dans la couche cachée ainsi le nombre d'itérations pour aboutir au modèle le plus performant qui est déterminé par le minimum de nombre de nœuds et d'itérations. La performance du modèle RNA est aussi validée par d'autres paramètres statistiques des phases d'apprentissage et du test et qui correspondent au nombre optimal de neurones de la couche cachée et du nombre d'itérations.

Les paramètres statistiques utilisés dans ce travail sont : L'erreur moyenne des carrés MSE (MeanSquaredError) et le coefficient de détermination R^2 .

Ces paramètres sont donnés par les relations suivantes :

$$\text{MSE} = \sum_{i=1}^N (Q_{ti} - Q'_{ti})^2 / N \dots \dots \dots (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{ti} - Q'_{ti})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{ti} - Q''_{ti})^2} \dots \dots \dots (3)$$

Ou : Q_{ti} est la valeur mesuré du débit,

- Q'_{ti} est le débit calculé par le modèle,
- Q''_{ti} est le débit moyen mesuré et N est le nombre de données de l'ensemble de calage.

La valeur de MSE donne une indication sur l'erreur de prévision obtenue lors de la phase de test de la modélisation et R^2 montre la variation de la valeur du débit calculé ou

estimé par le modèle de la régression linéaire. Les valeurs idéales pour MSE sont égales à 0 et R peut correspondre à 1.

La performance du modèle est aussi déterminée graphiquement par l'alignement du nuage de point autour de la courbe $y=x$ (droite linéaire à 45°)

Le tableau IV.1 résume les paramètres choisis :

Tableau IV.1. Paramètres du modèles RNA utilisés

Paramètres	Choix
Structure du réseau élaboré	Perceptron Multicouches (Feed-Forward)
Données d'entrée	P, ETP
Algorithme d'apprentissage	Levenberg-Marquardt (trainlm)
Fonction d'adaptation	Learngdm
Fonction de performance	MSE
Nombre de couches	2
Fonction d'activation de la 1 ^{ère} Couche	Sigmoïde tangentielle
Fonction d'activation de la 2 ^{ème} Couche	Linéaire (PURELIN)
Nombre d'itération	100 époques
Erreur désirée	10^{-3}
Pas d'apprentissage	1

IV.1.5. Application du modèle

Pour cette étude, la boîte à outils de réseau neurologique de MATLAB 7.0 est utilisée.

Les variables d'entrée du modèle correspondent aux valeurs des précipitations annuelles et des évapotranspirations annuelles. La sortie du réseau est représentée par les débits annuels.

Dans ce cas, la structure du modèle de réseau de neurones peut être exprimée comme suit :

$$Q = \text{ANN} [P, \text{ETP}]$$

Il est à noter, que nous standardisons d'abord les vecteurs d'entrée et de sortie, donc les données sont centrées et réduites.

Le modèle neuronale testé s'appuie sur un apprentissage de type supervisé, l'algorithme de back propagation est celui de Levenberg-Marquardt (LM), qui possède une meilleure robustesse vis-à-vis de l'initialisation aléatoire des paramètres des réseaux, et assure la meilleure convergence vers un minimum de l'erreur quadratique MSE, pour les problèmes d'approximation des fonctions (ou régression) où le nombre des poids du réseau est restreint.

La base des données a été subdivisée en deux ensembles : un pour le calage du modèle (l'apprentissage) et l'autre pour le test.

Dans cette étude le modèle RNA est composé de trois couches : Couche d'entrée, Couche cachée, et la couche de rendement ou de sortie.(Figure. IV.3)

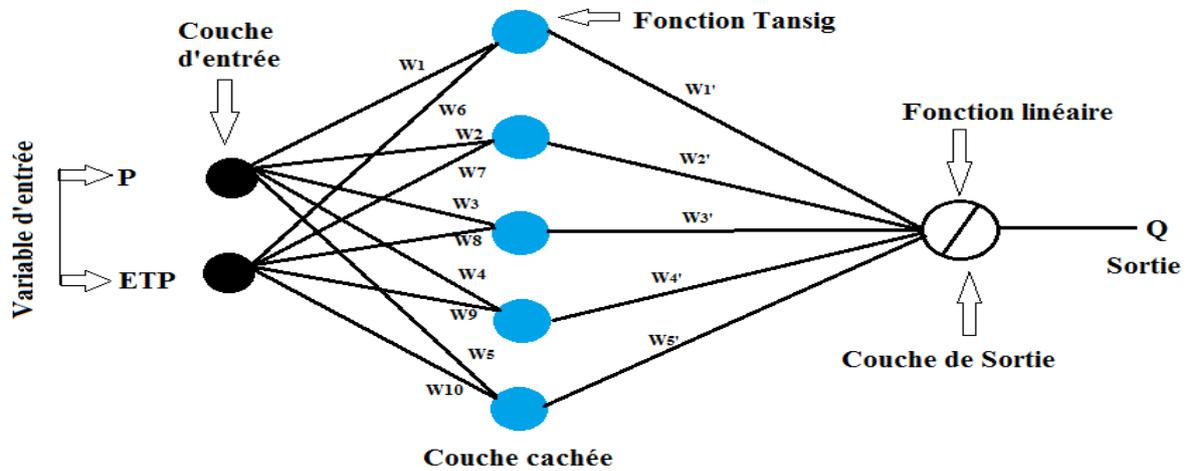


Figure IV.3. Carte Architecture du modèle RNA

Pour l'élaboration de la structure du réseau, le nombre optimal des neurones dans la couche cachée ont été trouvé par épreuve.

C'est-à-dire on construit des modèles et on fait varier le nombre de neurones dans la couche cachée.

Le meilleur modèle est celui qui donne le minimum MSE et le maximum R^2 pour les deux phases apprentissage et test.

IV.2. Résultats et discussions

IV.2.1. Haut ISSER

Les résultats obtenus pour le modèle n°1 sont représentés dans le tableau IV.2 :

Tableau IV.2. Résultats du modèle n°1 appliqué sur le haut ISSER

Nombre de neurones dans la couche caché	MSE	R^2
9	0,256	0,946
8	0,684	0,887
7	0,201	0,888
6	0,055	0,913

Le réseau de neurones retenu dans ce cas (modèle N°1) est un réseau à 3 couches : 6 neurones dans la couche cachée avec une fonction de transfert sigmoïde "Tansig" et un neurone dans la couche de sortie avec la fonction de transfert linéaire, ce qui correspond au minimum d'erreur de MSE.

La figure IV.4 montre le nuage de points des débits simulés et mesurés.

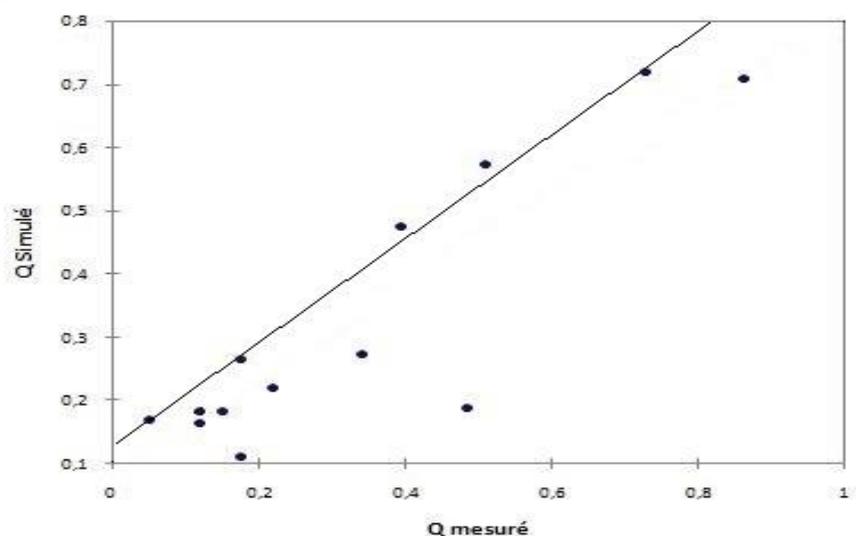


Figure IV.4. Débits observés et débits simulés par le modèle N°1

Les caractéristiques statistiques des échantillons sont présentées dans le tableau IV.3.

