

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des sciences de l'Eau et Environnement



MEMOIRE DE MASTER

Filière : **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Thème

Modélisation pluies / débits par contribution de la télédétection et des réseaux de neurones artificiels. Cas du bassin versant de l'oued ISSER

Présenté par :

LIAZIDI Massinissa

et

SAMET Hamid

Devant le jury composé de :

Mme. TAIBI Sabrina

MCA

Présidente

Mme. BENZINEB Khadidja

MCA

Examinatrice

Mr. BOUZERIA Housseyn

MCB

Promoteur

Année universitaire : 2021 /2022

ملخص

أصبح النموذج الهيدرولوجي أداة أساسية لمختلف المجالات: التخطيط، وبناء الهياكل الهيدروليكية، والوقاية من الفيضانات وتحديدها مسبقاً، ودراسات تغير المناخ، والآثار البشرية، وتأثيرات الكوارث الطبيعية، وإعادة بناء المناخ عن طريق علم الحفريات، إلخ.

يمثل هذا العمل نمذجة تدفق المطر من خلال نموذج الشبكات العصبية الاصطناعية المطبقة على جزء من مستجمعات المياه في وادي ISSER بعد الخطوة الزمنية الشهرية.

قدمنا أولاً لمحة عامة عن النمذجة الهيدرولوجية؛ ثم قدمنا منطقة الدراسة لحوضين فرعيين من واد يسر، وإطارها الهيدرولوجي، وأخيراً وصف بيانات الإدخال وتطبيق نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية في منطقة دراستنا حيث تمكنا من التحقق من موثوقية نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية المطبق على أحواض البحر الأبيض المتوسط شبه القاحلة

الكلمات المفتاحية: الهيدرولوجيا، النمذجة، الجريان السطحي للأمطار، المستجمعات الفرعية، نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية

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 à une partie du bassin versant de l'oued ISSER suivant le pas temps mensuelles.

Nous avons donné dans un premier temps un aperçu sur la modélisation hydrologique ; ensuite nous avons présenté la zone d'étude de deux sous bassins (OUED ISSER MOYEN et OUED ISSER MARITIME,) et son cadre hydrologique, et enfin une description sur les données d'entre et application du modèle Réseau neuronal artificiel sur notre zone d'étude ou on a pu vérifier la fiabilité du model Réseau neuronal artificiel appliqué sur des bassins méditerranéens semi-arides

Mots clés : hydrologique, modélisation, pluie-débit, sous bassin versant, modèle réseau neuronal artificiel.

Abstract

The hydrological model has become an essential tool for various fields: Planning, construction of hydraulic structures, prevention and predetermination of floods, studies of climate change, anthropogenic impacts, impacts of natural disasters, reconstruction of climates by paleontology, etc.

This work represents the Rainfall-Runoff modeling by the model of artificial neural networks applied to part of the watershed of the Oadi ISSER following the monthly time step.

We first gave an overview of hydrological modelling; then we presented the study area of two under watershed (OUED ISSER MOYEN and OUED ISSER MARITIME,), and its hydrological framework, and finally a description of the input data and application of the Artificial Neural Network model on our area of study where we were able to verify the reliability of the Artificial Neural Network model applied to semi-arid Mediterranean basins

Keywords : hydrology, modelling, rainfall-runoff, sub-catchment, Artificial Neural Network model.

J'ai l'honneur de dédie ce modeste travail à Ma famille **LAIZIDI** Et aux personnes les plus chères au monde mes chers parents

A mon père : **BRAHIM**

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est fruit de tes sacrifices qui tu as consentis Pour mon éducation et ma formation.

A ma très chère mère : **MILOUDI**

Tu es l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de Prier pour moi. Et Puisse **Dieu**, le tout puissant, te préserver t'accorder Santé, longue vie et bonheur.

A mes chers **sœurs et frères**

A mes **enseignants**

A mes **camarades**

A mes **amis**

LIAZIDI M.

Dédicace

Je dédie mon travail

A mes parents pour leurs sacrifices et leur soutien, qu'Allah soit
avec eux.

A mes frères et mes sœurs qui ont crus en moi tout au long de mon
parcours scolaire.

A mes grands-parents qui n'ont cessé de prier pour moi et à
mes amis qui m'ont soutenue.

Je vous remercie tous.

SAMET H.

Remerciement

Avant tout, on remercie Dieu le tout puissant, pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté d'étudier et pour nous avoir permis de réaliser ce modeste travail dans les meilleures conditions

on tient à remercier vivement tous ceux qui nous ont apporté leur soutien pour l'élaboration de ce Projet de fin d'étude, particulièrement :

Notre promoteur monsieur **BOUZERIA Housseyn** de nous avoir accompagné tout le long de la formation.

Et de m'avoir encadré, il a été pour moi un enseignant privilégié de par sa gentillesse, son expérience, je le remercie pour sa rigueur, ses encouragements ainsi que pour ses critiques et conseils constructifs pour aboutir à cette thèse.

Aux membres du jury qui auront à juger et à apprécier ce travail.

Je remercie Mme **TAIBL.S.** d'avoir accepté d'être une Présidente d'avoir accepté de lire et de juger mes travaux, je les remercie pour leurs critiques et précieux conseils sur cette recherche.

Je remercie Mme **BENZINIEB.Kh.** D'avoir accepté d'être une Examinatrice d'avoir accepté de lire et de juger mes travaux, je les remercie pour leurs critiques et précieux conseils sur cette recherche.

Je voudrais aussi remercier l'ensemble des professeurs de l'université de Saad Dahlab Blida pour avoir veillé à notre formation

On tient aussi à remercier nos amis qui ont aidé pendant la réalisation du projet.

Sommaire

Résumé	
Abstract	
Dédicace	
Remerciements	
Sommaire	
Liste des tableau	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Synthèse Bibliographiques

I.1. Introduction.....	2
I.2. Définition d'un modèle	2
I.3. Objectif de la modélisation.....	2
I.4. Classification des modèles	3
1.5. Le choix du modèle.....	3
I.6.1. Les précipitations.....	4
I.6.1.1. Les précipitations convectives.....	4
I.6.1.2. Les précipitations frontales.....	4
I.6.1.3. Les précipitations orographiques	4
I.6.2. Le débit	5
I.6.2.1 Débit solide	5
I.6.2.2. Relations entre la pluie et le débit	5
I.6.3. Evapotranspiration.....	6
I.6.3.1. Formule de THORNTHWAITE (1948).....	6
I.6.4. Définition du NDVI.....	7
I.7. Modèles boîte noire « Réseau de neurone ».....	7
I.7.1 Principe du neurone artificiel	7
I.7.1.1. Pondération.	8
I.7.1.2. Sommation.....	8
I.7.1.3. Activation.....	8
I.7.2 Définition	8
I.7.2.1. Couche d'entrée.	8
I.7.2.2. Couches cachées.....	9
I.7.2.3. Couche de sortie.....	9
I.7.3. Architecture des réseaux de neurones.....	9

Sommaire

I.7.4 Les réseaux de neurones statiques.....	9
I.7.5 Les réseaux de neurones bouclés.....	9
I.8. Critères de validation des modèles.....	10
I.9. Différent travaux sur les réseaux de neurones.....	11
I.9.1. Travaux de Mr Dechmi, Mr Benkaci et Mr Issolah.....	11
I.9.2. Travaux de Mr El Ghachtoul, Y.Derraz, M.Lek, S.Dimopoulos.....	11
I.10. Télédétection.....	12
I.10.1. Système D'Information Géographique.....	12
I.11.2. Développement de réseaux de neurones peu profonds avec MATLAB.....	13
I.11.3. Processus type de conception de réseaux de neurones.....	13
I.12. Conclusion.....	14

Chapitre II : Description de la zone d'étude

Introduction.....	15
II.1. Localisation géographique.....	15
II.2. Caractéristiques morpho métriques des sous bassins versants.....	16
II.2.1. Courbe hypsométrique.....	16
II.2.2. Altitudes caractéristiques.....	18
II.2.3. Intégrale hypsométriques.....	19
II.2.4. Diagramme des fréquences altimétriques.....	19
II.3. Caractéristiques géométriques.....	20
II.3.1. Superficie.....	20
II.3.2. Périmètre.....	20
II.3.3. Caractéristiques hydro morphologiques.....	20
II.3.3. 1. Indice de compacité de Gravelius Kc.....	20
II.3.3.2. Coefficient d'allongement.....	21
II.3.3.3. Rectangle équivalent.....	21
II.3.3.4. La dénivelée (D).....	21
II.3.3.5. Indice de pente de Roche Ip.....	22
II.3.3.6. Indice de pente globale Ig.....	23
II.3.3.7. La dénivelée Spécifique « Ds ».....	23
II.3.3.8. Indice de pente moyenne.....	24
II.4. A- Caractéristiques physiographiques.....	24
II.4.1. Densité de drainage.....	25

Sommaire

II.4.2. Fréquence des talwegs élémentaires	25
II.4.3 Coefficient de torrentialité.....	26
II.4.4. Rapport de confluence des talwegs	26
II.4.5. Rapport des longueurs des talwegs.....	27
II.4.6. Temps de concentration du bassin versant tc	27
II.4.7. Vitesse de ruissellement	28
II.5. Les pentes.....	29
II.6. Réseau hydrographique.....	31
II.7. Végétation	32
II.8. Ressources en eaux.....	33
II.8.1.Eaux superficielles.....	33
II.8.2. Eaux souterraines.....	33
II.8.2.1. Nappe du moyen ISSER	33
II.8.2.2. Nappe du bas ISSER.....	34
II.9. Pluviométrie.....	34
II.9.1. Identification des stations pluviométriques	34
II.10. Climatologie	36
II.10.1. climat	36
II.10.2. Température	36
II.11. Stations hydrométriques.....	37
II.12.Conclusion.....	38

Chapitre III : les Données et méthodes

III.1. Introduction	45
III.2. Les Données.....	45
III.2.1. Traitement des données pluviométriques.....	45
III.2.1.1. Précipitations.....	46
III.2.1.2. Traitement des données pluviométriques.....	46
III.2.1.3. Calcul de pluie moyenne sur l'ensemble du bassin versant.	47
III.2.2.3.1. La Méthode des polygones de Thiessen	47
III.2.2. Evapotranspiration.....	49
III.2.2.1. Formule de THORNTHWAITE (1948).....	49
III.2.3. Indice de Végétation par Différence Normalisée NDVI	50
III.2.3. Répartition de le Débits.....	52

Sommaire

III.3. Les données du modèle.....	52
III.4. Conclusion	53

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.1. Introduction.....	53
IV.2. Résultats.....	53
VI.3. Discussions.....	54
IV.3.1. le modèle à une seule entrée.....	54
IV.3.1.1. La pluie (Pt).....	54
IV.3.2. le modèle à Plusieurs entrées.....	55
IV.3.2.1 La structure du modèle Pt, Pt-1, Pt-2, Qt-1.....	56
IV.4. le calibrage et validation.....	57
IV.4. Conclusion	59
V. Conclusion générale.....	62
VI. Référence bibliographique	62

Liste des tableaux

Tableau II.1. Répartition altimétrique de la zone étudiée	17
Tableau II.2. Répartition altimétrique altitude moyen de deux sous bassin versant d'ISSE.....	20
Tableau II.3. Détermination de l'indice de pente de ROCHE Ip.....	22
Tableau II.4. Classification du relief selon Ig par l'IRD.....	23
Tableau II.5 : La classification du relief selon Ds par l'IRD.....	24
Tableau II.6. Résultats de la classification du réseau hydrographique de bassin versant selon STRAHLER.....	25
Tableau II.7. Caractéristiques hydrologiques du deux sous bassin d'ISSER.....	28
Tableau II.8. Classe des pentes des sous bassins étudiés.....	29
Tableau II.9. Les deux Sous bassins de l'ISSER.....	30
Tableau II.10. Stations pluviométriques sur les deux sous bassin ISSER.....	35
Tableau II.11. Identification des stations météorologiques.....	36
Tableau II.12. Températures Max et température Min.....	37
Tableau II.13. Caractéristiques de la station hydrométrique LAKHDARIA.....	37
Tableau III.1. Corrélation mois par mois entre les stations.....	47
Tableau III.2. Pluies moyennes mensuelles des de douze (12) stations pluviométriques.....	48
Tableau III.3. L'évapotranspiration moyenne mensuelle sur l'ensemble du bassin.....	50
Tableau III.4. Valeurs moyennes mensuelles de l'NDVI.....	51
Tableau IV.1. Résultats des différentes corrélations entre les débits.....	54
Tableau IV.2. Résultats des différentes corrélations entre les débits.....	56
Tableau IV. 3. Résultats de la modélisation.....	58

Liste des figures

Figure I.1 : Schématisation de simulation entre la réalité et la modélisation.....	3
Figure I.2. Structure des modèles ‘boîte noire’	7
Figure I.3. Neurone artificiel.	7
Figure I.4. Différents types de fonction de transfert pour le neurone artificiel.....	8
Figure I.5. Réseau de neurones statique (non bouclé)	9
Figure I.6. Réseau de neurone bouclé.....	10
Figure II.1. Carte du Bassin versant ISSER.....	15
Figure II.2. Situation géographique de la zone d’étude.....	16
Figure II.3. représente la courbe hypsométrique du doux SBV de l’ISSER.....	17
Figure II.4. Diagramme des fréquences altimétriques de bassin d’étude.....	19
Figure II.5. Carte des élévations des deux sous bassin de L’ISSER.....	28
Figure II.6. Carte des pentes des sous bassins versants.....	30
Figure II.7. Classes des pentes des SBV	31
Figure II.8. Carte de Réseau Hydrographique des Sous Bassin versants.....	32
Figure II.9. Histogramme des précipitations moyennes interannuelles.....	35
Figure II.10. Distribution annuelle des débits.....	37
Figure III.1. Distribution des pluies moyenne mensuelles.....	49
Figure III.2. Distribution moyenne mensuelle de l’ETP.....	50
Figure III.3. Distributions moyennes mensuelles de l’NDVI.....	51
Figure III.4. Répartition moyenne mensuelle de débit.....	52
Figure IV.1 : Schéma de réseau de neurone (A une seul entrée)	54
Figure IV.2. Corrélations entre les débits observés et les débits estimés par le modèle Pt.....	55
Figure IV.3: Schéma de réseau de Neurone (a plusieurs entrées).....	55
Figure IV.4: corrélation débits réels-débits simulés par le modèle RNA obtenu.....	56
Figure IV. 5: la variation du débit réel et simulés.....	57
Figure IV.6. Variations des séries de validation de NSE et R2 des réseaux.....	58

Liste des Abréviations

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydraulique.

ONM : Office National de la Météorologie.

ANBT : Agence Nationale des Barrages et transferts

P : Précipitations

Q : Débits

NDVI : L'indice de Végétation par Différence Normalisée

ETP : l'indice de l'Evapotranspiration potentielle

RNA : Réseau des neurones artificiels.

GEV : Loi des extrêmes généralisés.

BV : Bassin Versant

SBV : Sous Bassin Versant

PMC : Les Perceptrons Multicouche.

MNT : Modèle Numérique de Terrain.

IDW: Inverse Distance Weighted

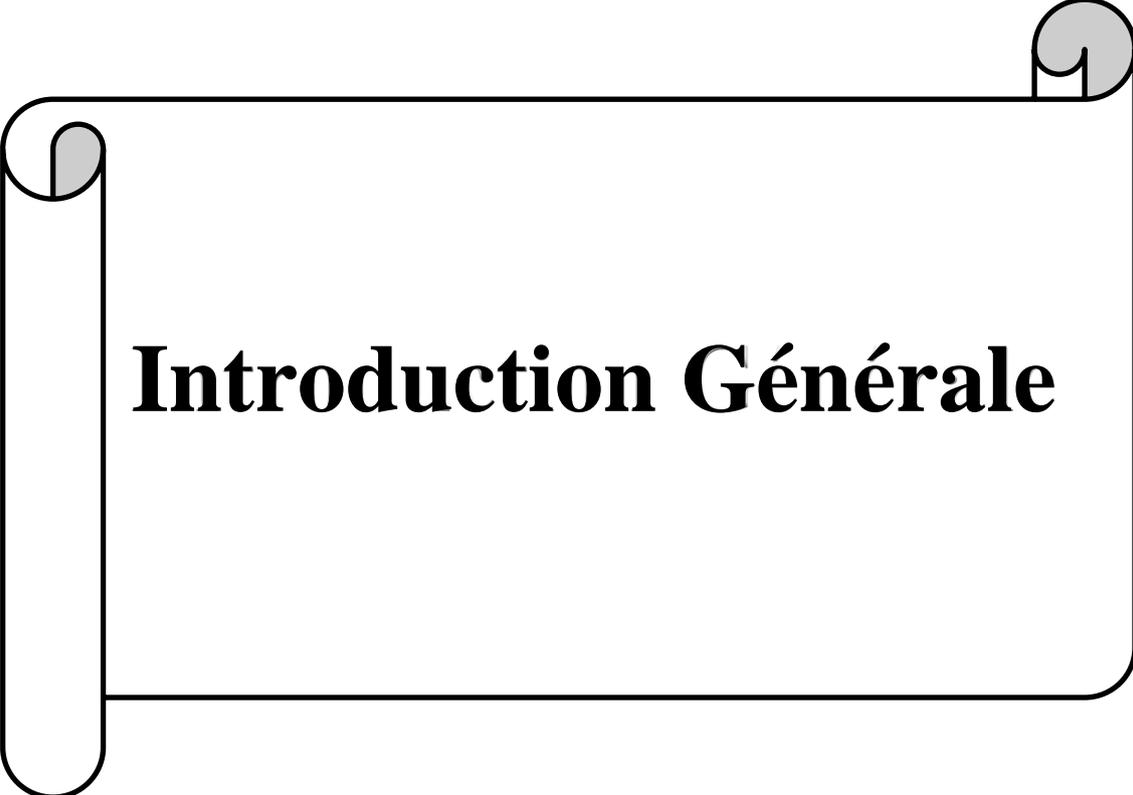
SIG : Système d'Information Géographique.