Tableau IV.3. Caractéristiques statistiques de l'échantillon

Année	Q mesuré	Q Simulé
1996	0,726	0,722
1997	0,484	0,190
1998	0,150	0,183
1999	0,050	0,170
2000	0,220	0,220
2001	0,509	0,575
2002	0,863	0,710
2003	0,394	0,477
2004	0,120	0,164
2005	0,175	0,266
2006	0,340	0,274
2007	0,175	0,111
2008	0,118	0,184
Moyenne	0,333	0,327
Variance	0,059	0,043
Ecart-type	0,242	0,208
Minimum	0,050	0,111
Maximum	0,863	0,722

La figure IV.5 présente la variation du débit simulé et observé en fonction du temps

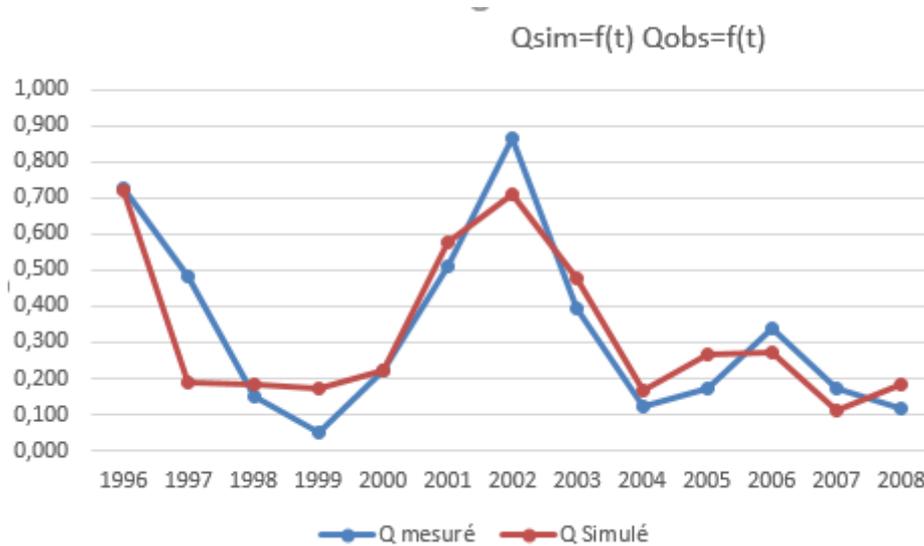


Figure IV.5 la variation du débit simulé et observé

IV.2.2. Moyen ISSER

Les résultats obtenus pour le modèle n°2 sont représentés dans le tableau IV.4:

Tableau IV.4. Résultats du modèle n°2 appliqué sur le moyen ISSER

Nombre de neurones dans la couche caché	MSE	R ²
4	0,0719	0,996
5	0,155	0,964
6	0,592	0,93
7	0,0617	0,881

Le réseau de neurones retenu dans ce cas (modèle N°2) est un réseau à 3 couches : 4 neurones dans la couche cachée avec une fonction de transfert sigmoïde "Tansig" et un neurone dans la couche de sortie avec la fonction de transfert linéaire, ce qui correspond au minimum d'erreur de MSE.

La figure suivante montre le nuage de points autour de la droite Y=X des débits simulés et mesurés.

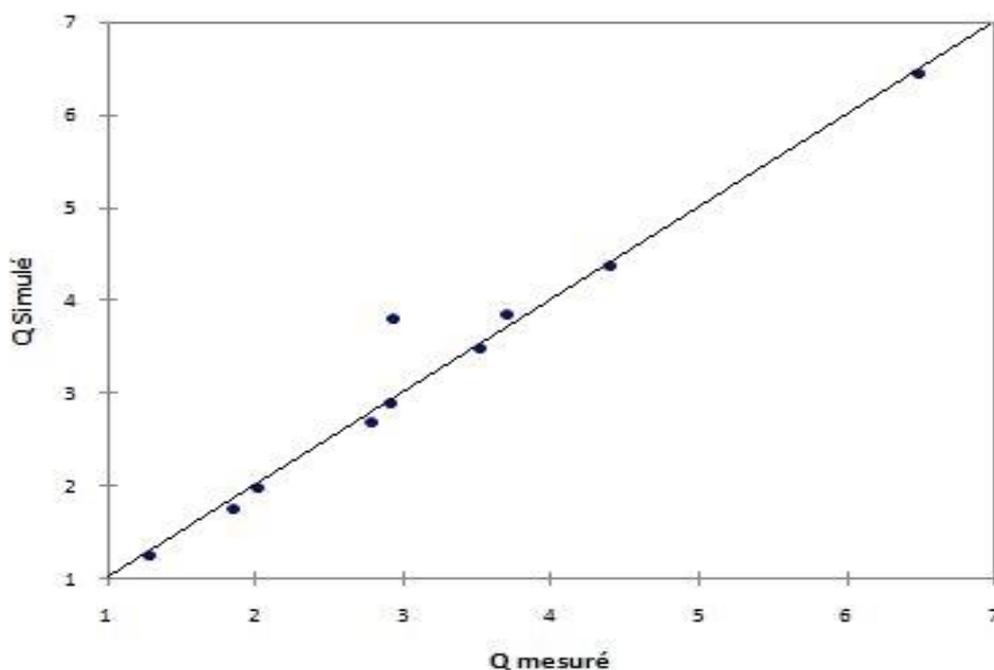


Figure IV.6. Débits observés et débits simulés par le modèle N°2

Les caractéristiques statistiques des Echantillons sont présentées dans le tableau IV.5 :

Tableau IV.5. Caractéristiques statistiques de l'échantillon

Année	Q mesuré	Q Simulé
1995	4,394	4,386
1996	1,837	1,761
1997	1,269	1,262
1998	3,689	3,853
1999	6,472	6,463
2000	2,904	2,898
2001	3,518	3,490
2002	2,929	3,814
2003	2,010	1,980
2004	2,780	2,689
Moyenne	3,180	3,260
Variance (n)	1,801	1,870
Ecart-type (n)	1,342	1,368
Minimum	1,269	1,262
Maximum	6,472	6,463

La figure IV.7 présente la variation du débit simulé et observé en fonction du temps

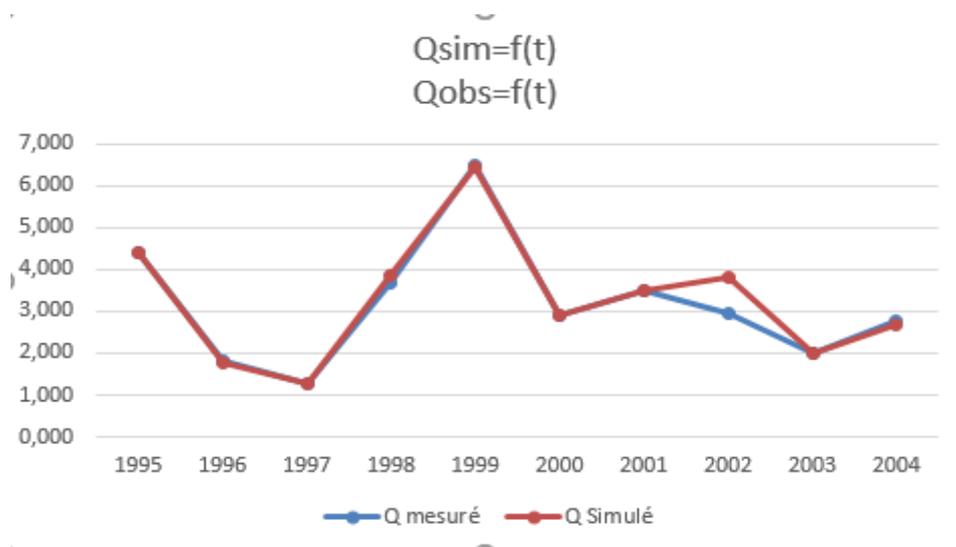


Figure IV.7 la variation du débit simulé et observé

IV.2.3. Bas ISSER

Les résultats obtenus pour le modèle n°3 sont représentés dans le tableau IV.6:

Tableau IV.6. Résultats du modèle n°3 appliqué sur le Bas ISSER

Nombre de neurones dans la couche caché	MSE	R ²
5	0,0552	0,946
6	0,056	0,98
7	0,0108	0,93
8	0,045	0,936
9	0,806	0,927

Le réseau de neurones retenu dans ce cas (modèle N°3) est un réseau à 3 couches : 6 neurones dans la couche cachée avec une fonction de transfert sigmoïde "Tansig" et un neurone dans la couche de sortie avec la fonction de transfert linéaire, ce qui correspond au minimum d'erreur de MSE.

La figure suivante montre le nuage de points autour de la droite Y=X des débits simulés et mesurés.