IRD : l'Institut de recherche pour le développement.

DD : Degrés Décimaux.

NIR : l'intensité de la lumière en proche infra-rouge.

RED : l'intensité de la lumière en canaux rouge.



Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction générale

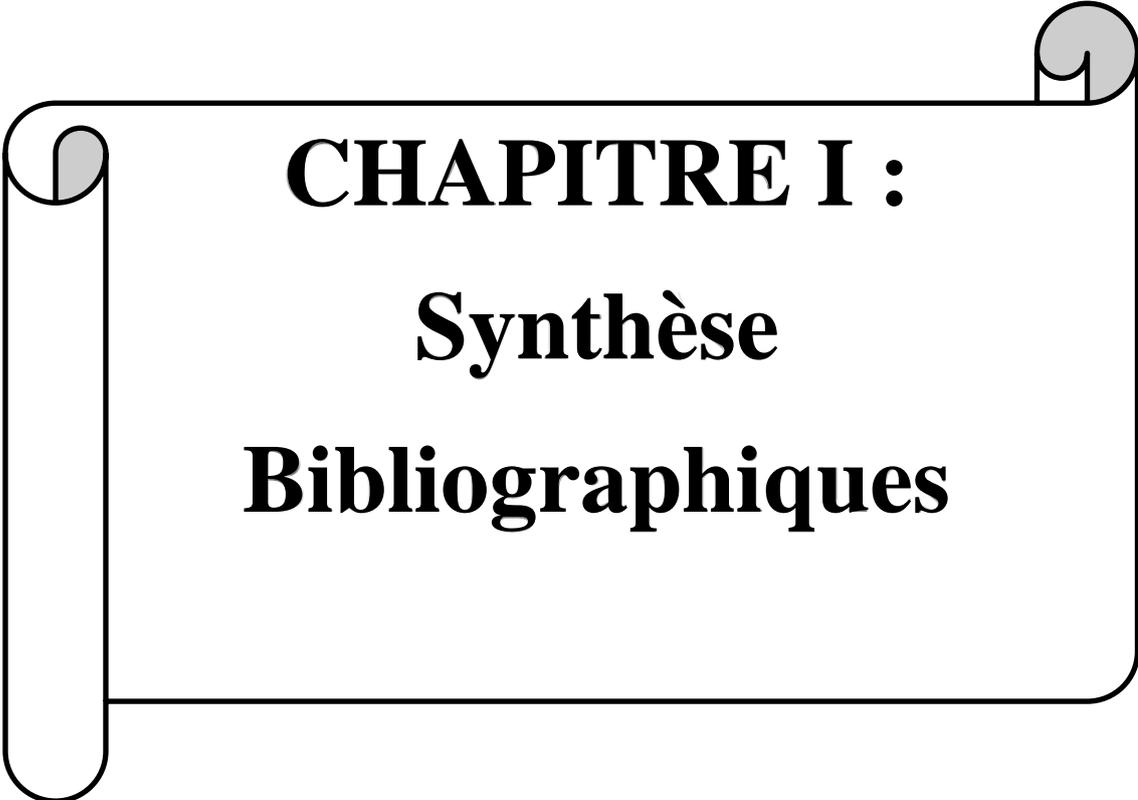
L'eau est une molécule composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. (Lavoisier et Laplace, 1783), elle recouvre 72 % de la surface du globe. C'est ainsi qu'on surnomme la terre la planète bleue. On estime son volume à environ 1400 millions de Km³. Ce qui représente un cube de plus de 1000 km de côté. Ce volume d'eau reste stable à travers les âges. L'eau de la planète bleue est à 97,2 % salée. Cette eau salée se retrouve dans les océans, les mers intérieures, mais aussi dans certaines nappes souterraines. L'eau douce représente 2,8 % de l'eau totale du globe. Dans ce faible pourcentage, les glaces polaires représentent 2,1 % et l'eau douce disponible 0,7 % de la surface du globe terrestre selon le Centre d'Information sur l'Eau (C.I. eau) ; sans eau la vie serait impossible et inenvisageable comme on le constatant dans les autres planète du système solaire, cela est dû au faites que tous les organisme vivant dépends de cette ressource; les plantes qui absorbe les minoré de la terre grâce à l'eau, les animaux qui se nourrissent de c'est plantes et enfin l'homme qui est au-dessus de la chaine alimentaire ne peuvent coexister sans cette matière essentiel. En plus d'être l'essence même de la vie sur terre, l'eau est un facteur économique décisionnel vus qu'elle rentre dans les divers domaines de développement des états, alimentation en eau potable, agriculture, industrie. Alor comment on peut prévisionnels dans les bassins versants algérien.

Dans ce contexte, on comprend alors aisément la nécessité de mettre au point des outils d'aide à la gestion et à la décision. Parmi les outils disponibles pour tenter d'utiliser au mieux cette ressource et suivre son évolution dans le temps et l'espace, on a les modèles pluie-débit. L'apparition et l'essor des modèles pluie-débit ont commencé dans les années soixante. 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...). (Nascimento, 1995).

Pour ce faire, nous allons appliquer le modèle pluie débits sur les sous bassins versants de l'oued Isser moyen et Isser Maritime. L'objectif est de trouver les paramètres optimaux de ce modèle qui permettent une meilleur simulation afin d'apprécier les débits simulés pour la prévision.

Pour aboutir aux objectifs visés, le mémoire est subdivisé en quatre chapitres précédés d'une introduction générale et suivis d'une conclusion générale, ordonnés de la manière suivante:

- Le premier chapitre, comprend des généralités sur la modélisation notamment leur définition, leurs objectifs, les choix et les facteurs de choix de modèle.
- Le second présente une description générale de la zone d'étude à travers une situation des deux sous bassins versants de leurs caractéristiques morphologiques et géographiques et géométriques.
- Alors que le troisième chapitre, sera consacré à la présentation des données et expliquer les méthodes utilisées dans ce chapitre.
- Le dernier chapitre sera réservé pour les discussions des résultats trouvés.



CHAPITRE I :
Synthèse
Bibliographiques

I.1. Introduction

Il y a plusieurs 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) et compris l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et le débit précédent, comme données d'entrées.

Chaque point d'un cours d'eau permet de définir les bassins versants et les débits observés en ce point sont directement liés aux précipitations tombées sur ces bassins. A partir des observations faites en quantifiant la pluie tombée, on peut arriver à reproduire la réponse en débit du bassin versant. La simulation hydrologique de ce dernier, décrite comme la transformation de la pluie en débit passe par l'utilisation d'un modèle hydrologique.

Enfin, La méthodologie a consistée d'évaluer le modèle utilisé sur la zone d'étude testé à partir des critères de performance et de robustesse, en utilisant le modèle basés sur les données des réseaux de neurones artificiel RNA au pas de temps mensuel. Après une présentation du concept et des idées de base des modèles basés sur les données RNA nous mènerons la réflexion en vue d'évaluer l'efficacité de modèles.

I.2. Définition d'un modèle

Il semble important, avant de rentrer dans l'étude de façon approfondie, de définir ce qu'est un modèle afin d'expliquer les choix de l'outil de modélisation utilisé dans notre étude.

Un modèle permet donc d'approcher de façon figurative des systèmes hydrologiques complexes. Le plus souvent basé sur la représentation mathématique ou physique des processus, il intègre les différentes phases du cycle de l'eau, en tentant de s'approcher au maximum de ce qui se passe dans la réalité. Michel (1989) et Refsgaard et Abbott (1996).

I.3. Objectif de la modélisation

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

- Simulation de débits, pour le comblement de lacunes dans des séries de données, la reconstitution de débits historiques (les données de pluie étant souvent disponibles sur des périodes beaucoup plus longues que les débits) ou pour permettre des traitements statistiques ;
- Prédétermination des débits de crue ou d'étiage (analyse fréquentielle) : pour savoir avec quelle fréquence des débits de crue (supérieurs à un seuil de risque par exemple) ou des faibles débits (en deçà d'un débit réservé par exemple) risquent de se produire, et sur quelle durée. Cette connaissance peut permettre le dimensionnement d'ouvrages et de réservoirs ou d'aménagements dans le lit (mineur à majeur) du cours d'eau ;

- Prédiction des crues et des étiages : il s'agit d'évaluer par avance (avec un délai de quelques heures à quelques jours), connaissant l'état du bassin, les débits de crues susceptibles de présenter des risques (inondation) ou les débits d'étiages pouvant demander de mettre en place une gestion particulière de la ressource (par des barrages- réservoirs par exemple) pour assurer l'approvisionnement en eau ou la préservation de la vie aquatique.
- Influence d'aménagements sur l'hydrologie : c'est de prédire les changements de la réponse du bassin suite à des modifications des caractéristiques du bassin d'origine humaine ou à des changements environnementaux.

Ces problématiques font résulter deux aspects importants, celui de l'évaluation du risque et celui de la gestion de la ressource. La pertinence des réponses que l'on peut leur apporter est conditionnée par celle du modèle dans sa représentation du bassin relativement aux objectifs fixés. Si d'autres approches hydrologiques que la modélisation pluie-débit propose des réponses à certaines de ces problématiques (analyse fréquentielle statistique sur les débits pour la prédétermination), cette dernière paraît cependant très intéressante pour des questions supposant un traitement temporel continu, comme la prédiction des débits. Dans ce cas, le fait de remonter à l'origine des débits (la pluie) permet en plus de bénéficier d'un délai supplémentaire par rapport à des méthodes n'exploitant que l'information sur les débits.

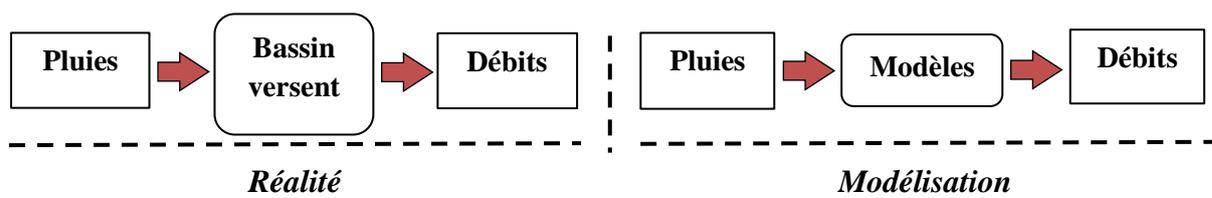


Figure I.1 : Schématisation de simulation entre la réalité et la modélisation.

I.4. Classification des modèles

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)

1.5. Le choix du modèle

Le choix du modèle reste toujours une étape délicate dans la mesure où nous n'avons pas d'idée des processus hydrologiques du bassin, il dépend essentiellement des objectifs et des données disponibles.

On peut distinguer deux critères de choix :

- La fidélité de la représentation des processus du bassin versant.
- Sa capacité à reproduire le phénomène étudié, sans s'intéresser à la fidélité de la représentation.

Le premier critère est très difficile à remplir, tandis que la capacité de reproduire le phénomène étudié semble être le seul critère capable de satisfaire les objectifs de l'utilisation.

I.6. les entrées de modèle.

Ici, les entrées de modèle sont présent comment suivants ;

I.6.1. Les précipitations.

Les précipitations comprennent toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide-bruine, pluie, averse – que sous forme solide- neige, grésil, grêle. Elles résultent de la condensation de la vapeur d'eau présente dans l'air, qui au contact d'air plus froid, s'élève, se condense autour de noyaux de condensation pour former des nuages. Si la condensation est importante, les gouttes d'eau s'alourdissent et finissent par tomber, pour donner de la pluie ou d'autres formes de précipitations suivants les conditions de température. La formation de précipitations intenses nécessite un apport continu d'air humide dans la région considérée. Ces processus impliquent un nombre important de mécanisme différents (Musy et al., 2009a).

Selon Musy, Les caractéristiques des précipitations sont fortement conditionnées par la circulation de l'atmosphère du moment et par les caractéristiques des masses d'air en présence. On distingue :

I.6.1.1. Les précipitations convectives

Résultent, par exemple, de la condensation d'une masse d'air instable chargée d'humidité qui se refroidit s'élevant du fait de son instable. Elles sont en général de courte durée, de forte intensité, peu étendues et fortement variable dans le temps et dans l'espace. Elles peuvent conduire à la formation de cellules pluvieuses uniques ou multiples regroupées dans des systèmes à méso-échelles.

I.6.1.2. Les précipitations frontales

Résultent de la confrontation d'une masse d'air froid et d'une masse d'air chaud. Les précipitations générées par un front froid sont souvent brèves et intenses, peu étendues, stratiformes si l'air chaud est stable. Si l'air chaud est instable, les précipitations sont alors convectives et peuvent conduire à des lignes de grains. Les précipitations générées par un front chaud sont généralement longues, étendues et peu intenses. Leur variabilité spatiale et temporelle est limitée.

I.6.1.3. Les précipitations orographiques

Les précipitations sont aussi fortement conditionnées par les caractéristiques de la surface terrestre aux petites échelles - orographie, contraste terre/ océan, couverture des sols. Les précipitations orographiques par exemple sont liées à la présence des massifs montagneux qui forcent les masses d'air à s'élever et à se condenser sur les versants au vent. Elles présentent en général une intensité et une fréquence assez régulières. Elles peuvent conduire à des hauteurs précipitées importantes sur des zones étendues dans le cas où les masses d'air sont bloquées de façon prolongée par le relief. Les précipitations orographiques sont généralement non

homogènes -- la structure spatiale dépendant du relief et de l'orientation du vent. (Musy et al., 2009a)

I.6.2. Le débit

Le débit est la quantité d'une grandeur qui traverse une surface donnée par unité de temps .Il permet de quantifier un déplacement de matière ou d'énergie.

Le terme débit est le plus souvent associé au débit volumique : il quantifie alors le volume qui traverse une surface, une section, par unité de temps. Le débit massique caractérise la masse qui traverse la surface par unité de temps. Il s'agit de notions centrales dans une situation d'écoulement de fluide.

I.6.2.1 Débit solide

Poids total des matériaux transportés par un cours d'eau, d'une manière ou d'une autre, passant à travers une section par unité de temps. Généralement exprimée en kg.s⁻¹ Dictionnaire de l'eau (AMBROISE B. 1998)

Masse des sédiments transportés par unité de temps à travers la section transversale d'un cours d'eau. Glossaire International d'Hydrologie (1992)" Débit de matériaux transportés à travers une section donnée d'un cours d'eau ".

I.6.2.2. Relations entre la pluie et le débit

Aujourd'hui, la nécessité de quantifier les phénomènes de types extrêmes comme les crues exceptionnelles est un des domaines dans le cadre de la gestion de la ressource en eau, en relation directe avec la demande en eau des populations.

Chaque point d'un cours d'eau permet de définir un bassin versant et les débits observés en ce point sont directement liés aux précipitations tombées sur ce bassin. A partir des observations faites en quantifiant la pluie tombée, on peut arriver à reproduire la réponse en débit du bassin.

La simulation hydrologique du bassin versant, décrite comme la transformation de la pluie en débit passe par l'utilisation d'un modèle hydrologique.

Le passage de la pluie au débit reste un problème complexe mais demande pour une utilisation simple un nombre de paramètres limité. La modélisation conceptuelle permet de limiter le nombre de paramètres entrant en jeu dans le modèle mais renonce à une connaissance minutieuse des différents phénomènes, l'objectif principal étant de reproduire au mieux le comportement global de bassin versant donné face à une série chronologique de données pluviométriques.

Les facteurs déterminants entrant dans les mécanismes hydrologiques présentent une variabilité tant d'un point de vue temporel que spatial extrêmement importante. Cela induit par conséquent une représentation mathématique de ces phénomènes extrêmement complexes.

La modélisation globale des processus avec des paramètres intégrant les hétérogénéités locales permet aujourd'hui de proposer des outils simples et opérationnels pour la prévision de la ressource en eau à l'échelle du bassin d'étude.

Cette démarche de recherche d'optimisation des outils de modélisation s'insère dans un cadre beaucoup plus général de l'hydrologie où l'objectif est de pouvoir obtenir des méthodes transposables d'un bassin versant à un autre. Pour cela, il semble nécessaire de relier les paramètres du modèle aux grandeurs caractéristiques du milieu physique.

Aussi, pour tenir compte de l'hétérogénéité d'un bassin, une démarche assez souvent suivie est la discrétisation du milieu étudié, grâce à un modèle distribué, avec une taille de maille telle que les paramètres physiques soient supposés homogènes. En outre, la variabilité entre les mailles doit reproduire une distribution observée ou présumée des grandeurs physiques et de leurs dépendances par rapport à des grandeurs macroscopiques établies sur quelques points de mesures.

I.6.3. Evapotranspiration

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

Plusieurs formules peuvent être utilisées afin d'estimer simplement l'évapotranspiration mensuelle:

- l'équation originale de Penman (1948). était l'une des plus notoires, mais elle nécessite des calibrages locaux (fonction vent) pour des résultats satisfaisants.

- La formule complexe de Penman-Monteith (1965)

- Équations basées sur la température : Thornthwaite (1948), Hamon (1963), Hargreaves-Samani(1985)[19]

- Équations basées sur la radiation : Turc (1961),Makkink (1957), Priestley-Taylor (1972)[19]

- Équation de Blaney-Criddle (en anglais) : formule simpliste basée sur la température moyenne et la durée moyenne d'ensoleillement.

Dans notre cas, l'évapotranspiration est calculée par la formule suivante ;

I.6.3.1. Formule de THORNTHWAITE (1948)

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

I.6.4. Définition du NDVI

L'indice NDVI ou Normalized Difference Vegetative Index permet de déterminer la santé de la végétation en mesurant la teneur en chlorophylle des plantes via des capteurs embarqués sur des satellites ou des drones. Le NDVI est caractérisé par une grandeur physique, la réflectance, qui détermine la capacité des cultures à réfléchir la lumière. En agriculture, cet indice de végétation permet de mesurer le taux de couverture végétale et la vigueur de la culture présente sur une parcelle agricole.

Le NDVI est un indice de végétation par différence normalisé. Il est utilisé en agriculture pour évaluer la vigueur et la quantité de végétation par analyses des mesures de télédétection. Le NDVI est souvent utilisé dans des outils d'aide à la décision en agriculture de précision.

I.7. 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 noires » ou ce qu'on appelle réseau de neurone, qui essaye de représenter théoriquement le prototype hydrologique (Figure I.2).



Figure I.2. Structure des modèles 'boîte noire'.

I.7.1 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).

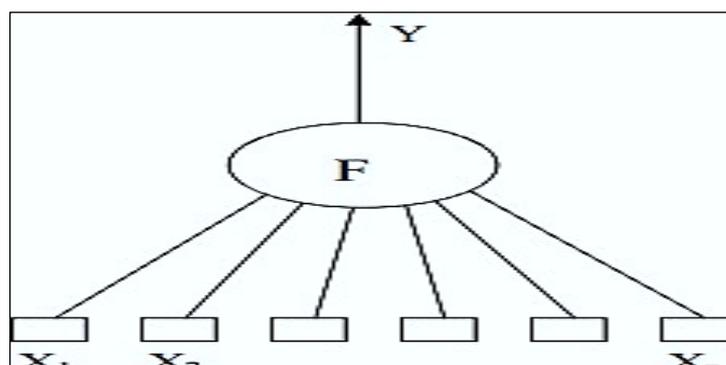


Figure I.3. Neurone artificiel.

Le neurone réalise alors trois opérations sur ses entrées :

I.7.1.1. Pondération.

Multiplication de chaque entrée par un paramètre appelé poids de connexion.

I.7.1.2. Sommation.

Une sommation des entrées pondérées est effectuée.

I.7.1.3. Activation

Passage de cette somme dans une fonction, appelée fonction d'activation (f). La valeur calculée est la sortie du neurone qui est transmise aux neurones suivants.

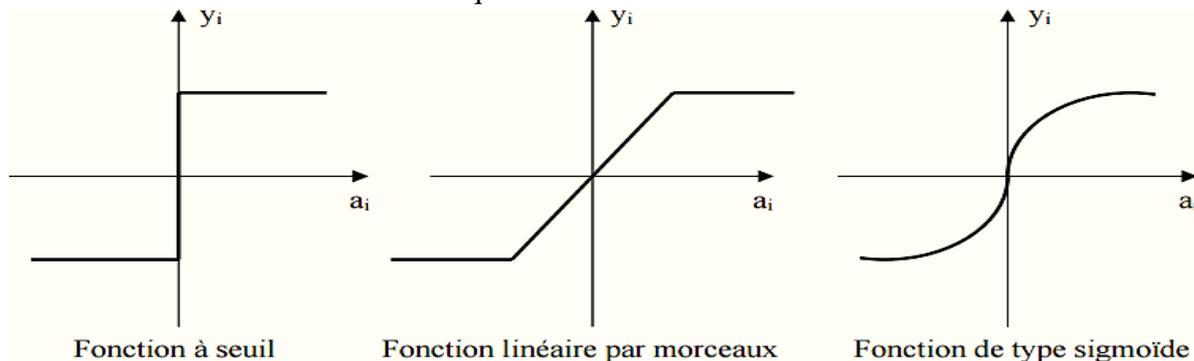


Figure I.4. Différents types de fonction de transfert pour le neurone artificiel.

La fonction d'activation (figure I.5) 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 :

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp^{-x}} \quad (\text{I.1})$$

I.7.2 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 :

I.7.2.1. 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 ;

I.7.2.2. 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 ;

I.7.2.3. 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.7.3. 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 nœuds 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.7.4 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 1.5), le flux d'information circule des entrées vers les sorties sans retour en arrière.

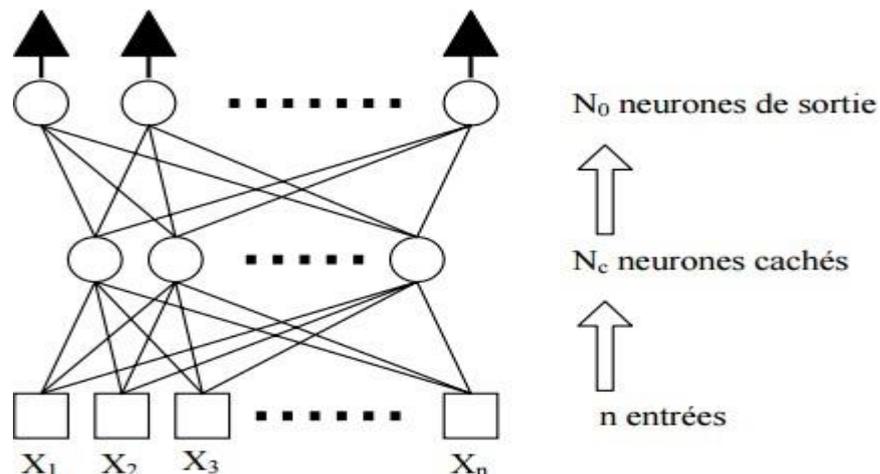


Figure I.5. Réseau de neurones statique (non bouclé).

I.7.5 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).

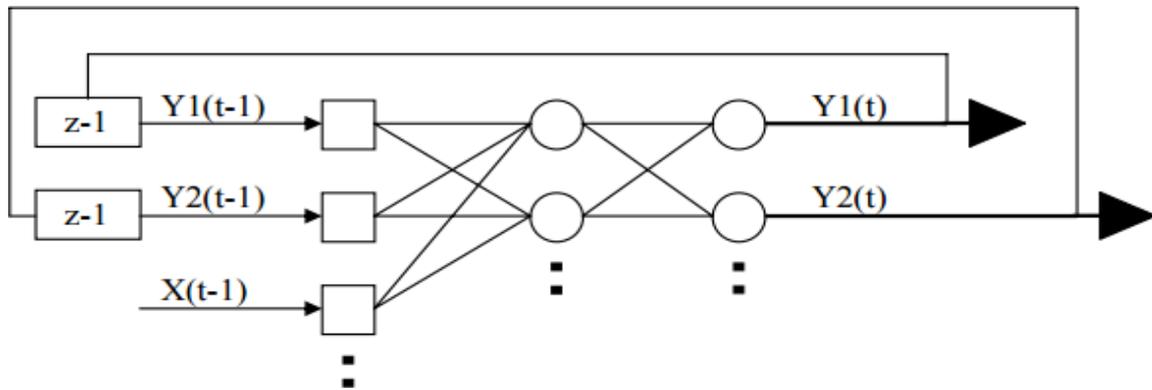


Figure I.6. Réseau de neurone bouclé.

I.8. 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 (Nash) Ce critère adimensionnel a été proposé par Nash & Sutcliffe (1970); il est défini par:

$$Nash = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2} \right] \cdot 100 \quad (I.2)$$

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 $Nash = 100\%$, l'ajustement est parfait, par contre si $Nash < 0$, 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 :

$$I = \frac{Q_{sim \max}}{Q_{obs \max}} \quad (I.3)$$

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 :

$$MSE = \sum_{i=1}^n (Q_{ti} - Q'_{ti})^2 / N \quad (I.4)$$

Le coefficient de détermination R²

Il est calculé par la relation suivante

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ti} - Q'_{ti})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{ti} - Q''_{ti})^2} \quad (I.5)$$

Où :

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 **R²** 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 R² peut correspondre à 1.

I.9. Différent travaux sur les réseaux de neurones

I.9.1. 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.

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.9.2. 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-débit dans une grande variété de configurations (données journalières pour la prévision « à l'instant », hebdomadaires pour la prévision à « un pas » ou « multi pas ») 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).

I.10. Télédétection

A travers des décennies, la modélisation pluie-débit a connu un effort considérable, quant à la conception et à l'utilisation des modèles. Les variables et paramètres hydrologiques ont toujours fait l'objet d'une grande importance dans leur estimation du fait qu'ils conditionnent d'une façon primordiale le comportement hydrologique du système étudié. De ce fait l'erreur d'estimation de ces variables ou paramètres pourraient avoir des conséquences négatives sur le fonctionnement, et donc sur la validation d'un tel modèle.

Les bassins versants montrent une grande variabilité spatiale et temporelle des paramètres tels que les propriétés physiques et hydrodynamiques des sols, la végétation, le taux d'humidité et l'occupation du sol, etc. Ainsi, la non-disponibilité de ces données, constitue le premier obstacle pour le modélisateur.

Pour résoudre le problème d'estimation de ces variables en des lieux non-mesurés, on fait appel à la distribution d'informations spatiales et/ou temporelles, par des procédés analytiques (déterministes) ou probabilistes (stochastiques).

Ces méthodes d'interpolation plus ou moins fiables, présentent l'inconvénient d'être exigeantes en nombre de données, ceci impliquerait la mise en place d'un système de mesure très fastidieux.

Les méthodes basées sur la télédétection et les systèmes d'informations géographiques peuvent constituer une solution à ce type de problème, en ce sens qu'elles permettent de caractériser instantanément des zones spatialement étendues. Dans ce cas, l'objectif est d'étudier l'apport d'une prise en compte des paramètres hydrologiques sur la fiabilité des phénomènes étudiés (telles que les crues) simulés par un modèle. Connaissant le rôle de l'indice hydrique du bassin dans la génération de l'écoulement, des études ont été menées (Chkir, 1994, Loumagne et al, 1996) en vue d'intégrer dans des modèles hydrologiques (tels que les modèles GR) un ou plusieurs indicateurs de l'état hydrique du sol contrôlables par des mesures externes (télédétection), afin d'améliorer le fonctionnement d'un tel modèle hydrologique.

I.10.1. Système D'Information Géographique

Les enjeux majeurs auxquels il faut faire face aujourd'hui (environnement, aménagement de territoire...), ont tous un lien étroit avec le géoréférencement et la géographie. Il apparaît donc nécessaire que pour une meilleure connaissance des phénomènes liés à la nature ou à l'activité humaine de disposer d'un ensemble d'informations sur le milieu naturel considéré.

Pour satisfaire ce besoin, on fait recours aux nouvelles technologies apparues, notamment à celles dites des systèmes d'informations géographiques (SIG).

Une bonne gestion de l'environnement passe par une exploitation poussée des systèmes d'information modernes. Aujourd'hui il n'est plus nécessaire de présenter l'utilisation de l'informatique standard dans la gestion de base de données alphanumériques et dans la présentation graphique.

Elle est devenue présente à la portée des utilisateurs concernés par l'environnement partout dans le monde, y compris dans les pays en développement. Il semble plus important d'examiner les développements nouveaux concernant les systèmes d'information et l'aide à la décision qui concernent les paramètres fondamentaux de l'environnement, comme les dimensions spatiales et plus généralement, géographiques.

Les systèmes d'information géographique (SIG), sont en pleine expansion et ne cessent de demander, de plus en plus, des données fiables provenant de sources diverses, leur mise en correspondance, leur comparaison et leur intégration. L'acquisition d'information géographique à partir d'images aériennes ou d'images satellitaires d'observation de la terre représente un potentiel important.

I.11. Présentation de logiciel Matlab

I.11.1. MATLAB

Est un langage de programmation. Il permet de réaliser des simulations numériques basées sur des algorithmes d'analyse numérique. Il peut donc être utilisé pour la résolution approchée d'équations différentielles, d'équations aux dérivées partielles ou de systèmes linéaires.

I.11.2. Développement de réseaux de neurones peu profonds avec MATLAB

En plus d'outils et de fonctions permettant de gérer de grands volumes de données, MATLAB propose des boîtes à outils spécialisées pour vous aider à développer des algorithmes de Machine Learning, de réseaux de neurones, de Deep Learning, de vision par ordinateur et de conduite automatisée.

I.11.3. Processus type de conception de réseaux de neurones

Chaque application de réseau de neurones est unique, mais le développement du réseau suit généralement les étapes ci-après :

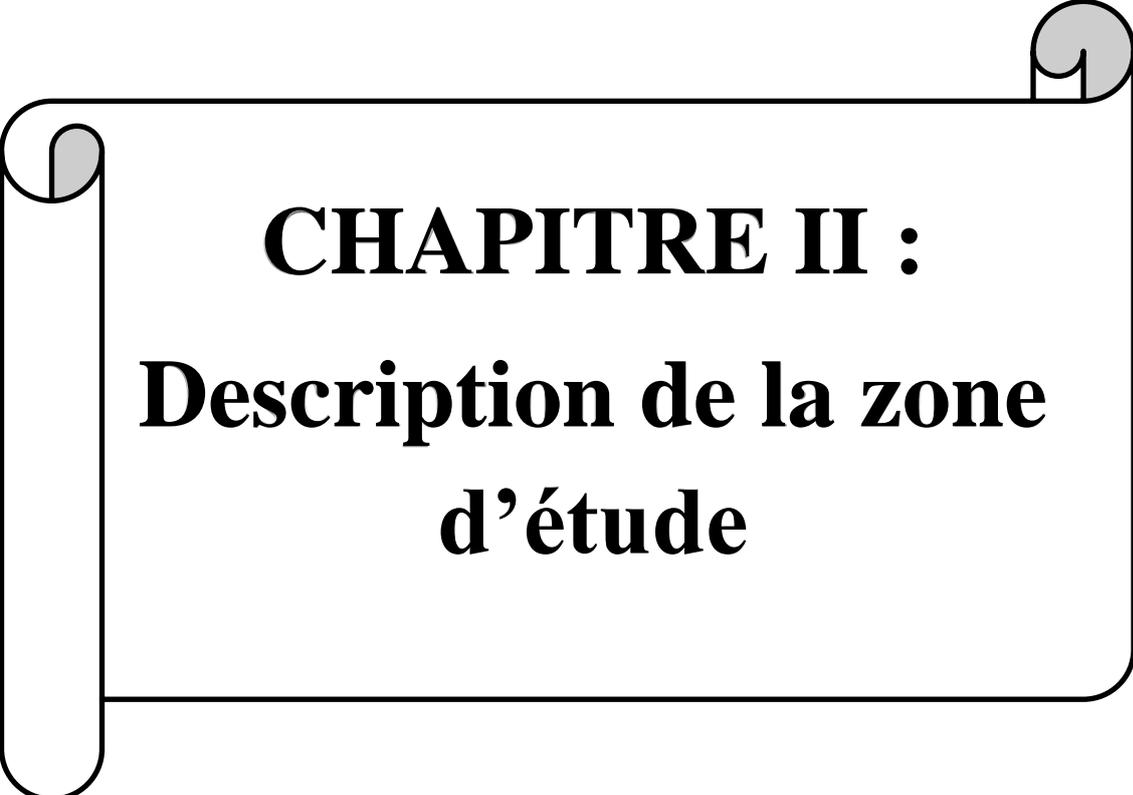
- Accès et préparation de vos données
- Création du réseau de neurones
- Configuration des entrées et sorties du réseau
- Réglage des paramètres du réseau (poids et biais) afin d'optimiser les performances
- Apprentissage du réseau
- Validation des résultats du réseau
- Intégration du réseau dans un système de production

I.12. Conclusion

Un modèle permet donc d'approcher de façon figurative des systèmes hydrologiques complexes. Le plus souvent basé sur la représentation mathématique ou physique des processus, il intègre les différentes phases du cycle de l'eau, en tentant de s'approcher au maximum de ce qui se passe dans la réalité.