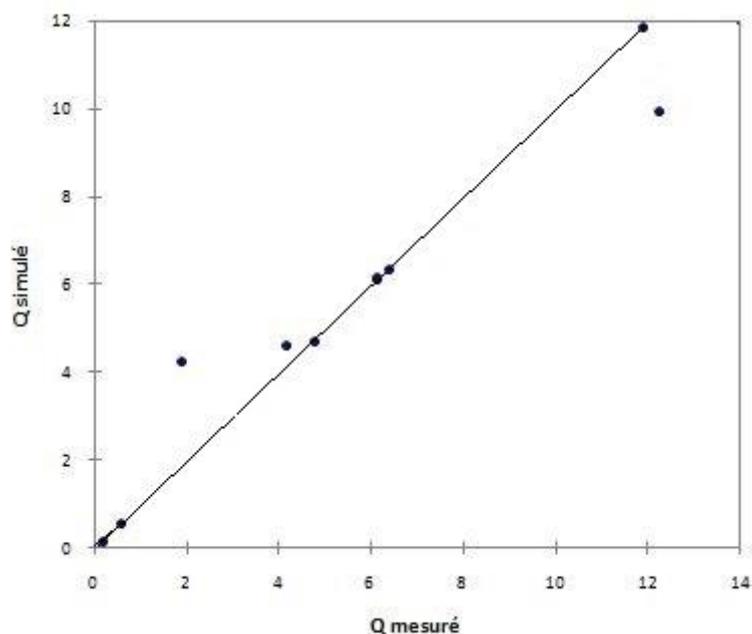


Figure IV.8. Débits observés et débits simulés par le modèle N°3

Les caractéristiques statistiques des Echantillons sont présentées dans le tableau IV.7

Tableau IV.7.Caractéristiques statistiques de l'échantillon

Année	Q mesuré	Q simulé
1995	11,878	11,856
1996	6,145	6,126
1997	0,582	0,569
1998	6,394	6,376
1999	4,765	4,704
2000	1,896	4,258
2001	4,171	4,626
2002	0,200	0,176
2003	12,231	9,963
2004	6,134	6,190
Moy	5,440	5,484
Variance (n)	0,763	0,659
Ecart-type (n)	4,150	3,610
Minimum	0,200	0,176
Maximum	12,231	11,900

La figure IV.8 présente la variation du débit simulé et observé en fonction du temps

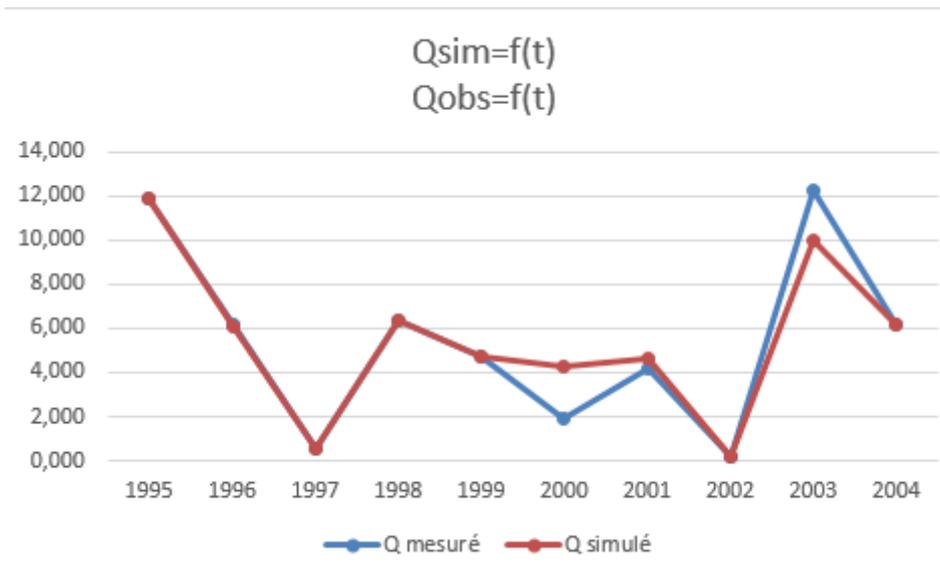


Figure IV.8 la variation du débit simulé et observé

Conclusion

Le choix judicieux du vecteur d'entrée et de la taille du réseau (ou nombre total de couches et de neurones dans la couche cachée du réseau) constituent des étapes difficiles dans la définition de l'architecture d'un RNA, mais le choix de la structure du réseau (type d'interconnexion entre les couches de neurones) reste plus facile à effectuer parce qu'il n'existe que deux formes principales de structure : la forme dite "feedforward" et la forme récursive avec "feedback".

Malgré que la taille des échantillons qu'on a pu utiliser soit relativement petite, les réseaux de neurones ont abouti à des résultats très satisfaisants.

On a pu obtenir des performances des réseaux assez élevées (R^2 élevée de l'ordre de 0.95 pour les trois modèles, et MSE faible de l'ordre de 0.06).

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Dans le but de simuler un modèle pluie-débit pour une meilleure compréhension du comportement hydrologique du bassin versant de l'ISSER; nous avons entamé l'application du modèle de réseau de neurones artificielles.

L'étude statistique des conditions climatiques, met en évidence une variation des précipitations qui se traduit par une augmentation de la pluviométrie de l'amont vers l'aval.

L'ajustement de ces valeurs suit la Loi Log Normal pour toutes les station Pluviométrique qu'on a récupéré sur le bassin.

Pour l'application du modèle du réseau de neurones, les paramètres d'entrés utilisés sont les précipitations avec l'ETP calculée par la méthode de PENMAN pour le haut ISSER; et l'ETP de BOUTATAOU pour le Moyen et le Bas ISSER. Le paramètre de sortie étant le débit écoulé.

L'application du modèle réseau de neurones montre des valeurs très rapprochés du débit simulé et le débit observé pour les 3 sous bassin : Haut, Moyen et Bas ISSER

A la fin de ce travail, nous pouvons dire que l'application du modèle du réseau de neurones aux données du bassin versant de l'ISSER donne des résultats très satisfaisants et ceci pour les trois pas sous bassin Haut, Moyen et Bas Isser. Aussi, les modèles RNA paraissent très indiqués pour être utilisés dans des bassins Méditerranéens à climat semi-aride.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chiew, F.H.S. et McMahon, T.A., 1991.** The applicability of Morton's and Penman's evapotranspiration estimates in rainfall runoff modeling. *Water Resources Bulletin*, 27(4): 611-620
- Dechemi, N., T. Benkaci et A. Issolah** *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 16, n° 4, 2003, p. 407-424.
- El Ghachtoul, Y., Derraz, M., Lek, S., Dimopoulos, I.** "Modélisation de la relation pluie-débit à l'aide des réseaux de neurones artificiels." *Revue des sciences de l'eau* 93 (1996): 319–331
- Everitt B.S., Landau S. and Leese M. (2001).** *Cluster Analysis* (4th edition). Arnold, London.
- Higy, C., 2000.** Modélisation conceptuelle et à base physique des processus hydrologiques : application du bassin versant de la haute mentue. Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de lausanne, 300 p.
- McCulloch, W.S., Pitts, W.,** A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *Bulletin of Math. Biophysics*, vol.5, pp. 115-133, (1943).
- Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, C. et Andréassian, V., 2006.** 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., 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 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.
- Perrin, C., Michel, C. et Andréassian, V., 2003.** Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology* 279(1-4), 275-289.
- Perrin, C., Michel, C. et Andréassian, V., 2001.** Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments. *Journal of Hydrology* 242(3-4), 275-301
- Roche P.A. (1988) les Modèles.** *Gestion des eaux : automatisation, Information et télégestion*, Tome 3, Presses de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées. 133-166
- Sorooshian, S., Gupta, V.K (1983).** Automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models: the question of parameter observability and uniqueness. *Water resources Research*, 19(1), 260-268.

ANNEXES

Annexes

Ajustement des séries pluviométriques :

2) Station TABLAT DRS :

On dispose d'une série de 41 ans :

Caractéristiques de la série :

Tableau 1 : Caractéristiques de la série.