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...). En hydrologie, la modélisation concerne généralement la relation pluie-débit c'est-à-dire que les modèles utilisent à partir des variables d'entrée essentielles car les vecteurs d'entrée déterminent la structure du modèle. Notre choix porte sur un modèle hydrologique, c'est le modèle des réseaux de neurones artificiels (boîte noire). Le modèle fait intervenir un certain nombre de paramètres. Pour l'étude d'un bassin versant donné, il est très nécessaire de disposer d'une série de précipitations, y compris d'une série d'évapotranspiration potentielle et d'une série de l'indice de végétation par différence normalisée d'une série de débits à l'exutoire afin de pouvoir utiliser le modèle. Ces quatre séries de données doivent impérativement être disponibles sur la même période d'observation.

L'utilisation des ordinateurs de nos jours pour simuler des situations est devenue une pratique standard en ce qui nous concerne pour la modélisation pluie-débit. Les progrès informatiques ont permis un développement important, avec les programmes MATLAB II permet de réaliser des simulations numériques et un système d'information géographique Arcgis, ont permis d'étudier la modélisation en hydrologie



CHAPITRE II :
**Description de la zone
d'étude**

Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'identifier les paramètres morpho métriques, géométriques et les reliefs d'une façon général dans notre zone d'étude, ces caractéristiques jouent un rôle très important et essentiel dans la diagnostique des sous bassins versants notamment leur comportement hydrologiques.

II.1. Localisation géographique

Le bassin versant de l'ISSER codé (09) par l'ANRH, est situé au Nord de l'Algérie. Sa superficie totale est de 4170 Km² de Ain BOUCIF jusqu'à l'embouchure du bassin. Une partie du bassin est drainée par l'Oued Mellah et l'Oued Hammam, ces deux (2) oueds forment l'ISSER qui se ramifie en plusieurs affluents (BENKACI, 2006). Le bassin de l'ISSER est limité au Nord par la mer et le bassin versant du Côtier Algérois, au Sud-Ouest par le bassin du Cheliff, au Sud Est par le bassin de Chott HODNA, et à l'Est par le bassin de la SOUMMAM (Figure (II.1))



Figure II.1. Carte du Bassin versant ISSER.

La partie concernée par notre étude est les deux sous-bassin d'ISSER le OUED ISSER MOYEN (09-04) et OUED ISSER MARITIME (09-05) Ils couvrent une superficie 1590 km². Soit 38 % de la superficie totale du bassin ISSER.

Ils sont limités : (Figures II.2)

- Au Nord par cap Djinet sur la mer ;
- Au Sud, par les communes de el Azizia et Ain Bessem et wilaya de Bouira sur Sud Est ;
- A l'Est, par les commune de Beghlia ; Draa Ben Khadda sur la wilaya de Tizi Ouzou ;
- A l'Ouest par la wilaya de Boumerdés et le bassin de Côtier Algérois.

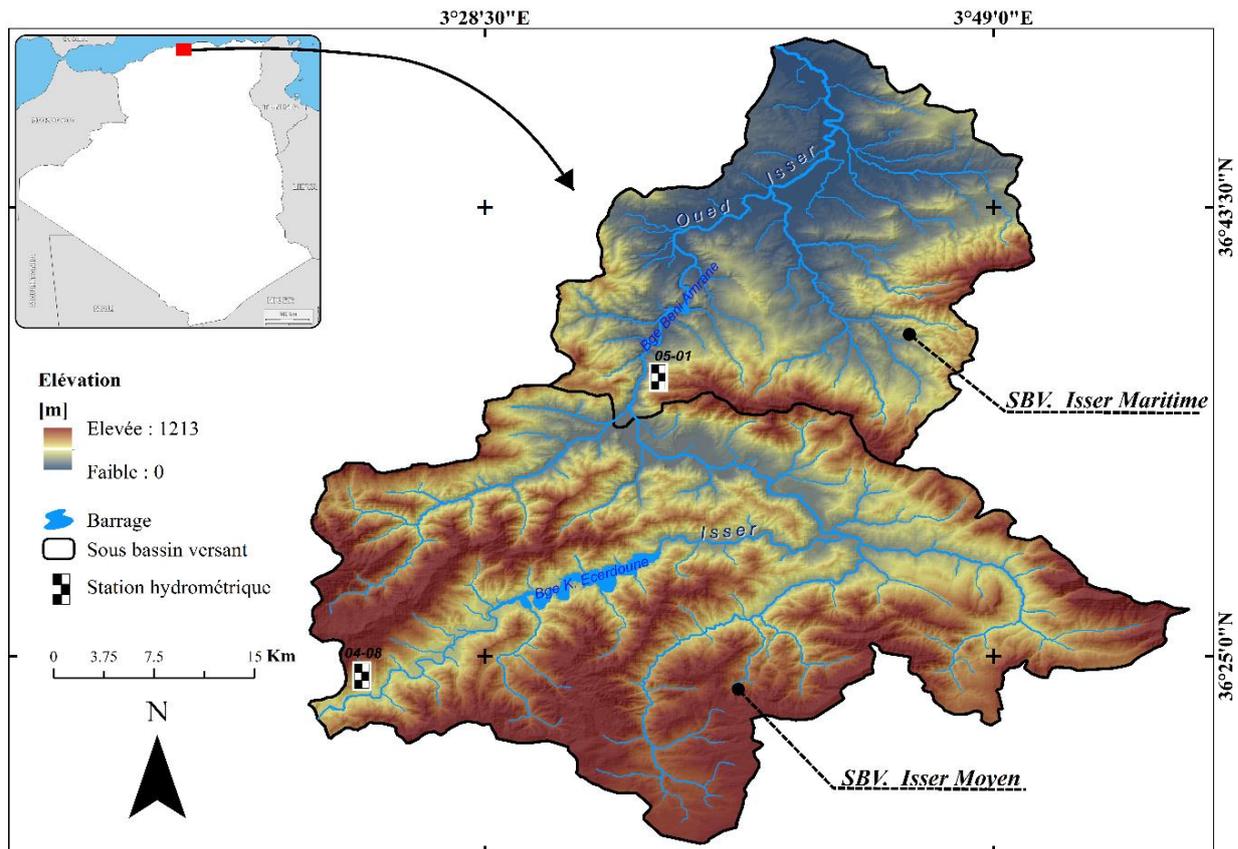


Figure II.2. Situation géographique de la zone d'étude.

II.2. Caractéristiques morpho métriques des sous bassins versants

Afin de mieux étudier la particularité du relief de la zone d'étude et pour mieux comprendre le comportement hydrologique des deux sous bassins versants, il est impératif de connaître ses caractéristiques morpho métriques (forme, altitude, pente...) qui explique le cycle de transformation des pluies en écoulement et s'appêtent à une analyse quantifiée.

Les caractéristiques des sous bassins étudiés sont résumées comme suit :

II.2.1. Courbe hypsométrique

L'étude hypsométrique d'un bassin versant par tranche d'altitude est très importante car la plupart des facteurs météorologiques et hydrologique sont on fonction de l'altitude.

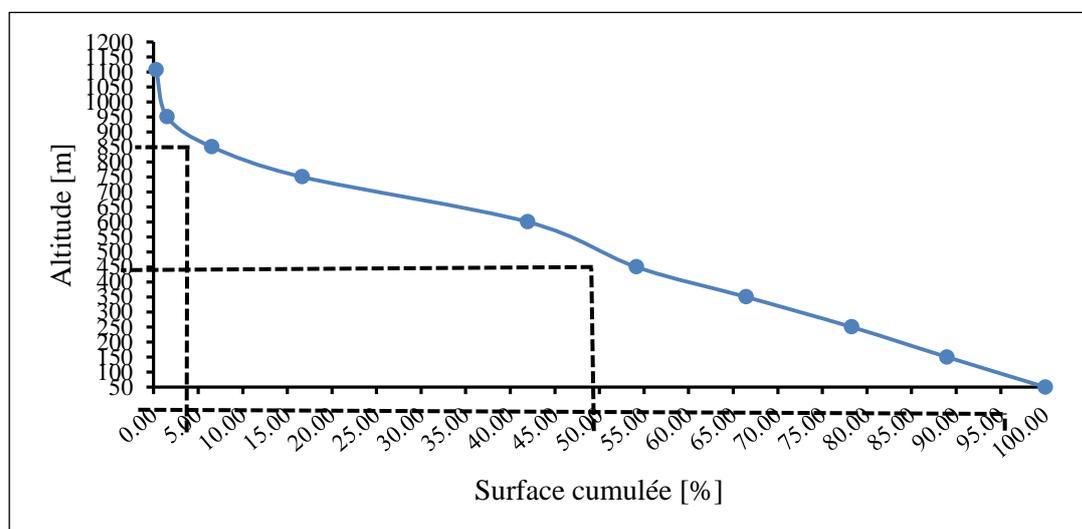
Cette courbe montre la répartition de la surface de bassin versant en fonction de son altitude, elles demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elle permet à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin et donnent des indications quant au comportement hydraulique et hydrologique du bassin et de son système de drainage.

Tableau II.1. Répartition altimétrique de la zone étudiée.

N° Classe	Classe d'altitude	Altitude moyenne	Surface partielle		Surface cumulée	
	Hi - Hi-1	Hi [m]	Si [km ²]	Si [%]	ΣSi [km ²]	ΣSi [%]
1	1213 - 1000	1107	4.75	0.30	4.75	0.30
2	1000 - 900	950	19.64	1.24	24.39	1.53
3	900 - 800	850	79.50	5.00	103.89	6.53
4	800 - 700	750	160.99	10.13	264.88	16.66
5	700 - 500	600	402.44	25.31	667.32	41.97
6	500 - 400	450	193.65	12.18	860.97	54.15
7	400 - 300	350	195.89	12.32	1056.86	66.47
8	300 - 200	250	188.07	11.83	1244.93	78.30
9	200 - 100	150	169.90	10.69	1414.83	88.98
10	100 - 0	50	175.17	11.02	1590.00	100.00

D'après l'analyse de la courbe hypsométrique du bassin versant étudié (figure II.1), la classe d'altitude dominante est celle de 50 m à 750 m. Elle occupe 93.48% de la superficie totale. Les zones d'altitudes très élevées (supérieur à 850 m), couvrent un faible pourcentage ne dépassant pas 6.54%.

La courbe hypsométrique présente une haute altitude vers une pente forte ce qui indique la présence d'un plateau. Plus l'altitude diminue, la pente augmente, la courbe hypsométrique aux basses altitudes indique la présence d'une vallée encaissée à l'exutoire du bassin versant.

**Figure II.3.** représente la courbe hypsométrique du doux SBV de l'ISSER.

D'après la courbe hypsométrique on tire : H95% = 113 m ; H5% = 872 m ; H50% = 490 m

II.2.2. Altitudes caractéristiques

Les altitudes les plus utilisées dans les études hydrologiques des bassins versants, et qui sont lues à partir des courbes hypsométriques sont :

a. Altitude minimale

Cette altitude représente le point le plus bas du bassin versant généralement à l'exutoire, pour notre cas, elle est égale à 0 m.

b. Altitude à 95% de surface

Celle-ci est obtenue directement à l'aide de la courbe hypsométrique, elle correspond à l'altitude au point d'abscisse 95% de la superficie totale du bassin versant qui équivaut à 113 m.

c. Altitude médiane

Elle correspond à l'altitude qui inclut 50% de la superficie totale du bassin versant sur la courbe hypsométrique. Elle est de 490 m.

d. Altitude à 5% de surface

Elle correspond à l'altitude lue sur la courbe hypsométrique au point d'abscisse 5% de la superficie totale du bassin versant. Elle est de 872 m.

e. Altitude maximale

Cette altitude considère le point le plus haut du bassin versant, elle est égale 1213 m.

f. Altitude moyenne

Elle est calculée à partir de la relation suivante :

$$H_{moy} = \frac{1}{S} * \sum_{i=1}^n S_i * \left(\frac{H_i + H_{i-1}}{2}\right) \quad (II.1)$$

Où :

H moy : est l'altitude moyenne du bassin versant exprimée en m ;

S : est la superficie totale du bassin versant exprimée en km² ;

S_i : est la superficie partielle comprise entre deux altitudes successives et exprimée en km² ;

n : est le nombre de courbes de niveau.

L'altitude moyenne de bassin étudié est donc de 434 m. Le résultat de calcul de l'altitude moyenne se rapproche de l'altitude médiane dans le cas où l'hypsométrie du bassin versant expose une pente nettement régulière.

II.2.3. Intégrale hypsométriques

L'intégrale hypsométrique (IH) exprime le volume actuel du relief qui n'est pas encore consommé par l'érosion, elle est proche de 0 pour les bassins versants très érodé (profil concave) et tend vers le 1 pour les bassins très peu érodé (profil convexe). La valeur de l'intégrale hypsométrique est donc déterminée à l'aide de la relation développée en 1971 par PIKE et WILSON :

$$IH = \frac{H_{moy} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad (II.2)$$

Une intégrale hypsométrique forte (supérieure à 0.60) avec une courbe hypsométrique fortement convexe traduit un stade de non-équilibre (jeunesse). Une intégrale hypsométrique moyenne (entre 0.35 et 0.60) associée à une courbe hypsométrique concavo-convexe correspond à une phase d'équilibre (maturité). Une intégrale hypsométrique basse (inférieure à 0.35) avec une courbe extrêmement concave explique un stade de fin maturité. (STRAHLER 1957).

Le deux sous bassins versants présentent une moyenne intégrale hypsométrique (0.35) et un profil concave et régulier ce qui correspond à un relief considérablement érodé.

II.2.4. Diagramme des fréquences altimétriques

D'après l'analyse de Diagramme des fréquences altimétriques du bassin versant étudié (figure II.3), la classe d'altitude dominante est celle de 500 à 700 m. Elle occupe 25.31% de la surface partielle totale du deux sous bassin versant. Les zones d'altitudes très élevées (supérieur à 700m) couvrent une forte surface partielle ne dépassant pas 16.66%. Les zones d'altitudes moyennes aux bas est de 0 à 500 m occupent 58.03%.

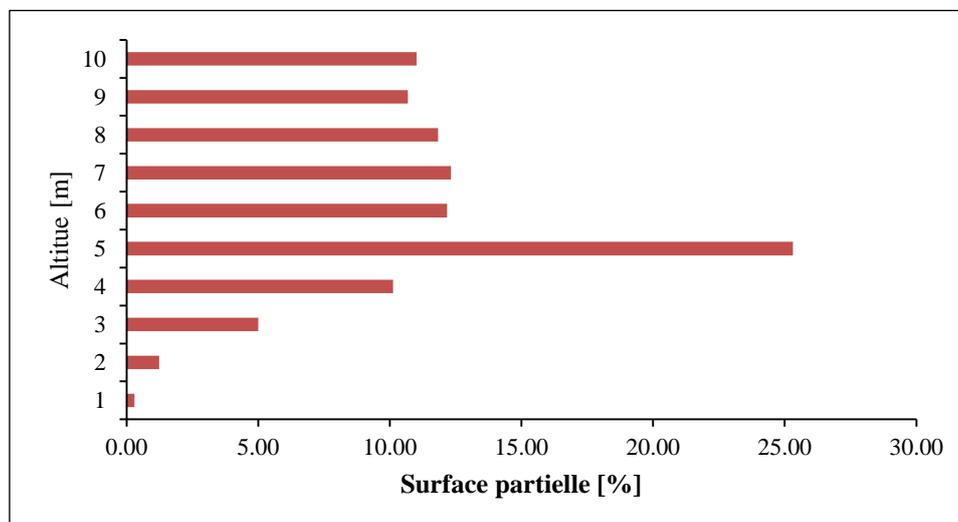


Figure II.4. Diagramme des fréquences altimétriques de bassin d'étude.

Tableau II.2. Répartition altimétrique altitude moyen de deux sous bassin versant d'ISSER

Hi [m]	Si [km²]	(Hi*Si)/SBV
1107	4.75	3.31
950	19.64	11.73
850	79.50	42.50
750	160.99	75.94
600	402.44	151.86
450	193.65	54.81
350	195.89	43.12
250	188.07	29.57
150	169.90	16.03
50	175.17	5.51

II.3. Caractéristiques géométriques

II.3.1. Superficie

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface. Le bassin d'étude a une surface de 1590km².

II.3.2. Périmètre

Il correspond à la longueur de la limite extérieure du bassin. La zone d'étude s'étale sur un périmètre de 248 km.

II.3.3. Caractéristiques hydro morphologiques

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant.

II.3.3. 1. Indice de compacité de Gravelius Kc

Défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface, Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface.

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (\text{II.3})$$

P : périmètre du bassin versant (Km) ;

S : surface du bassin versant (Km²) ;

Si $KC = 1.128$ » bassin ramassé ;

Si $KC > 1.128$ » bassin allongé.

Selon la valeur de KC ($Kc = 1.74$) on pourra dire que notre bassin est de forme allongée.

II.3.3.2. Coefficient d'allongement

Ce coefficient est obtenu par la relation suivante :

$$Kp = \frac{P^2}{S} \quad (\text{II.4})$$

P : périmètre du bassin versant (Km)

S : surface du bassin versant (Km²)

II.3.3.3. Rectangle équivalent

On assimile notre bassin à un rectangle défini par sa longueur "L", sa largeur "l" est la même superficie du bassin versant « S ».

$$P = 2*(L + l) \quad \text{et} \quad S = L*l \quad (\text{II.5})$$

La longueur L et la largeur l en Km sont données par la résolution de P et S :

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (\text{II.6})$$

De (II.5) et (II.6) on obtient une Equation de 2ème degré admet deux solutions L_r ; l_r :

$$L_r = \frac{Kc*\sqrt{S}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc}\right)^2} \right] \quad (\text{II.7})$$

$$l_r = \frac{Kc*\sqrt{S}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc}\right)^2} \right] \quad (\text{II.8})$$

Avec L_r : longueur du rectangle équivalent en (Km) ; pour notre cas $L_r = 108.46$ km.

l_r : largeur du rectangle équivalent en (Km) ; pour notre cas $l_r = 14.66$ km.

II.3.3.4. La dénivelée (D)

La dénivelée ou la distance entre les altitudes qui représentent un pourcentage supérieur ou égale à 5% de la surface du bassin et celles de 95%.

$$D = H5\% - H95\% \quad (\text{II.9})$$

Avec :

H5% et H95% sont respectivement les altitudes ayant 5% et 95% de la superficie totale du bassin versant.

II.3.3.5. Indice de pente de Roche Ip

Cet indice (Ip) proposé par ROCHE en 1963, a pour objectif de caractériser le régime hydrologique et de comparer et de classer plusieurs bassins entre eux. Il représente la somme des racines carrées des pentes mesurées sur le rectangle équivalent pondérée par toutes les surfaces élémentaires comprises entre les courbes de niveau Hi et Hi-1. Il est donné par :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{S_i(H_i - H_{i-1})} \quad (\text{II.10})$$

L : Longueur de rectangle équivalent (m)

Si : Surface partielle correspondante (%).

Di : La différence d'altitude entre Hi et Hi-1 exprimée en km ;

Indice de pente de roche Ip égal à 0.02 m/km

Tableau II.3. Détermination de l'indice de pente de ROCHE Ip.

Classe d'altitude	Altitude moy.	Surfaces partielles	Surfaces cumulées
	Hi - Hi-1	Si	$\sqrt{(S_i * D_i)}$
1213 - 1000	1.11	0.003	0.06
1000 - 900	0.95	0.012	0.11
900 - 800	0.85	0.050	0.21
800 - 700	0.75	0.101	0.28
700 - 500	0.60	0.253	0.39
500 - 400	0.45	0.122	0.23
400 - 300	0.35	0.123	0.21
300 - 200	0.25	0.118	0.17
200 - 100	0.15	0.107	0.13
100 - 0	0.05	0.110	0.07
	Ip = 0.02		

II.3.3.6. Indice de pente globale I_g

Cet indice permet de déduire la nature du relief en se référant à la classification de l'IRD.

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (\text{II.11})$$

Ou :

D = Dénivelée entre H5% et H95%

On prend : D = H5% – H95% pour notre bassin versant, on a donc

Avec ; H5% et H95% : sont les altitudes correspondantes à S 5% et S 95%

L : la longueur du rectangle équivalent (km)

L'indice de pente global I_g égal à m/km, sert aussi à classer le relief d'un bassin, mais pour permettre une comparaison plus efficace et plus poussée du bassin, du point de vue relief. Il est impératif de passer à la notion de la dénivelée spécifique. (P.Dubreuil, 1974)

Tableau II.4. Classification du relief selon I_g par l'IRD.

Classe	I_g (%)	Nature du relief
R ₁	<2	Relief très faible
R ₂	2-5	Relief faible
R ₃	5-10	Relief assez faible
R ₄	10-20	Relief modéré
R ₅	20-50	Relief assez fort
R ₆	50-100	Relief fort
R ₇	>100	Relief très fort

II.3.3.7. La dénivelée Spécifique « D_s »

La dénivelée spécifique est le produit de l'indice de pente global (I_g) par la racine carrée de la superficie totale du bassin versant (S), Elle est calculée par la formule de (MUZY André, 1998) suivante :

$$D_s = I_g * \sqrt{S} = \frac{D}{L} * \sqrt{S} \quad (\text{II.12})$$

Avec:

L: Longueur du rectangle équivalent (m) ;

S : Surface du bassin versant (km²).

Une deuxième subdivision en sept classes de nature du relief selon la dénivelée spécifique (D_s) a été établie par l'Institut de recherche pour le développement (IRD). (Tableau III.5). Cette classification est applicable à tout bassin quel que soit sa superficie (DUBREUIL 1971).

Tableau II.5 : La classification du relief selon Ds par l'IRD.

Classe	Ds (m)	Nature du relief
R ₁	< 10	Relief très faible
R ₂	10-25	Relief faible
R ₃	25-50	Relief assez faible
R ₄	50-100	Relief modéré
R ₅	100-250	Relief assez fort
R ₆	250-500	Relief fort
R ₇	> 500	Relief très fort

Le bassin versant étudié possède une dénivelée spécifique de 279.04m, ce qui leur permet de se classer dans la classe R6 (250 m - 500 m), correspondant à un relief fort.

II.3.3.8 Indice de pente moyenne

$$I_m = \frac{\Delta}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad (II.13)$$

Hmax et Hmin: sont les altitudes maximal et minimal (m) ;

Indice de pente moyenne dans le bassin étudié est égal à 10.45 m/km.

II.4. A- Caractéristiques physiographiques

La détermination des paramètres physiographiques tels-que : la densité de drainage, la fréquence des talwegs élémentaires, le coefficient de torrentialité, les rapports de confluence et de longueurs des cours d'eau, le temps de concentration et la vitesse d'écoulement d'un bassin versant nécessite une classification du réseau de drainage selon la classification de STRAHLER (1957). Cette dernière a été obtenue pour le bassin d'étude (figure III.3, tableau III.5) après le traitement d'un modèle numérique de terrain (MNT) sous un système d'information géographique (ArcGIS).

Tableau II.6. Résultats de la classification du réseau hydrographique de bassin versant selon STRAHLER.

Ordre d'écoulement	Nombre des talwegs	Longueur des talwegs (km)
1	800	755.90
2	380	390.71
3	165	164.96
4	155	110.66
5	65	54.23
6	23	18.21
Total	1588	1494.66

II.4.1. Densité de drainage

Elle est déterminée comme étant le rapport entre la longueur totale des cours d'eau de tout ordre L_i sur la surface du bassin versant S :

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \quad (\text{II.14})$$

Où Dd est la densité de drainage en (km/km²), L_i est la Somme des longueurs de tous les thalwegs y compris le thalweg principal, et S est la superficie du bassin versant. La valeur de la densité de drainage obtenue est 0.94 km/km². D'après Ce résultat on peut déduire que le bassin versant est en général assez bien drainé. Ainsi l'importance du drainage est due principalement à la nature des formations qui forme le bassin, aux pentes assez fortes d'une part et d'autre part au régime climatique, caractérisé par ses pluies irrégulières et violentes.

II.4.2. Fréquence des talwegs élémentaires

Selon le schéma de Strahler , adopté dans cette étude, un cours d'eau qui n'a pas d'affluent se voit attribuer la valeur 1. Puis, le calcul de la valeur de chaque cours d'eau se fait d'une manière que chaque cours d'eau d'ordre $n+1$ est issu de la confluence de deux cours d'eau d'ordre n , et ainsi de suite. L'ordre de Strahler d'un bassin versant est l'ordre du cours d'eau principal à l'exutoire. Cette classification du réseau hydrographique permet d'avoir une idée sur plusieurs caractéristiques de ce dernier. D'abord, sa vieillesse (plus un réseau est vieux, plus il est ramifié, plus son ordre de Strahler est grand). Ensuite, la perméabilité des roches sur lesquelles il repose (une roche très perméable permet à l'eau s'infiltrer, et donc moins de ruissellement à sa surface ; le réseau est moins ramifié et son ordre de Strahler est donc plus petit que s'il se trouvait sur une

roche imperméable). Enfin sa densité, donc son ordre, est influencé par l'abondance des pluies, et la pente du terrain.

A partir de cette classification vient la notion de fréquence des talwegs qui est le rapport du nombre total des talwegs d'ordre 1 à la superficie du bassin versant en Km². Il s'agit évidemment d'un paramètre qui rend compte d'un effet de densité en nombre, certainement comparable à l'effet de densité en longueur que représente Dd. Ce paramètre morphométrique explique mieux l'intensité de l'érosion linéaire.

$$F_t = \frac{N_1}{S} \quad (\text{II.15})$$

N1 : Nombre de thalwegs d'ordre 1 ;

S : Superficie du bassin versant ;

La valeur obtenue de F1 est de l'ordre de 0.5.

II.4.3 Coefficient de torrentialité

Le coefficient de torrentialité (Ct), est un coefficient sans dimension reflétant la nature de l'écoulement superficiel sur les versants. Il est fonction de la géologie du substratum, la classe de pente et l'intensité de la pluie. Un coefficient de torrentialité très fort indique que la perméabilité du bassin est médiocre, les pentes sont élevées et les précipitations sont considérables. Ce coefficient est obtenu à l'aide de la formule suivante :

$$C_t = Dd * F1 \quad (\text{II.16})$$

Où :

Ct : Coefficient de torrentialité ;

F1 : Fréquence des talwegs élémentaires [km⁻²] ; Dd : Densité de drainage [km/km²] ;

Le bassin étudié présente un faible coefficient de torrentialité qui est égal à 0.47.

- D'après les résultats obtenus ci-dessus, on peut conclure que le chevelu hydrographique est dense, ce qui traduit que notre bassin est bien drainé.

II.4.4. Rapport de confluence des talwegs

Le rapport de confluence des talwegs représente le rapport des nombres des talwegs d'ordre n et celui d'ordre n. Il est donné par la relation suivante :

$$R_c = \frac{N}{N+1} \quad (\text{II.17})$$

Avec :

Rc : Rapport de confluence ;

N_n : Nombre des talwegs d'ordre n ;

N_{n+1} : Nombre des talwegs d'ordre suivant ($n+1$).

En se basant sur les résultats de la classification du réseau hydrographique déjà obtenue (tableau III.5), le rapport moyen de confluence pour le bassin versant est de 2,11. Cette valeur est relativement élevée, s'explique par la bonne répartition du réseau hydrographique ainsi que la forme allongée de bassin versant ($K_c = 1.74$).

II.4.5. Rapport des longueurs des talwegs

C'est le rapport de longueur des cours d'eau d'ordre $n+1$, par celle des cours d'eau d'ordre n . il se définit par la formule suivante :

$$R_L = \frac{L_n}{L_{n+1}} \quad (\text{II.18})$$

Où :

R_L : Rapport des longueurs ;

L_n : Longueur des talwegs d'ordre n [km] ;

L_{n+1} : Longueur des talwegs d'ordre suivant (n) [km].

Le rapport de longueur de bassin est 1.93 km

II.4.6. Temps de concentration du bassin versant t_c

Le temps de concentration t_c des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier.

➤ Formule de GIANDOTTI (1973)

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_{cp}}{0.8\sqrt{(H_{moy} - H_{min})}} \quad (\text{II.19})$$

Avec :

T_c : temps de concentrations exprimé en heure ;

L_{cp} : longueur de cours d'eau principal (Km) ;

S : surface du bassin versant (Km^2) ;

H_{moy} : altitude moyenne (m) ; H_{min} : altitude minimale (m) ;

L'application de la formule précédente pour le bassin versant, donne un temps de concentration de ruissellement de 20.01 heures.

II.4.7. Vitesse de ruissellement

On entend par ruissellement, l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain, et dans le micro-réseau hydrographique, des eaux météoriques qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage superficiel.

Cette vitesse est déterminée par la formule suivante :

$$V_r = \frac{L}{t_c} \quad (\text{II.20})$$

L : Longueur du thalweg principal (Km)

Tc : Temps de concentration (h)

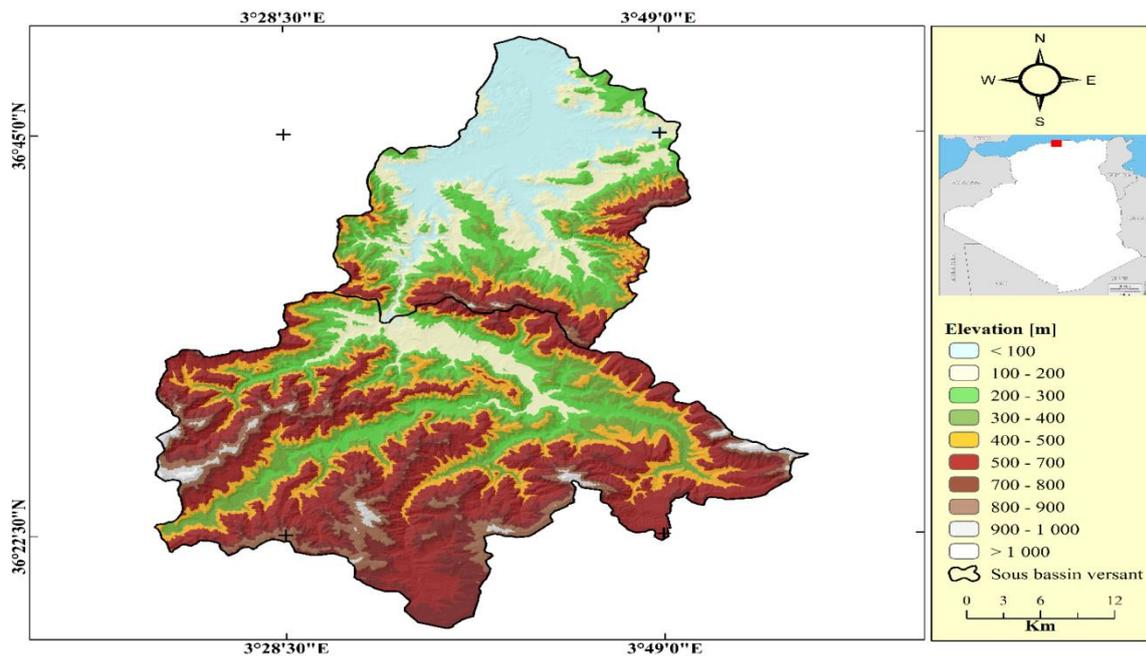


Figure II.5. Carte des élévations des deux sous bassin de L'ISSER.

Tableau II.7. Caractéristiques hydrologiques du deux sous bassin d'ISSER.

DESIGNATION		SYMBOLE	UNITES	VALEUR
Superficie		S	km ²	1590
Périmètre		P	km	248
Longueur du thalweg principal		L	km	116
Indice de compacité		KC	/	1.74
Coefficient d'allongement		KP		38.68
Rectangle équivalent	longueur	L _r	km	108.46
	largeur	l _r	Km	14.66
Altitudes	maximale	H _{max}	m	1213
	moyenne	H _{moy}	m	434
	minimale	H _{min}	m	0
Indice de pente de Roche		IP	m/Km	0.02
Indice de pente globale		I _g	m/Km	7.00
Indice de pente moyenne		I _m	m/Km	10.45
Densité de drainage		D _d	Km/Km ²	0.94
Coefficient de torrentialité		C _t	Km ⁻³	0.47
Temps de concentration		T _c	h	20.01
Vitesse de ruissellement		V _r	Km/h	10.27

II.5. Les pentes

La répartition en pentes des surfaces est faite de la même manière. En utilisant le modèle numérique d'élévation (SRTM1-arc seconde), au moyen d'outils ArcGis. Nous avons obtenu la carte des pentes (figure II.8), et ensuite adopté la classification suivante :

Tableau II.8. Classes des pentes des sous bassins étudiés.