Taille	41
Min	298
Max	978
Moyenne	578
Ecart-type	153
Médiane	553
Cv	0.264
Cs	0.283
Ck	2.86

Nous procéderons à l'ajustement de la série pluviométrique avec une loi probabiliste

Ajustement de la série :

Nous avons utilisé le logiciel HYFRAN pour l'ajustement des Séries pluviométriques :

Ajustement à la loi Gumbel :

Après vérification de l'adéquation de la série avec le test Khi-carré

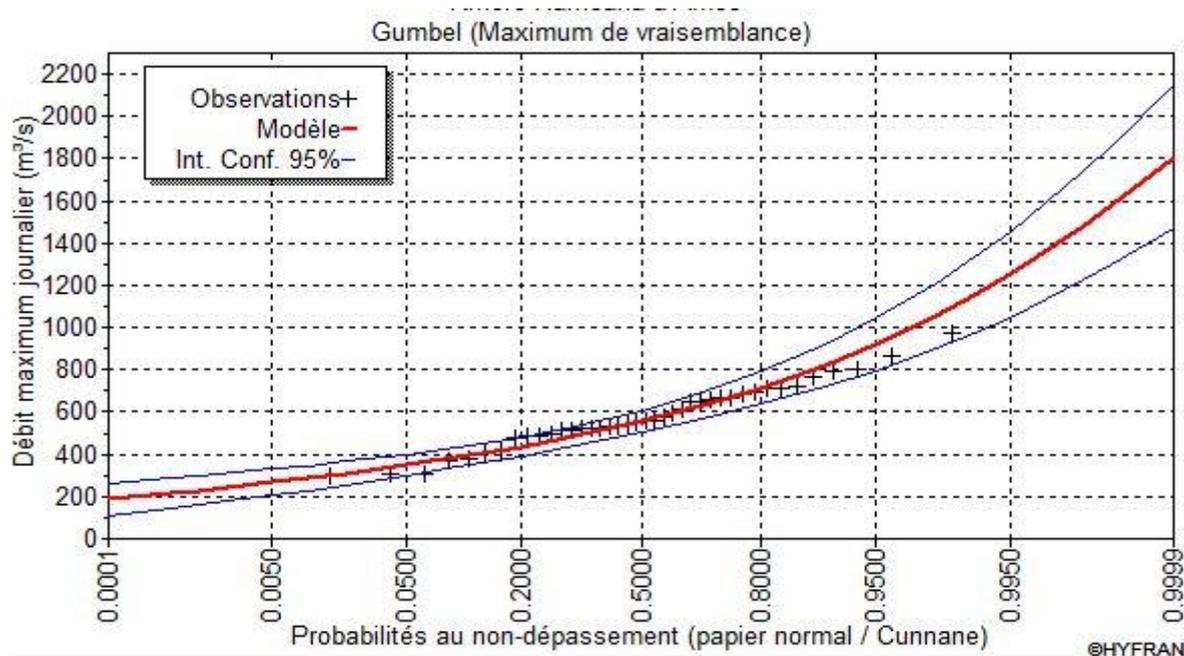


Figure III.3. Ajustement à loi de GUMBEL.

Calcul des quantiles :

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau 2. Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau 2 : Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour.

Période de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
TABLAT_DRS 090203	558	628	704	796	880	986	1060	1140	1310

Ajustement à la loi LOG-NORMAL (GALTON) :

Après vérification de l'adéquation de la série avec le test Khi-carré

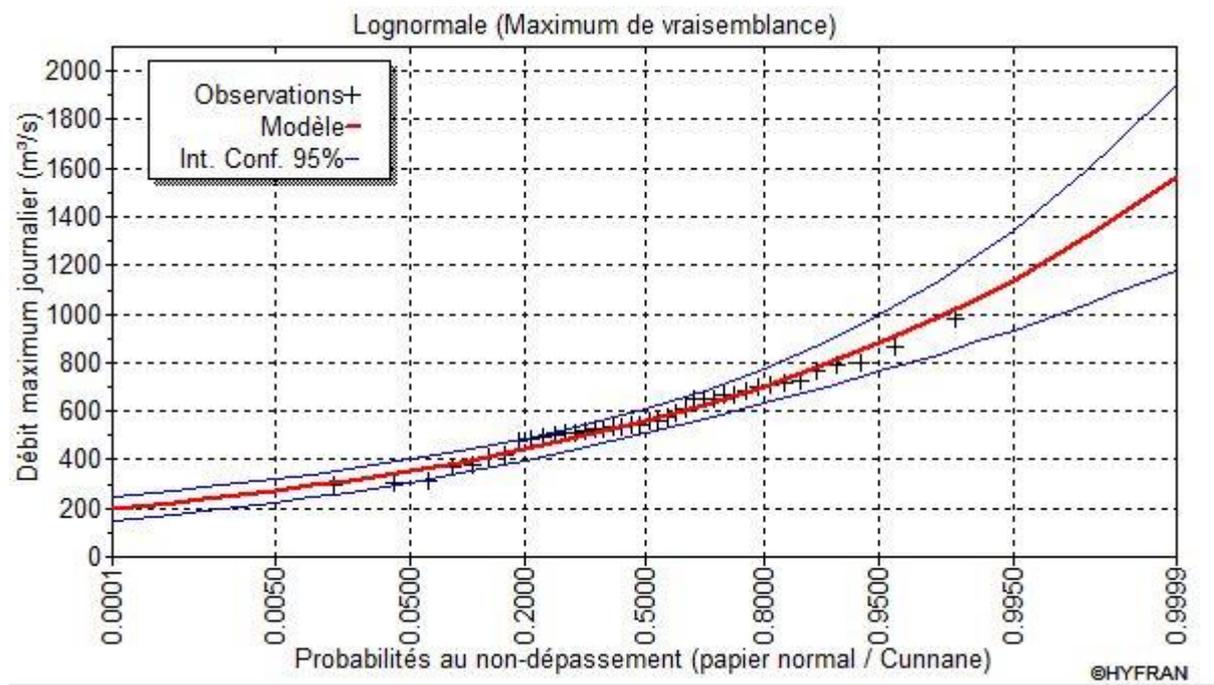


Figure III.4 : Ajustement à loi de LOGNORMAL.

Calcul des quantiles :

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau 3.

Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau 3 : Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour

Periode de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
TABLAT_DRS 090203	555	631	715	822	924	1060	1150	1250	1480

Conclusion :

Notre série s'ajuste mieux à la loi LOGNORMALE, tous les points sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance et la majorité des points suivent la droite d'ajustement.

3) Station DJOUAB :

On dispose d'une série de 41 ans :

Caractéristiques de la série :

Tableau 4 : Caractéristiques de la série.

Taille	41
Min	260
Max	991
Moyenne	518
Ecart-type	167
Médiane	487
Cv	0.322
Cs	1.11
Ck	3.94

Nous procéderons à l'ajustement de la série pluviométrique avec une loi probabiliste

Ajustement de la série :

Nous avons utilisé le logiciel HYFRAN pour l'ajustement des Séries pluviométriques :

Ajustement à la loi Gumbel :

Après vérification de l'adéquation de la série avec le test Khi-carré

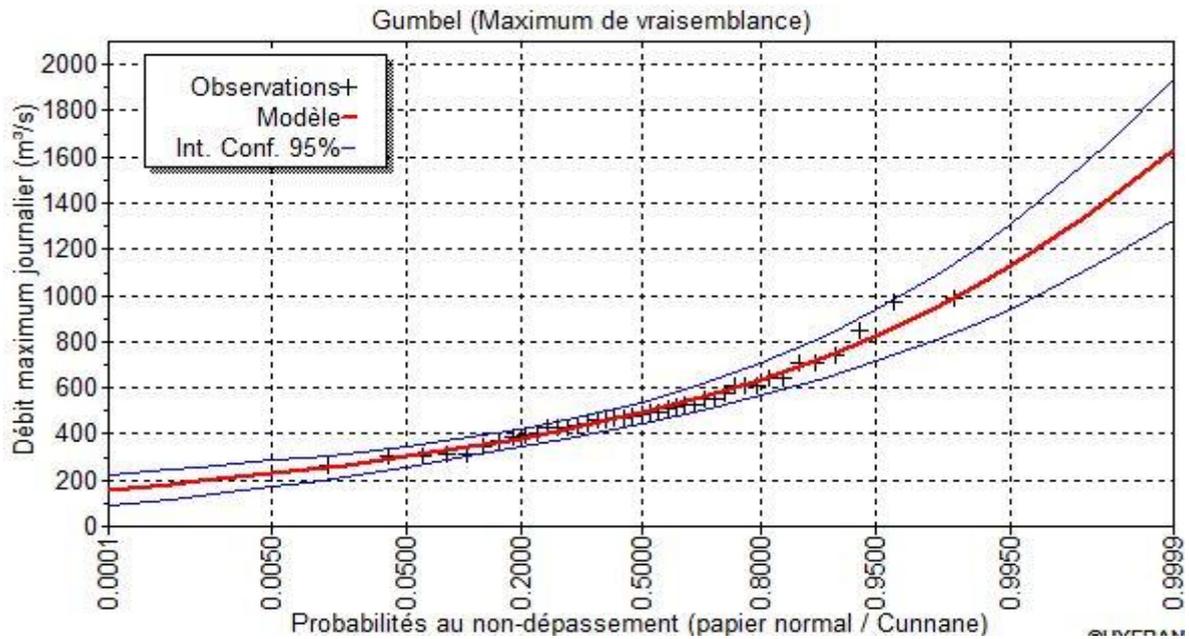


Figure III.5 : Ajustement à loi de GUMBEL.