Classe des pentes	Surface (km ²)	Surface (%)
0 - 7	205.22	12.91
7 - 15	298.62	18.78
15 - 25	374.09	23.53
25 - 45	495.97	31.19
> 45	216.10	13.59

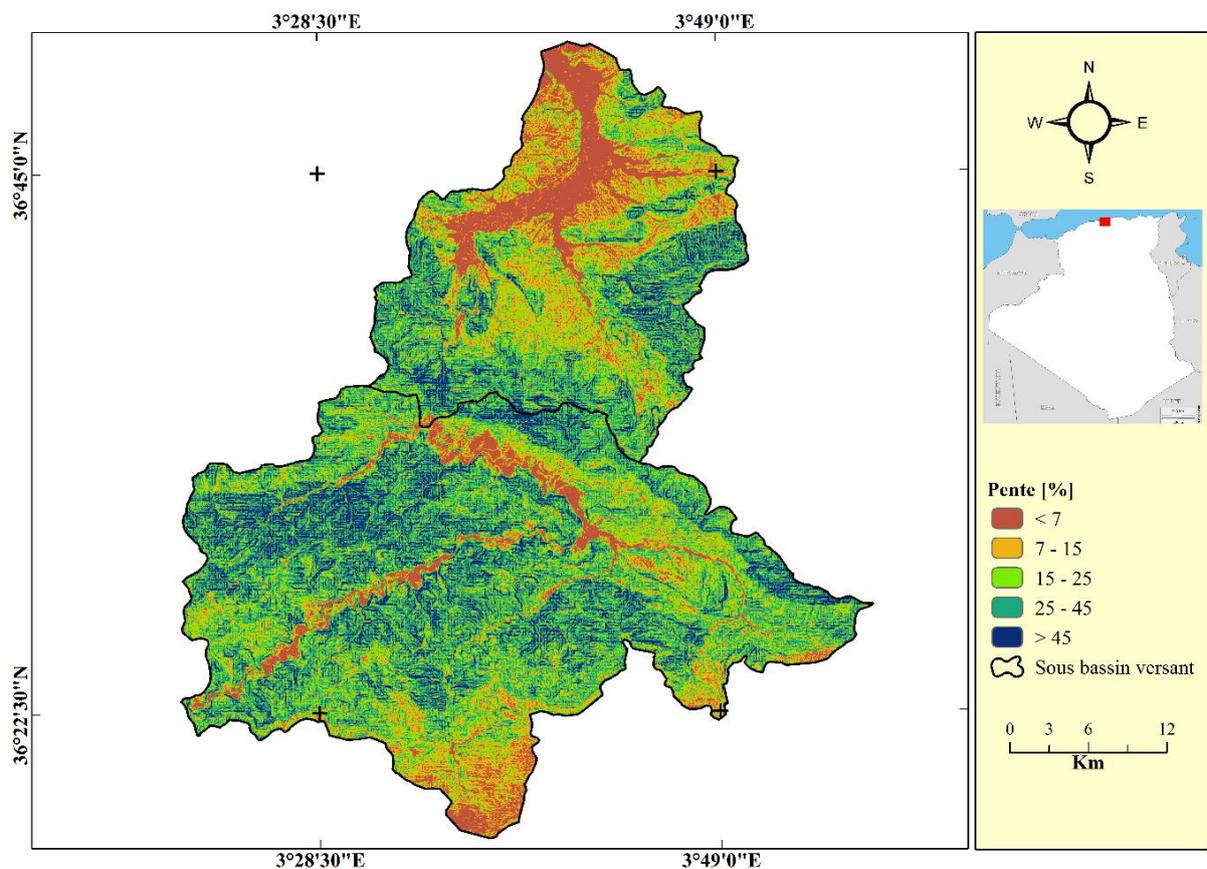


Figure II.6. Carte des pentes des sous bassins versants.

Environ 26.50 % de la superficie du bassin versant présente une classe de pente faible de 45 avec 13.59% à très faible classe de pente inférieure à 7 avec 12.91%.. La classe de 7 à 25 c'est la classe moyenne, elle occupe presque 42.31 % de la superficie totale du bassin versant. Quand à 31.19 % de la superficie du bassin marqué par des pentes fortes à très forte (supérieures de 25 à 45), est localisée essentiellement le long du centre sud de la zone d'étude.

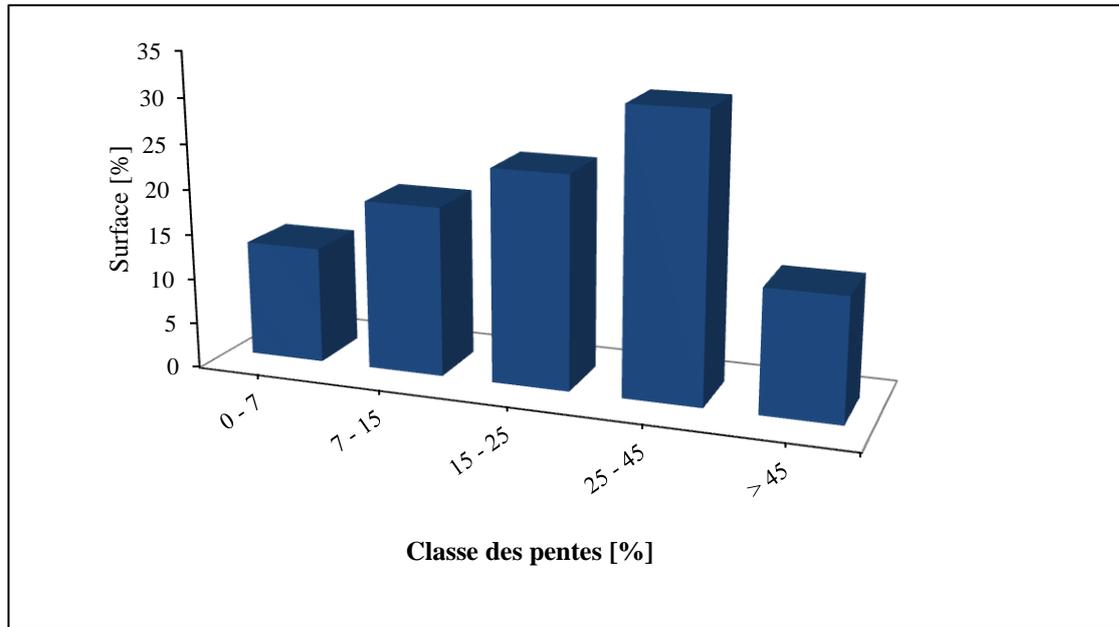


Figure II.7. Classes des pentes des SBV.

II.6. Réseau hydrographique

Les caractéristiques géomorphologiques des deux sous bassins ISSER ont conduit à la formation d'un réseau hydrographique dense dont la mer Méditerranée constitue l'exutoire. Le tableau qui suit présente les sous bassins choisis selon ANRH.

Tableau II.9. Les deux Sous bassins de l'ISSER.

Code	Sous bassin versant	Superficie (km ²)
0904	OUED ISSER MOYEN	1036
0905	OUED ISSER MARITIME	554
Total	02	1590

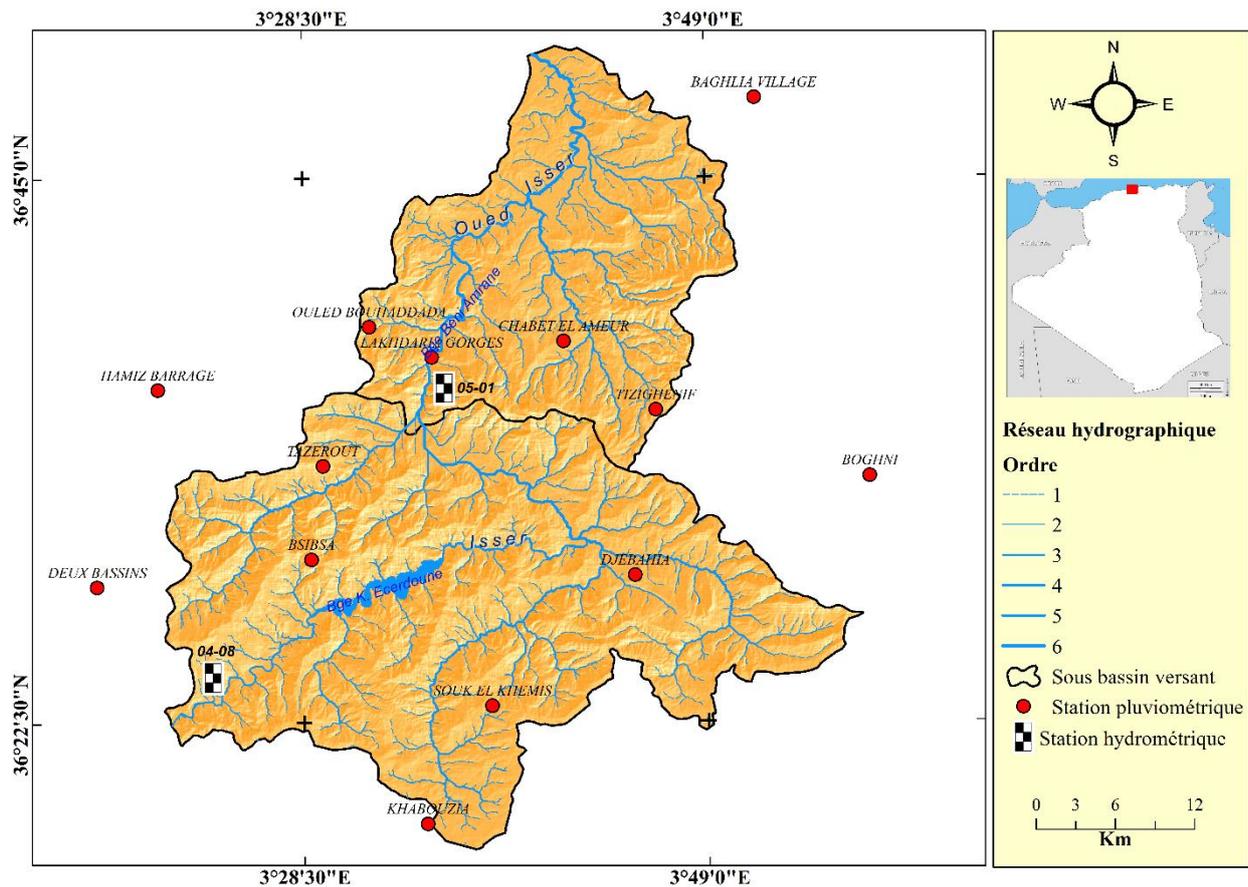


Figure II.8. Carte de Réseau Hydrographique des Sous Bassin versants.

II.7. Végétation

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.

On note que le Moyen Isser manque d'un couvert végétal forestier dense, seuls subsistes les forêts au sud du bassin, mais souvent dégradées. ANRH

Bas ISSER (maritime) : On rencontre le même problème de végétation arbustive 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.

Les collines sont couvertes d'une grande partie de céréaliculture et fourragère. Quant aux montagnes et les piémonts, on y trouve de l'olivier et autres espèces forestières.

II.8. Ressources en eaux

II.8.1. Eaux superficielles

La lame d'eau moyenne annuelle pour toute la surface des sous bassins est estimée à 165 mm donnant un potentiel en eau superficielle de 729 Mm³, soit 17% des potentialités du bassin Isser (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 Koudiat Acerdoune : 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 : Bouira Tizi Ouzou, Médéa et M'sila et à l'irrigation du périmètre de la Mitidja Centre et Est (ANBT, 2003).

II.8.2. Eaux souterraines

Les descriptions hydrologiques sont les bassins versants pouvant être ISSER. Présenté de la manière suivante selon ANRH:

II.8.2.1. Nappe du moyen ISSER

Dans le moyen Isser, la nappe aquifère est formée par les alluvions de la première terrasse qui constitue le lit majeur, et en certains endroits se trouve au-dessus du lit majeur.

Les alluvions forment une bande étroite de 100 à 500 m de large, le long du lit de l'oued. Elles sont constituées de galets, de sables, et de graviers couvrant une superficie d'environ 17 km².

Dans la partie amont entre Lakhdaria et Kadiria, l'épaisseur moyenne des alluvions est de 15 m, mais peut atteindre 20m en certains endroits. Dans la partie aval, comprise entre la ville et les gorges de Lakhdaria, l'épaisseur moyenne est de 10m.

L'alimentation de la nappe se fait par infiltration directe des pluies, mais aussi par l'oued en période des hautes eaux, et par des apports latéraux à partir des dépôts de bordure, et des terrasses plus anciennes, particulièrement dans la plaine d'El Merdja, située en amont de Kadiria. L'écoulement s'effectue suivant une direction E-W, avec un axe de drainage qui se situe en gros

entre l'oued, et la RN5. L'exutoire est constitué par l'oued qui draine la nappe en période des basses eaux, et par l'ouest pour rejoindre les alluvions du Bas Isser.

II.8.2.2. Nappe du bas ISSER

Dans le bas Isser, l'étude a mis en évidence l'existence de deux nappes aquifères en liaison hydraulique.

1- La première nappe, couvre tout le Bas Isser. Elle est constituée par :

- Les alluvions anciennes ou actuelles qui forment le lit majeur, et qui s'étendent le long de l'oued, entre Souk El Had et la région des Issers, sur une largeur comprise entre 500 et 1000m. L'épaisseur des dépôts constitués de galets, de graviers, et de sables, est comprise entre 10 et 20m. Leur superficie est 8 km².
- Les alluvions de la première terrasse qui forme une bande le long du lit majeur. La largeur de cette terrasse varie entre 1,5km et 2,5km dans la région de Bordj Menäiel, et couvre une superficie de 44 km². Ces alluvions sont caractérisées par de fréquentes variations de faciès.

2- La deuxième nappe est constituée par des galets, des graviers, et des sables plus ou moins argileux, et forme une bande ininterrompue allant de Souk El Had jusqu'à l'embouchure. La

largeur de cette bande est comprise entre 500m et 2000m. Dans la région de Bordj Menäiel elle atteint 2300m de large. Entre Souk El Had et la confluence des oueds Isser et Djemaa,

L'alimentation s'effectue par infiltration directe des pluies, et par l'Oued Isser en période des basses eaux. La première nappe est en relation hydraulique directe avec l'oued, tandis que la deuxième n'est en contact avec l'oued que dans le secteur compris entre Souk El Had et Bordj Menäiel.

II.9. Pluviométrie

II.9.1. Identification des stations pluviométriques

Ces séries ont l'intérêt de permettre la confrontation avec l'écoulement correspondant afin de dégager une étude hydro- pluviométrique et estimer la lame d'eau moyenne tombée sur les deux sous bassins. Quelques stations sont situées à l'intérieur des bassins, et d'autres au voisinage. Le nombre de stations à l'intérieur est 8 satisfaisant. La superficie globale des deux sous bassins (environ 1590 km²). Le réseau d'observations météorologiques, ont été à l'origine d'une analyse

des aspects fondamentaux du climat méditerranéen de bassin versant à partir des documentations collectées des différentes agences.

Nous avons récupéré les précipitations de 12 stations pluviométriques dans les deux sous bassins d'ISSER pour une période d'observation s'étalent de 1987 à 2012, leur identification est donnée dans le Tableau II.10.

Tableau II.10. Stations pluviométriques sur les doux sous bassin ISSER.

Numéro	Stations	Code	x (DD)	y (DD)	z (m)	Précipitations annuelles (mm)
1	DEUX BASSINS	20601	3.30	36.47	890	751.36
2	HAMIZ BARRAGE	20602	3.35	36.60	130	720.79
3	BOGHNI	21903	3.95	36.54	250	724.06
4	BAGHLIA VILLAGE	22002	3.86	36.80	30	773.90
5	KHABOUZIA	90401	3.58	36.31	720	416.26
6	SOUK EL KHEMIS	90402	3.63	36.39	782	525.37
7	DJEBAHIA	90403	3.76	36.48	320	576.30
8	BSIBSA	90419	3.48	36.49	820	741.11
9	LAKHDARIA GORGES	90502	3.58	36.63	50	724.34
10	OULED BOUHADDADA	90503	3.53	36.65	400	761.08
11	TIZIGHENIF	90506	3.77	36.59	390	740.56
12	CHABET EL AMEUR	90512	3.70	36.64	235	705.45

DD : Degrés Décimaux

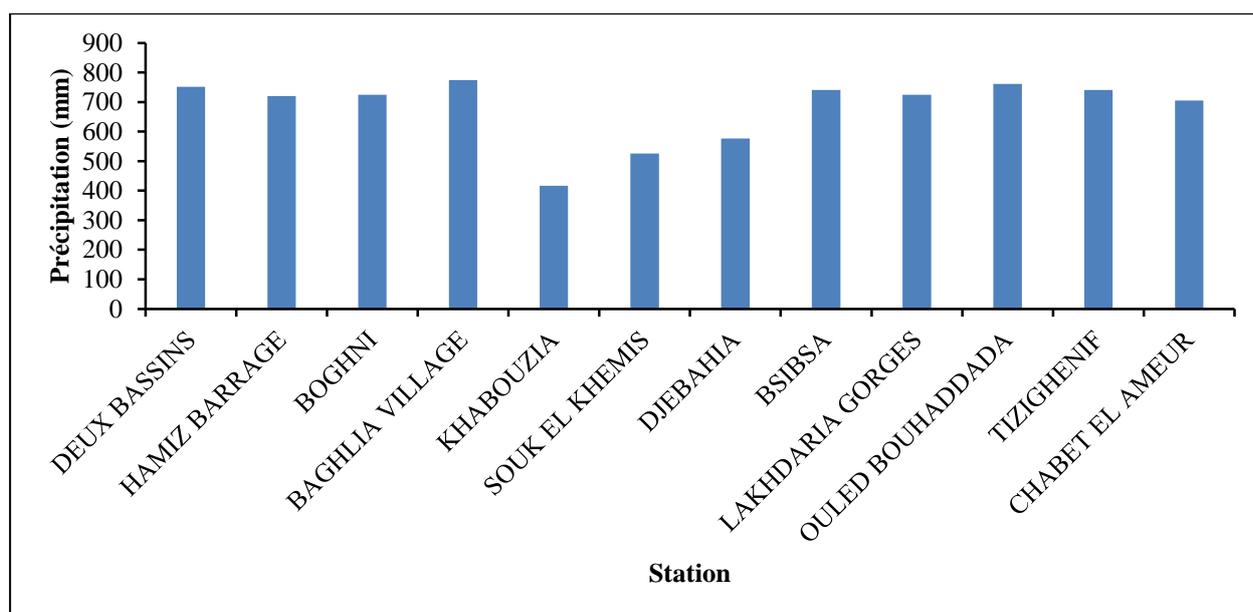


Figure II.9. Histogramme des précipitations moyennes interannuelles.

II.10. Climatologie

II.10.1. 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.
- Malheureusement, aucune station
- météorologique ne se trouve dans le bassin d'étude. Donc on s'est basé sur les données de spatialisation téléchargées auprès du site de center national pour la prédiction environnementale (<https://globalweather.tamu.edu/>) qui offre des températures, des pluies, des vitesses du vent et l'humidité...etc.

II.10.2. Température

L'étude des températures est très importante pour l'estimation du bilan hydrologique, étant donné que la température est un facteur climatique indispensable qui contribue aussi à l'approche de l'évapotranspiration.

Malheureusement, pour les mesures de température aucune station météorologique ne se trouve dans le bassin d'étude. Donc on s'est basé sur les données de spatialisation téléchargées auprès du site de center national pour la prédiction environnementale (<https://globalweather.tamu.edu/>) qui offre des températures, des pluies, des vitesses du vent et l'humidité...etc.

Pour notre cas 4 stations météorologiques à pas du temps mensuel sont prises en considération.

Tableau II.11. Identification des stations météorologiques.

N°	Nom	Code	X	Y	Elévation (m)
1	S1	36738	3.749945	36.686883	396
2	S2	36734	3.437474	36.687008	333
3	S3	36438	3.437474	36.374648	621
4	S4	36434	3.749818	36.374664	874

Les sous bassins étudiés sont caractérisés par des températures relativement douces d'octobre au mois d'avril et chaudes de Mai à Septembre.

Tableau II.12. Températures Max et température Min.

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout
T Max	29.36	23.91	16.50	12.15	11.32	12.72	16.12	19.47	24.58	30.90	35.23	34.90
T Min	14.75	11.60	7.13	3.92	2.50	2.28	3.82	5.20	9.14	13.51	16.94	17.44

II.11. Stations hydrométriques

On a pu récupérer les données hydrométriques (débits) de la station hydrométrique LAKHDARIA à l'entrée de barrage Beni Amrane. Dans les deux sous bassins d'ISSER pour une période d'observation s'étalent de 1987 à 2012, Avant d'entamer l'analyse des variations annuelles des écoulements superficiels au niveau des bassins versants, il est nécessaire de procéder au calcul des différents paramètres importants pour l'évaluation des quantités d'eau écoulées pendant toutes les années d'observation en tenant compte de la surface considérée et des données des stations hydrométriques L'identification de cette station est donnée par le tableau II.13.

Tableau II.13. Caractéristiques de la station hydrométrique LAKHDARIA.

Station	Code	Période d'observation
Lakhdaria	090501	1987-2012

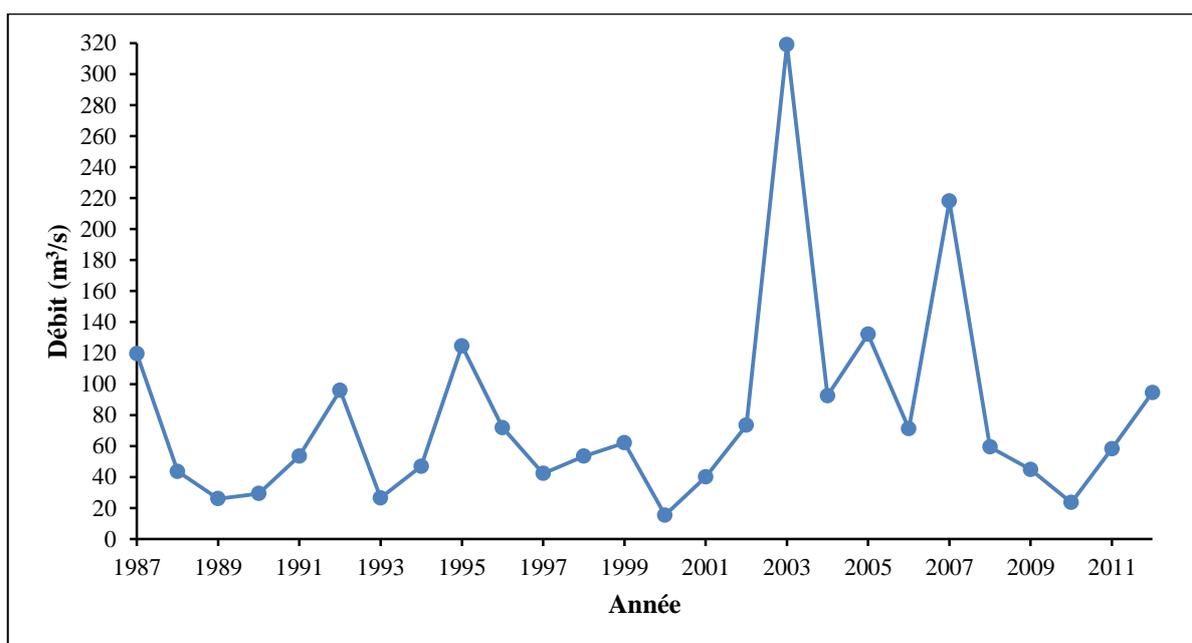
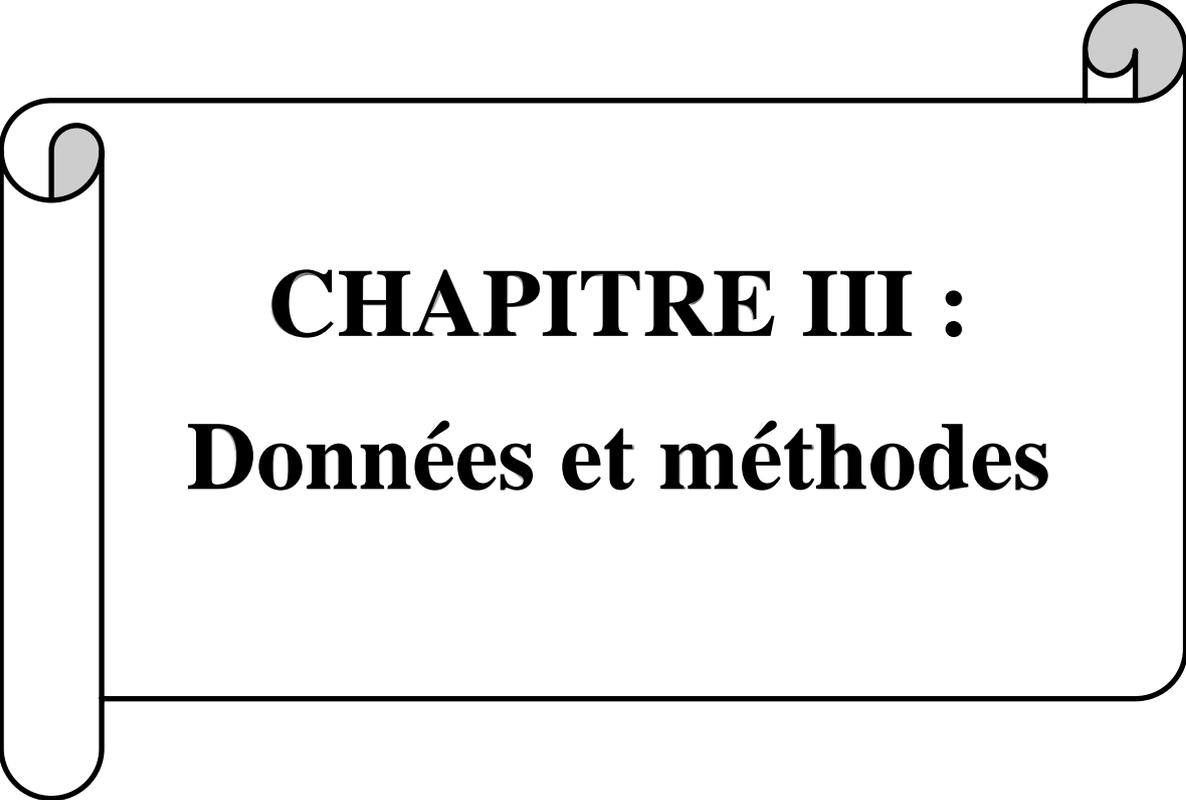


Figure II.10. Distribution annuelle des débits.

La somme des débits interannuels et leur division par la période d'observation, soit 25 ans, donne dans la figure (II.10) du Distribution annuelle des débits. Ce débit a été utile pour le calcul du débit. L'évolution interannuelle des débits montre une grande fluctuation des valeurs. Les débits les plus élevés sont observés en 2003 (320 m³/s) et 2007 (200 m³/s), alors que les valeurs les plus basses sont enregistrées en 2000(5m³/s), et 1989 (20m³/s)et 2010(21 m³/s) (figure II.10).

II.12.Conclusion

Ce chapitre nous a permis de déterminer les données nécessaires concernant la zone d'étude de deux sous bassins OUED ISSER MOYEN et OUED ISSER MARITIME, ont été sélectionnés pour tester les objectifs de cette étude du point de vue géographique qui appartient au bassin versant d'ISSER est situés au centre nord de l'Algérie, à soixante-dix kilomètres au sud-est d'Alger. Ils couvrent une superficie de mille cinq cents quatre-vingt-dix kilomètres ou carrés, soit trente-huit pour cent de la superficie totale du bassin ISSER, y compris la topographie, géologie, hydrologique, la zone d'étude est en général assez bien drainée. Ainsi l'importance du drainage est due principalement à la nature des formations qui forme les sous bassin, aux pentes assez fortes d'une part et d'autre part au régime climatique, caractérisé par ses pluies irrégulières et violentes. Y'compris le climatologique de La zone d'étude 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. Ainsi que la situation végétale. Ces données nous serviront pour entamer notre étude du ce projet.



CHAPITRE III :
Données et méthodes

III.1. Introduction

Ce chapitre décrit les démarches qui ont permis de donner un aperçu général sur l'aspect hydrologique de notre zone d'étude. Le processus de sélection des entrées pour les modèles pluie-débit basés sur les données mensuelles des précipitations et débits des stations pluviométriques et hydrométriques, y compris l'indice de végétation par différence normalisée (INDV) et l'indice de l'Evapotranspiration potentielle (ETP) calculé par des températures. Des intrants sélectionnés ont été utilisés pour développer des réseaux de neurones artificiels (RNA) dans la zone d'étude.

Par conséquent, les réseaux de neurones artificiels, qui sont capables de capturer la complexité des variations temporelles dans les séries de données, plus faciles à utiliser et donne des résultats plus rapidement que d'autres modèles. Ces techniques de RNA ont pour but d'estimer les quantités des écoulements à l'exutoire d'un bassin versant, certains chercheurs ont utilisé une approche unique de RNA pour établir des relations pluies-débits. Ils ont constaté que les modèles RNA donnent de meilleurs résultats. Nagy [2002] a utilisé un modèle de RNA de type feed-forward à trois couches pour prédire le débit concentration à l'aide de quatre paramètres d'entrée.

Dans ce chapitre, on applique le modèle RNA pour estimer les débits dans le bassin de l'oued ISSER. Les données disponibles sont employées pour évaluer la performance du modèle, y compris différentes combinaisons comme entrée et seulement les débits comme sortie, de la station de jaugeage de Lakhdaria pendant la période qui s'étale entre 1987 et 2012.

III.2. Les Données

Le processus de sélection des entrées pour les modèles pluie-débit basés sur les données est essentiels car les vecteurs d'entrée déterminent la structure du modèle et, par conséquent, peuvent influencer les résultats du modèle. Ici, les entrées de séries des précipitations(p) et débits(d) y compris l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et l'indice de l'évapotranspiration potentielle (ETP), ont été évaluées. Des intrants sélectionnés ont été utilisés pour développer des réseaux de neurones artificiels (RNA) dans les sous bassins d'étude.

III.2.1. 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.

III.2.1.1. Précipitations

Pour notre zone d'étude, on a plusieurs stations pluviométriques disponibles puis que le réseau pluviométrique du bassin versant de l'oued Isser comporte 21 stations pluviométriques. Seules 12 stations sont prises en considération, dont quelques stations sont situées à l'intérieur du bassin avec d'autres au voisinage. Le nombre de stations à l'intérieur est satisfaisant, mais il est en réalité très faible en comparaison avec la superficie globale des deux sous bassins (environ 1590 km²). Certaines parties montagneuses des bassins sont dépourvues de postes pluviométriques.

III.2.1.2. Traitement des données pluviométriques

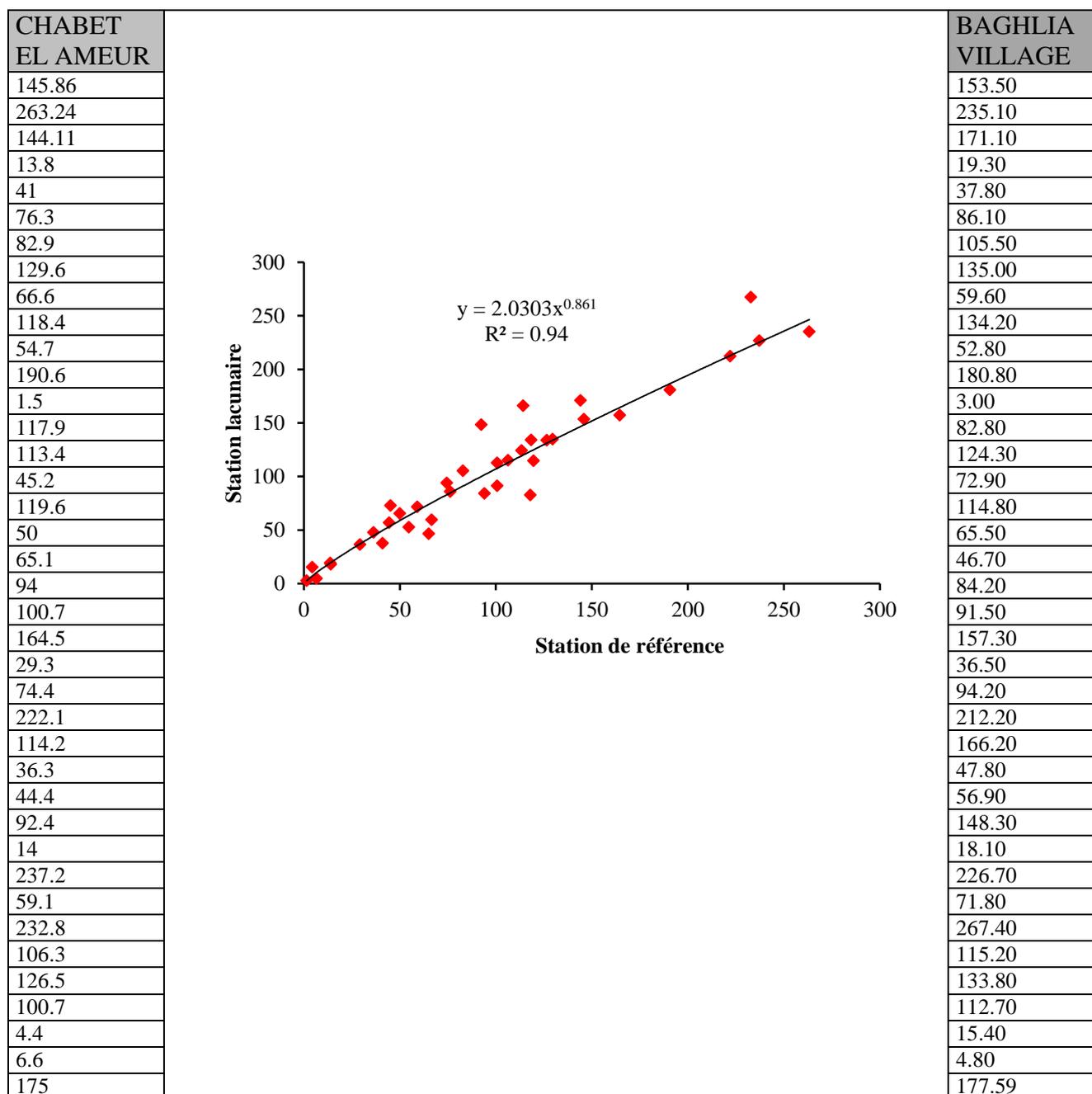
Le nombre élevé des lacunes aux échelles mensuelle et annuelle, le manque de fiabilité de certaines données statistiques et la faible densité du réseau d'observations météorologiques, ont été à l'origine d'une analyse des aspects fondamentaux du climat méditerranéen de bassin versant à partir des documentations collectées des différentes agences.

Pour résoudre ce problème de fiabilité des données, l'emploi d'outils statistiques et graphiques est nécessaire pour contrôler la qualité des échantillons pluviométriques et déceler l'anomalie qui pourrait les affecter en vue de leur homogénéisation. Cette dernière opération est indispensable si l'on veut déterminer de façon plus ou moins précise les caractéristiques des précipitations Bouanani [2006].

Bien que la notion de la moyenne pluviométrique estompe la réalité des faits climatiques, notamment en domaine méditerranéen, sa connaissance demeure nécessaire pour aborder l'étude de l'abondance des cours d'eau et surtout la détermination du bilan moyen annuel de l'écoulement. Elle permet également de cerner la variabilité des pluies sur de longues périodes d'observation, néanmoins, cette variabilité doit être précisée par des moyens statistiques qui permettent de lier les hauteurs précipitées à leur durée de récurrence Bouanani [2006].