Calcul des quantiles :

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau 5

Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau 5 : Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour.

Période de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
DJOUAB 090301	490	559	636	733	825	945	1040	1130	1330

Ajustement à la loi LOG-NORMAL (GALTON) :

Après vérification de l'adéquation de la série avec le test Khi-carré

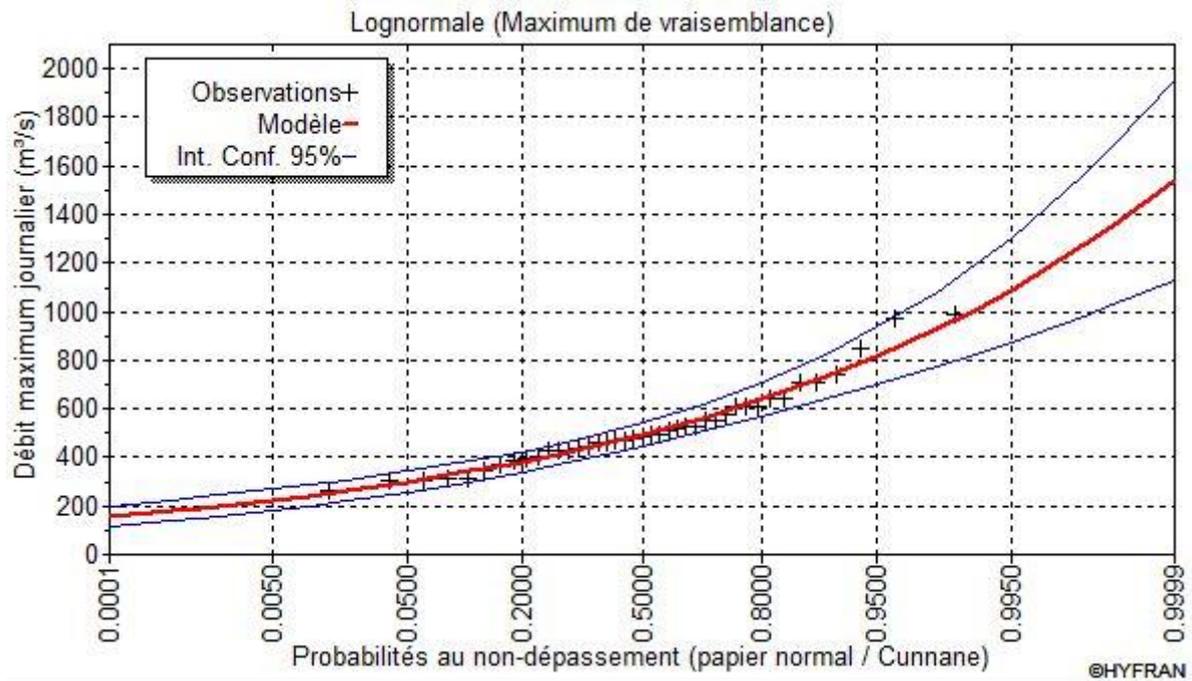


Figure III.6 : Ajustement à loi de LOGNORMAL.

Calcul des quantiles :

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau 6

Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau 6 : Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour

Periode de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
DJOUAB 090301	494	564	640	732	818	927	1010	1090	1270

Conclusion :

Notre série s'ajuste mieux à la loi LOGNORMALE, tous les points sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance et la majorité des points suivent la droite d'ajustement.

4) Station Beni Slimane:

On dispose d'une série de 41 ans :

Caractéristiques de la série :

Tableau 7 : Caractéristiques de la série.

Taille	41
Min	198
Max	554
Moyenne	381
Ecart-type	88.1
Médiane	383
Cv	0.231
Cs	-0.155
Ck	2.22

Nous procéderons à l'ajustement de la série pluviométrique avec une loi probabiliste

Ajustement de la série :

Nous avons utilisé le logiciel HYFRAN pour l'ajustement des Séries pluviométriques :

Ajustement à la loi Gumbel :

Après vérification de l'adéquation de la série avec le test Khi-carré

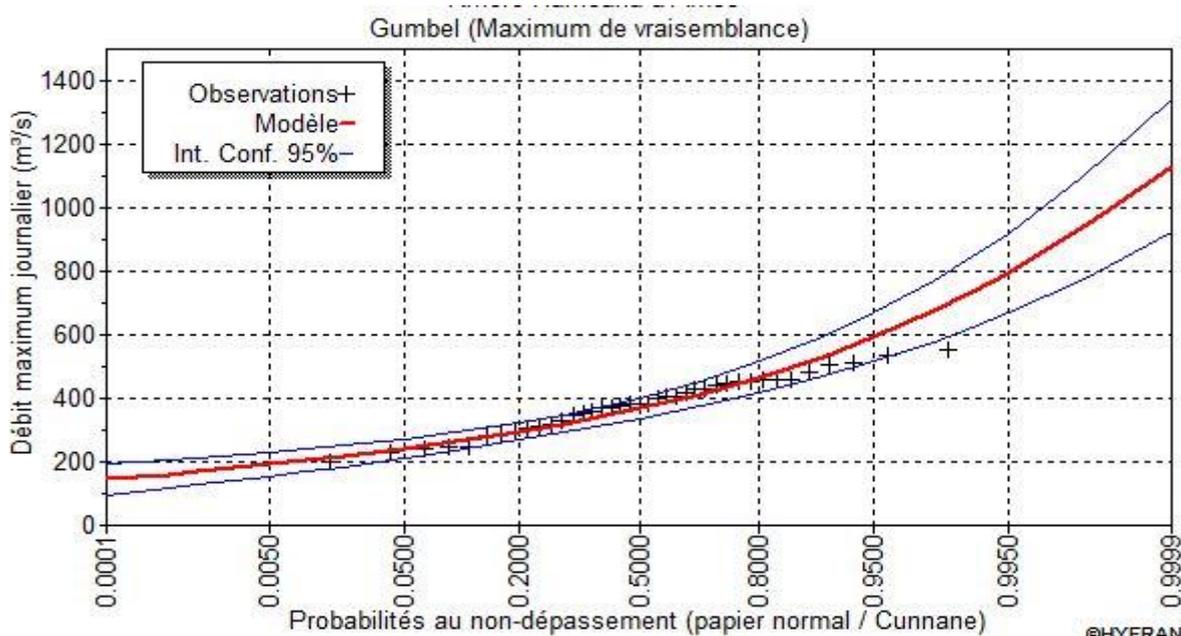


Figure III.7 : Ajustement à loi de GUMBEL.

Calcul des quantiles :

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau 8.

Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau 8 : Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour.

Période de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
Beni Slimane 090302	368	414	466	531	593	674	734	794	933

Ajustement à la loi LOG-NORMAL (GALTON) :

Après vérification de l'adéquation de la série avec le test Khi-carré

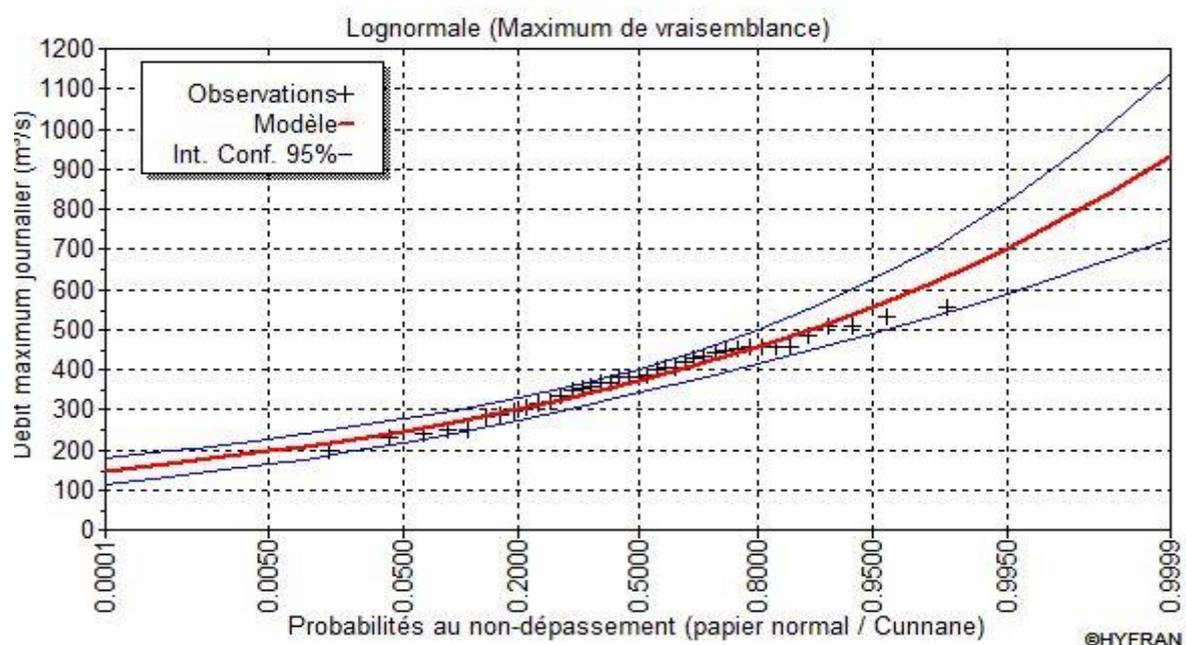


Figure III.2 : Ajustement à loi de LOGNORMAL.

Calcul des quantiles :

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau 9.

Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau 9 : Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour.

Periode de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
Beni Slimane 090302	371	412	457	509	558	617	660	703	798

Conclusion :

Notre série s'ajuste mieux à la loi LOGNORMALE, tous les points sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance et la majorité des points suivent la droite d'ajustement.

5) Station DJEBAHIA :

On dispose d'une série de 41 ans :

Caractéristiques de la série :

Tableau 10 : Caractéristiques de la série.

Taille	41
Min	254
Max	1010
Moyenne	584
Ecart-type	163
Médiane	567
Cv	0.280
Cs	0.416
Ck	3.01

Nous procéderons à l'ajustement de la série pluviométrique avec une loi probabiliste

Ajustement de la série :

Nous avons utilisé le logiciel HYFRAN pour l'ajustement des Séries pluviométriques :

Ajustement à la loi Gumbel :

Après vérification de l'adéquation de la série avec le test Khi-carré

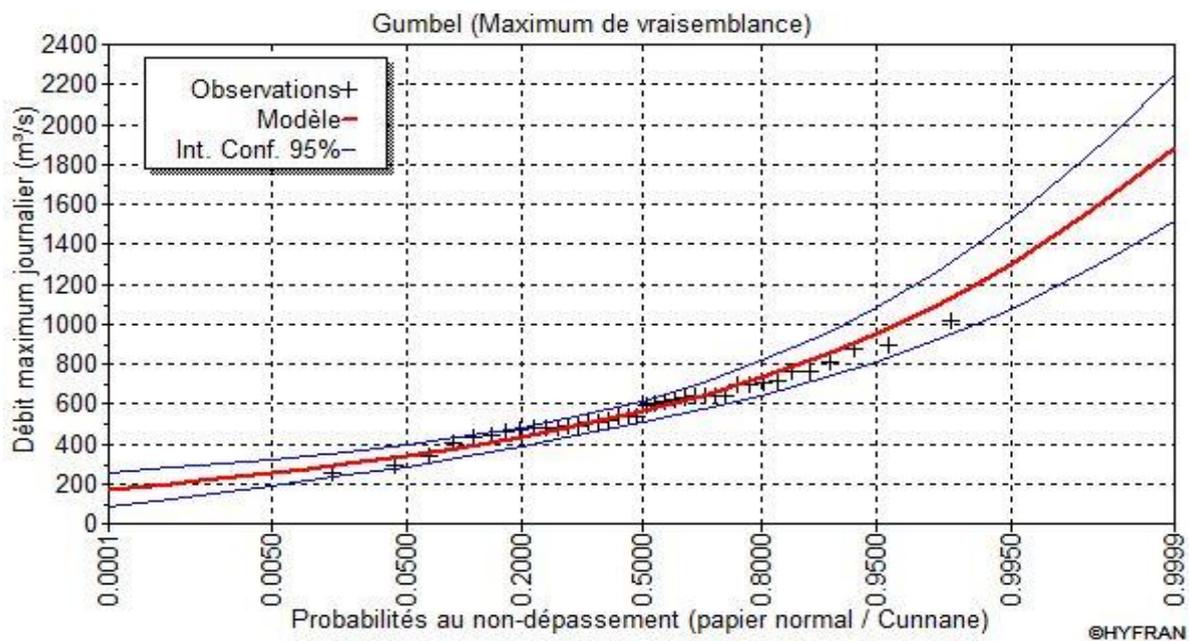


Figure III.1 : Ajustement à loi de GUMBEL.

Calcul des quantiles :

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau 11

Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau 11 : Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour.

Période de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
DJEBAHIA 090403	560	640	730	842	950	1090	1190	1300	1540

Ajustement à la loi LOG-NORMAL (GALTON) :

Après vérification de l'adéquation de la série avec le test Khi-carré

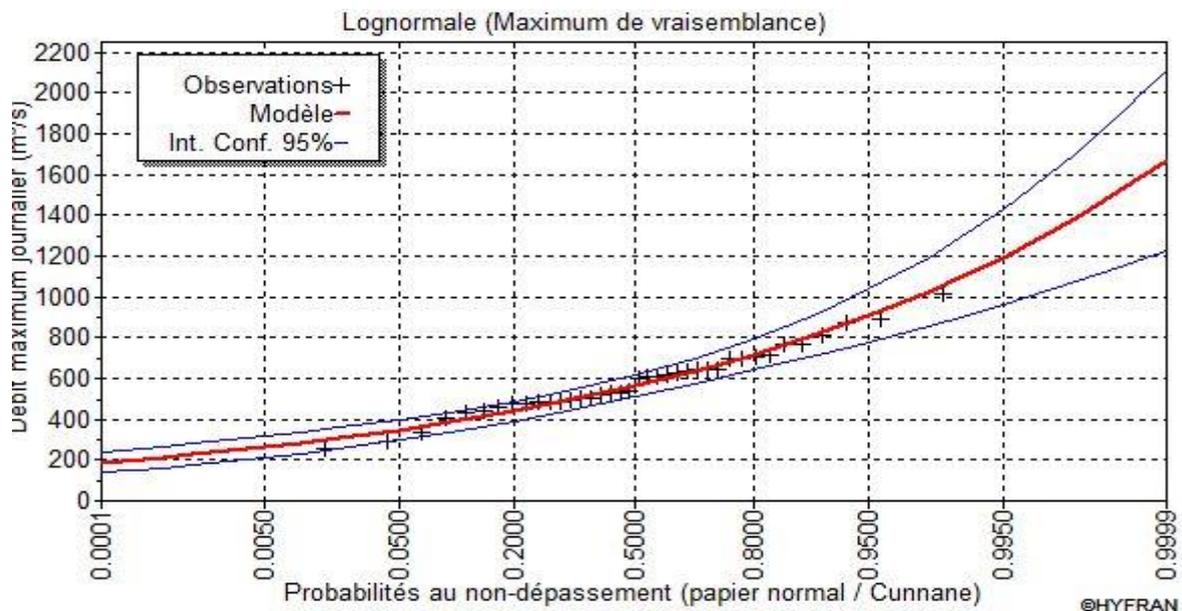


Figure III.2 : Ajustement à loi de LOGNORMAL.

Calcul des quantiles :

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau 12

Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau 12 : Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour.

Periode de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
DJEBAHIA 090403	561	637	718	817	909	1020	1110	1190	1390

Conclusion :

Notre série s'ajuste mieux à la loi LOGNORMALE, tous les points sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance et la majorité des points suivent la droite d'ajustement.

6) Station LAKHDARIA GORGES :

On dispose d'une série de 41 ans :

Caractéristiques de la série :

Tableau 13 : Caractéristiques de la série.

Taille	41
Min	342
Max	1190
Moyenne	703
Ecart-type	187
Médiane	700
Cv	0.267
Cs	0.298
Ck	2.95

Nous procéderons à l'ajustement de la série pluviométrique avec une loi probabiliste

Ajustement de la série :

Nous avons utilisé le logiciel HYFRAN pour l'ajustement des Séries pluviométriques :

Ajustement à la loi Gumbel :

Après vérification de l'adéquation de la série avec le test Khi-carré

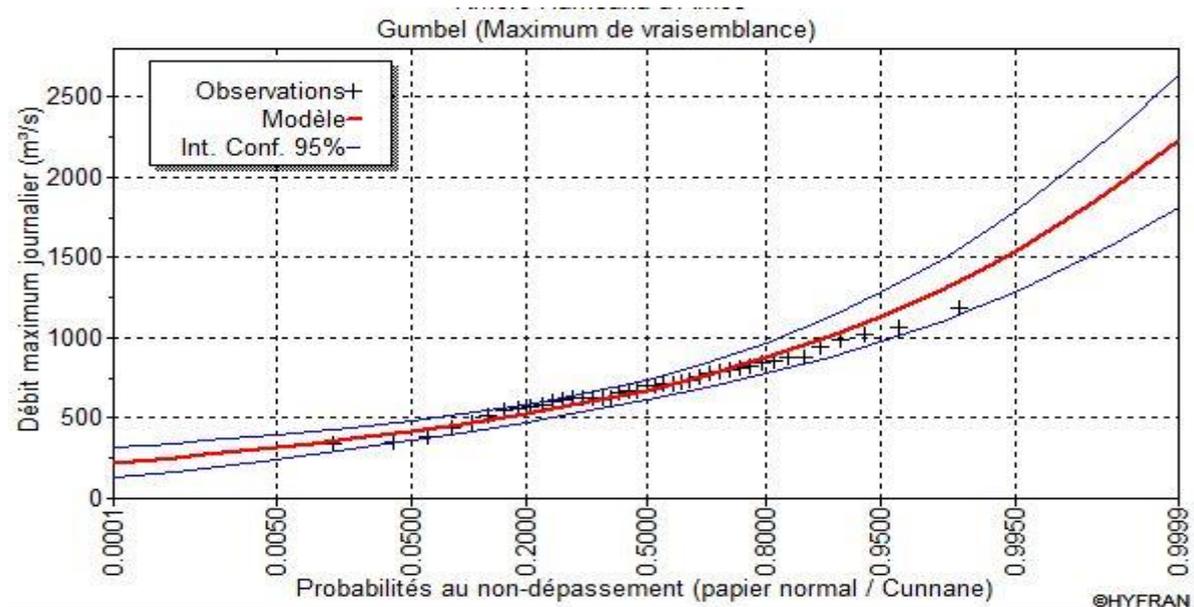


Figure III.1 : Ajustement à loi de GUMBEL.

Calcul des quantiles :

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau 14 Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau 14 : Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour.

Période de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
LAKHDARIA GORGES 090502	675	769	874	1010	1130	1290	1420	1540	1820

Ajustement à la loi LOG-NORMAL (GALTON) :

Après vérification de l'adéquation de la série avec le test Khi-carré

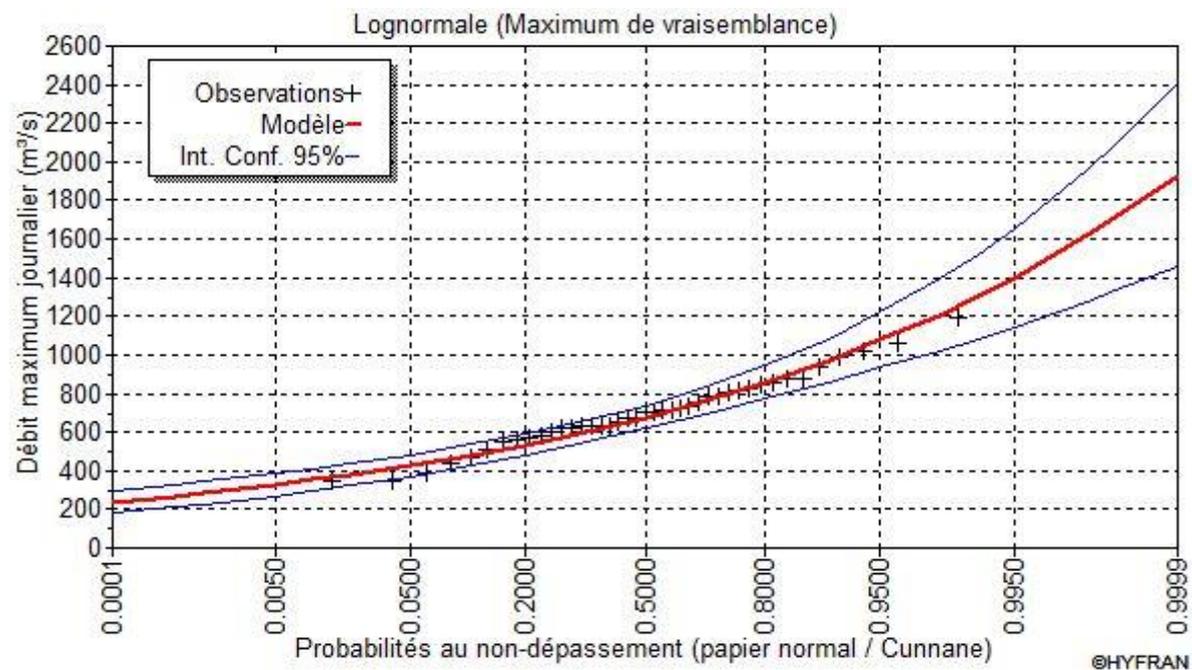


Figure III.2 : Ajustement à loi de LOGNORMAL.

Calcul des quantiles : Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau 15

Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau 15 : Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour.

Periode de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
LAKHDARIA GORGES 090502	678	765	858	972	1080	1210	1300	1400	1620

Conclusion :

Notre série s'ajuste mieux à la loi LOGNORMALE, tous les points sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance et la majorité des points suivent la droite d'ajustement.

7) Station EL OMARIA :

On dispose d'une série de 41 ans :

Caractéristiques de la série :

Tableau 16 : Caractéristiques de la série.

Taille	41
Min	182
Max	689
Moyenne	435
Ecart-type	126
Médiane	436
Cv	0.289
Cs	-0.0111
Ck	2.16

Nous procéderons à l'ajustement de la série pluviométrique avec une loi probabiliste

Ajustement de la série :

Nous avons utilisé le logiciel HYFRAN pour l'ajustement des Séries pluviométriques :

Ajustement à la loi Gumbel :

Après vérification de l'adéquation de la série avec le test Khi-carré

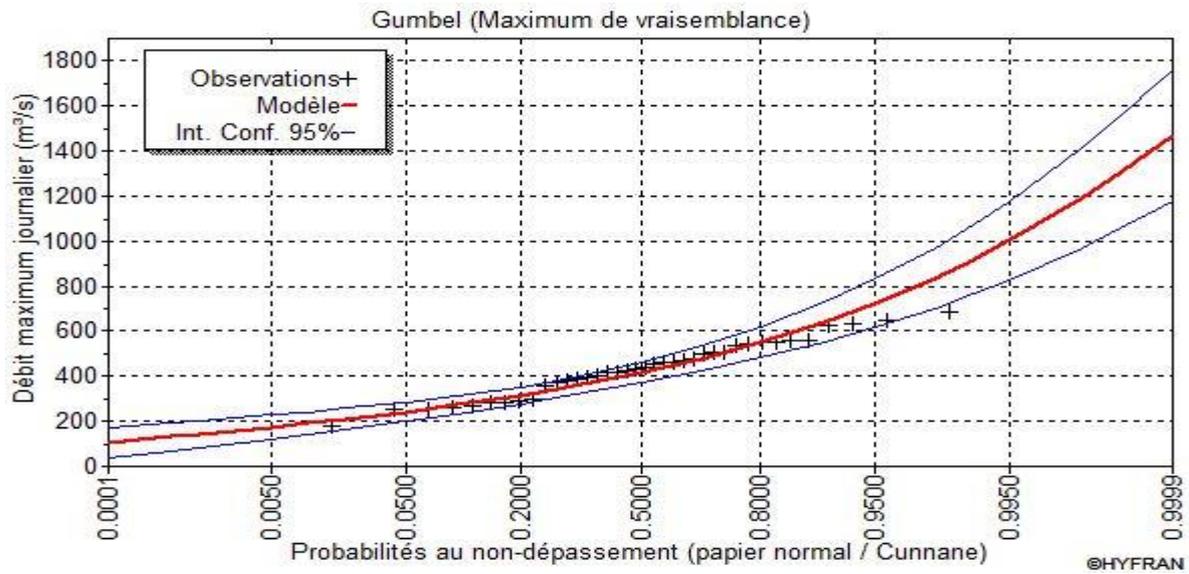


Figure III.1 : Ajustement à loi de GUMBEL.

Calcul des quantiles :

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau 17. Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau 17 : Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour.

Période de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
EL OMARIA 090201	416	480	551	640	726	837	920	1000	1190

Ajustement à la loi LOG-NORMAL (GALTON) :

Après vérification de l'adéquation de la série avec le test Khi-carré

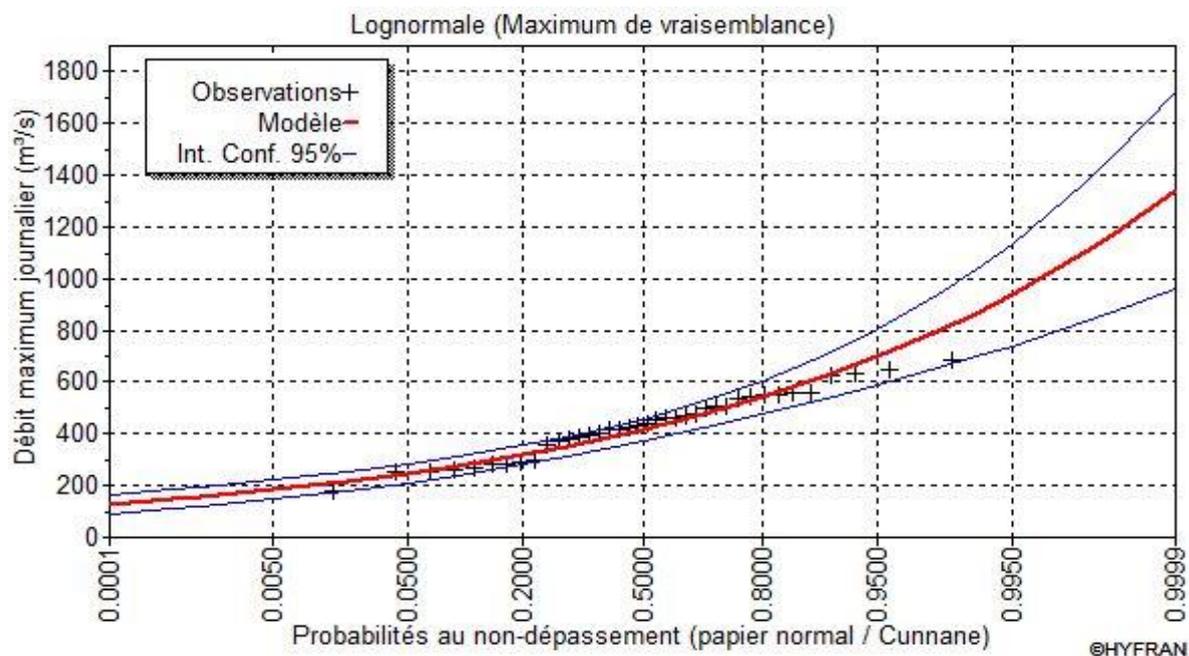


Figure III.2 : Ajustement à loi de LOGNORMAL.

Calcul des quantiles :

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour donne les résultats dans le tableau 18

Les intervalles de confiance : $P[X_1 < X < X_2] = 95\%$

Tableau 18 : Précipitation annuelles pour différentes périodes de retour.

Periode de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
EL OMARIA 090201	416	476	542	623	698	794	865	936	1100

Conclusion :

Notre série s'ajuste mieux à la loi LOGNORMALE, tous les points sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance et la majorité des points suivent la droite d'ajustement.

Tableau récapitulatif des différents résultats pour les différentes stations :

Tableau 19 : Récapitulatif pour différentes périodes de retour.

Période de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	1000
SOUAGUI 90104	330	367	407	545	496	549	588	625	710
TABLATDRS 90203	555	631	715	822	924	1060	1150	1250	1480
DJOUAB 90301	494	564	640	732	818	927	1010	1090	1270
Beni Slimane 90302	371	412	457	509	558	617	660	703	798
DJEBAHIA 90403	561	637	718	817	909	1020	1110	1190	1390
LAKHDARIA GORGES 90502	678	765	858	972	1080	1210	1300	1400	1620
EL OMARIA 90201	416	476	542	623	698	794	865	936	1100

Tableau 20 : Récapitulatif des résultats d'ajustement des précipitations.

Station pluviométrique	Loi d'ajustement
SOUAGUI 90104	Loi lognormal (Galton)
TABLATDRS 90203	Loi lognormal (Galton)
DJOUAB 90301	Loi lognormal (Galton)
Beni Slimane 90302	Loi lognormal (Galton)
DJEBAHIA 90403	Loi lognormal (Galton)
LAKHDARIA GORGES 90502	Loi lognormal (Galton)
EL OMARIA 90201	Loi lognormal (Galton)

Les Test d'homogénéité des séries pluviométriques:

1) Station de Béni Slimane :

Les conditions du test sont les suivantes:

$$N_S > \frac{1}{2}(N + 1 - u_{1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{N + 1})$$

$$T_S < 3.3(\log_{10}N + 1)$$

$$\begin{aligned} \text{Donc : } N_S &> 0.5*(40+1-1.96*(40+1)^{0.5}) && \rightarrow N_S=17 >14.28 \\ T_S &< 3.3*(\log_{10}(40+1)) && \rightarrow T_S=4 <5,32 \end{aligned}$$

Donc la série pluviométrique de la station de Béni Slimane est homogène

2) Station Lakhdaria Gorge :

Les conditions du test sont les suivantes:

$$N_S > \frac{1}{2}(N + 1 - u_{1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{N + 1})$$

$$T_S < 3.3(\log_{10}N + 1)$$

$$\begin{aligned} \text{Donc : } N_S &> 0.5*(41+1-1.96*(41+1)^{0.5}) && \rightarrow N_S=19 >14.71 \\ T_S &< 3.3*(\log_{10}(41+1)) && \rightarrow T_S=5 <5,35 \end{aligned}$$

Donc la série pluviométrique de la station de Lakhdaria est homogène

3) Station de Djouab :

Les conditions du test sont les suivantes:

$$N_S > \frac{1}{2}(N + 1 - u_{1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{N + 1})$$

$$T_S < 3.3(\log_{10}N + 1)$$

$$\begin{aligned} \text{Donc : } N_S &> 0.5*(41+1-1.96*(41+1)^{0.5}) && \rightarrow N_S=21 >14.71 \\ T_S &< 3.3*(\log_{10}(41+1)) && \rightarrow T_S=4 <5,35 \end{aligned}$$

Donc la série pluviométrique de la station de Djouab est homogène

4) Station El Omaria

Les conditions du test sont les suivantes:

$$N_S > \frac{1}{2}(N + 1 - u_{1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{N + 1})$$
$$T_S < 3.3(\log_{10}N + 1)$$

Donc : $N_S > 0.5*(41+1-1.96*(41+1)^{0.5}) \rightarrow N_S=21 >14.71$
 $T_S < 3.3*(\log_{10}(41+1)) \rightarrow T_S=5 < 5,35$

Donc la série pluviométrique de la station de El Omaria est homogène

5) Station Djebahia

Les conditions du test sont les suivantes:

$$N_S > \frac{1}{2}(N + 1 - u_{1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{N + 1})$$
$$T_S < 3.3(\log_{10}N + 1)$$

Donc : $N_S > 0.5*(41+1-1.96*(41+1)^{0.5}) \rightarrow N_S=21 >14.71$
 $T_S < 3.3*(\log_{10}(41+1)) \rightarrow T_S=5 < 5,35$

Donc la série pluviométrique de la station de Djebahia est homogène

6) Station Tablat DRS :

Les conditions du test sont les suivantes:

$$N_S > \frac{1}{2}(N + 1 - u_{1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{N + 1})$$
$$T_S < 3.3(\log_{10}N + 1)$$

Donc : $N_S > 0.5*(41+1-1.96*(41+1)^{0.5}) \rightarrow N_S=20 >14.71$
 $T_S < 3.3*(\log_{10}(41+1)) \rightarrow T_S=5 < 5,35$

Donc la série pluviométrique de la station de Tablat DRS est homogène