La reconstitution des données manquantes dans plusieurs stations qui comptent des lacunes à l'échelle journalière a provoqué l'incertitude à l'échelles mensuelle et annuelle. Pour résoudre ce problème on a été obligé de passer par la méthode de la corrélation entre les stations proches pour compléter les données mensuelles et annuelles. Ce qui contribue à améliorer la cartographie des isohyètes. Chacune d'entre elles servira de base de comparaison à un groupe de postes se trouvant dans des conditions climatiques comparables. Exemple de deux stations de mesure des précipitations au mois de Janvier, la station CHABET EL AMEUR prise comme station de référence et la station de BAGHLIA VILLAGE contient des lacunes qu'on voudra les reconstruire.

Tableau III.1. Corrélation mois par mois entre les stations.



III.2.1.3. Calcul de pluie moyenne sur l'ensemble du bassin versant.

III.2.2.3.1. La Méthode des polygones de Thiessen

La méthode polygone de Thiessen permet d'estimer des valeurs pondérées en prenant en considération chaque station pluviométrique. Elle affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont l'aire, exprimée en %, représente le facteur de pondération de la valeur locale.

Les différentes zones d'influence sont déterminées par découpage géométrique du bassin à l'aide d'outil ArcGIS. Les stations disponibles étant affichées sur le logiciel, qui trace une série de segments de droites reliant les stations adjacentes. Après, des perpendiculaires au centre de chacune des droites (médiatrices) ont été élevés ; les intersections de ces perpendiculaires déterminent des polygones. Dans chaque polygone, la hauteur de précipitation choisie est celle relevée à la station située à l'intérieur de celui-ci. Les côtés des polygones et/ou la ligne de partage des eaux représentent les limites de l'aire (et du poids) accordée à chaque station. L'aire de chaque polygone A_i est déterminée numériquement.

La précipitation moyenne pondérée P_{moy} pour l'ensemble du bassin versant, se calcule alors en effectuant la somme des précipitations P_i de chaque station, multipliées par leur facteur de pondération (aire A_i), le tout divisé par la surface totale A . La précipitation moyenne sur le bassin s'écrit :

$$P_{moy} = \frac{\sum A_i P_i}{A} \quad (III.1)$$

Avec :

P_{moy} : précipitation moyenne sur le bassin,

A : aire totale du bassin,

P_i : précipitation enregistrée à la station i ,

A_i : superficie du polygone associée à la station i .

Les précipitations est l'un des facteurs très importants de notre étude. Le tableau (IV.1.) suivant : présente les données des pluies moyennes mensuelles de douze stations qu'on a choisies pour les calculs des débits. Les mois d'hiver montre une forte augmentation des précipitations. Le mois de décembre montre une forte pluie qui représente 104 mm de pluies moyennes mensuelles et les mois de janvier et février sont représenté successivement avec 90 mm et 81 mm. Les saisons de printemps et automne connues une précipitations moyenne varie de 48 mm a 70 mm et de septembre à novembre avec de valeur 38mm a 82 mm. Tandis qu'en été des faibles valeurs de précipitations ont été enregistrés.

Tableau III.2. Pluies moyennes mensuelles des de douze (12) stations pluviométriques.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuelle (mm)
Moyenne	90.52	81.96	61.79	70.38	48.55	8.19	4.07	7.04	31.92	48.64	82.32	104.07	639.45
%	14.16	12.82	9.66	11.01	7.59	1.28	0.64	1.10	4.99	7.61	12.87	16.27	100

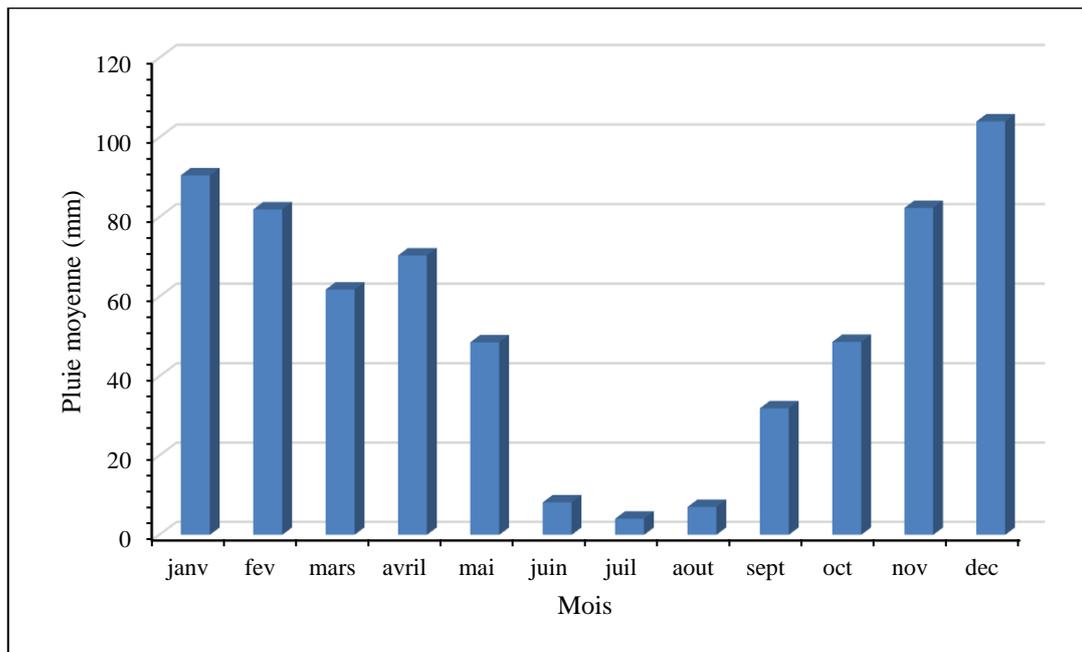


Figure III.1. Distribution des pluies moyenne mensuelles.

III.2.2. Evapotranspiration

L'étude des températures dans une section précédente est très importante pour l'estimation du bilan hydrologique, étant donné que la température est un facteur climatique indispensable qui contribue aussi à l'approche de l'évapotranspiration. Dans cette partie on va procéder au calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) par la formule de Thornthwaite.

III.2.2.1. Formule de THORNTHWAITE (1948)

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

$$ETP = 1.6 * \left(10 + \frac{T}{I}\right)^a \quad (III.2)$$

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

T : température moyenne annuelle en °C.

I : somme des indices thermiques mensuels de l'année.

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \quad (III.3)$$

$$a = 6.75 * 10^{-7} * I^3 - 7.71 * 10^{-5} * I^2 + 1.792 * 10^{-2} * I + 0.4989$$

Comme on possède des mesures des températures de 4 stations, mais on doit ressortir qu'une seule station pour l'introduire dans le model. Donc on a procédé la même méthode utilisée pour les précipitations, celle des polygones de Thiessen. Le tableau suivant récapitule les moyennes mensuelles de l'évapotranspiration.

Tableau III.3. L'évapotranspiration moyenne mensuelle sur l'ensemble du bassin.

Année	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Moyenne (mm)	38.74	50.49	86.31	113.94	156.46	187.82	208.96	190.12	130.12	86.95	48.09	36.20

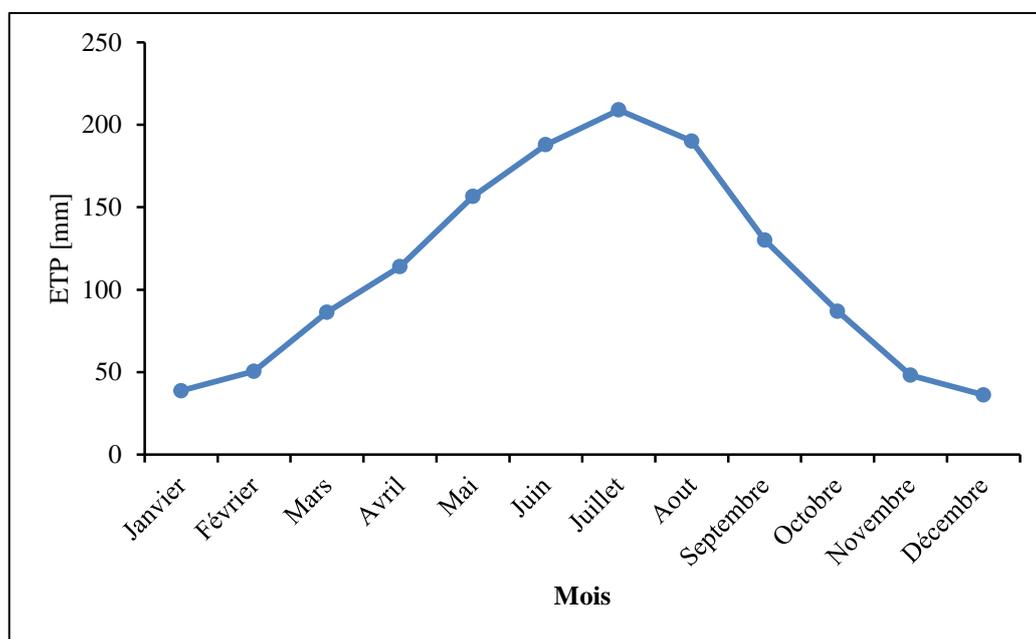


Figure III.2. Distribution moyenne mensuelle de l'ETP.

III.2.3. Indice de Végétation par Différence Normalisée NDVI

L'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) permet de déterminer la santé de la végétation en mesurant la teneur en chlorophylle des plantes via des capteurs embarqués sur des satellites ou des drones. Le NDVI est caractérisé par une grandeur physique, la réflectance, qui détermine la capacité des cultures à réfléchir la lumière. En agriculture, cet indice de végétation permet de mesurer le taux de couverture végétale et la vigueur de la culture présente sur une parcelle agricole.

Les NDVI sont des mesures quantitatives, basées sur les propriétés spectrales de la végétation qui tentent de mesurer la biomasse ou la vigueur végétative Agapiou et Hadjimitsis [2011]. Comme une estimation indirecte de la densité végétale, le NDVI, qui se rapproche de la densité, de la chlorophylle a été calculé pour la zone d'étude est généré à partir des images

satellites (www.eos.com), d'une résolution spatiale de 10 et 30 mètres, sont acquis mensuellement au cours de la période d'étude.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (III.4)$$

Où

NIR est l'intensité de la lumière en proche infra-rouge, et RED est l'intensité de la lumière en canaux rouge.

Cet indice est un indicateur de l'énergie réfléchiée par la terre, liée à différentes conditions de types de couverture. Lorsque la réponse spectrale mesurée de la surface de la terre est très similaire dans les deux bandes, les valeurs NDVI approche de zéro. Une grande différence entre les deux bandes résulte des valeurs de NDVI aux extrémités de la plage de données.

D'après le graphique ci-dessous on remarque deux périodes distinct, l'une commence du mois de Mai jusqu'au mois de septembre et qui présente une baisse des valeurs de NDVI arrive jusqu'à 0.19 (faible couverture végétale), tandis que la deuxième période augmente du mois de septembre où il atteint une valeur maximale de 0.36 en mois de mars (couverture végétale très riche).

Tableau III.4. Valeurs moyennes mensuelles de l'NDVI.

Année	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
NDVI	0.31	0.31	0.36	0.34	0.35	0.29	0.22	0.20	0.19	0.21	0.21	0.24

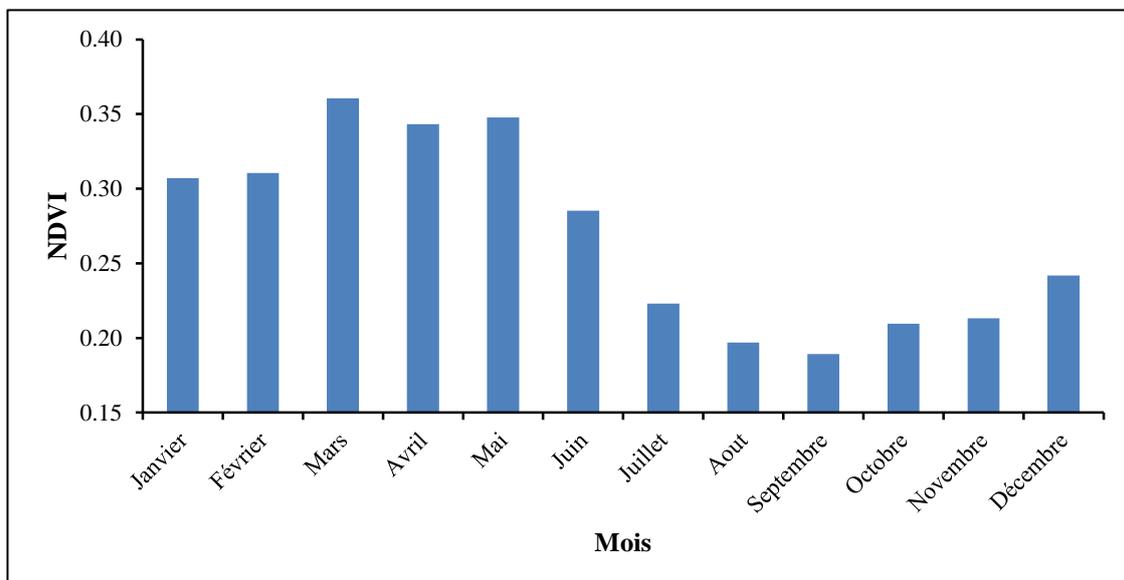


Figure III.3. Distributions moyennes mensuelles de l'NDVI.

III.2.3. Répartition de le Débits

L'évaluation des données pèsent à l'échelle mensuelle à partir des valeurs provenant de la station de lakhdaria Le tableau (IV.3.) suivant présente les données des débits moyennes mensuelles. Les mois d'hiver montre une forte augmentation de débits. On janvier montre une forte valeur de débits qui représente 12.82m³/s avec une forte valeur de 16.62m³/s, à février. de mars et avril sont représenté successivement avec 13.71m³/s et 12.19 m³/s de ruissellement les mois de printemps et automne et l'été une débits faible de mai à novembre avec une valeur de 0.41 m³/s jusqu' à 5.06m³/s .sauf le mois de décembre à l'hiver qui montre une moyenne valeur de 8.78m³/s de débits moyennes mensuelles.

Tableau III.3 : Distribution moyenne mensuelle des débits de la station hydrométrique.

Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
moyenne	12.82	16.62	13.71	12.19	5.06	1.16	0.41	0.24	1.72	2.00	3.63	8.78

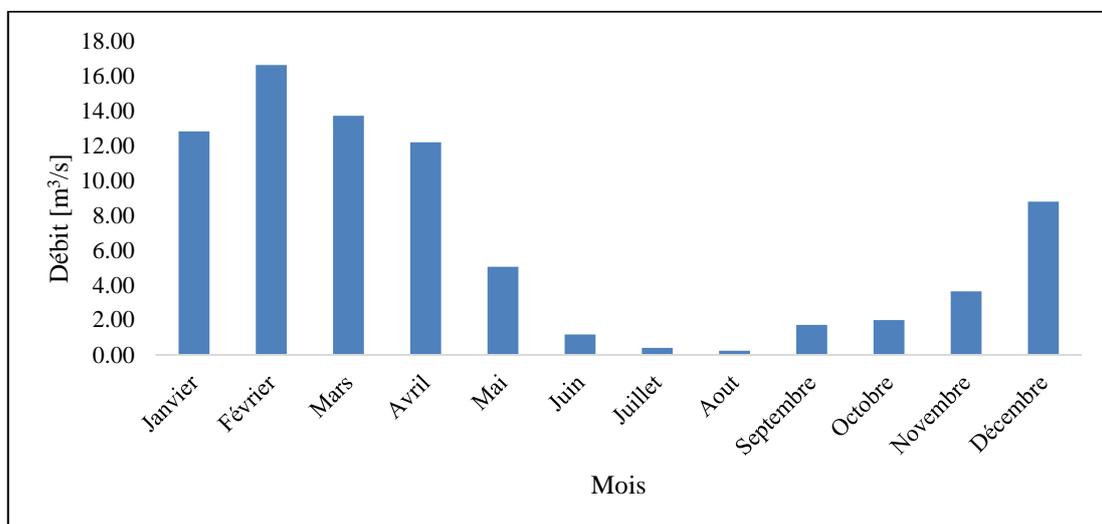


Figure III.4. Répartition moyenne mensuelle de débit.

III.3. Les données du modèle

Différentes combinaisons d'entrée ont essayé de prédire les valeurs de débits futurs pour les sous bassins de l'oued ISSER. Dans tous les cas, nous avons pris des couples (des précipitations (P) et débits (Q) y compris l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et l'indice de l'Evapotranspiration potentielle (ETP) à un pas de temps différent (P_t ; P_{t-1} ; P_{t+1} ; Q_t ; Q_{t-1} ; Q_{t-2} ; INDV ; ETP) comme données d'entrée et la couche de sortie n'avait qu'un seul neurone, c'est, le débit. Le nombre de neurones dans la couche cachée a été étudié par la méthode d'essai et d'erreur avec la variation entre eux pour que chaque combinaison atteindre la meilleure structure de réseau. Ainsi, pour sélectionner le nombre de nœuds cachés, nous avons commencé avec 1 neurone caché et graduellement augmenté le nombre jusqu'à ce qu'un réseau de 5 neurones cachés avec le moins d'erreur quadratique moyenne a été atteint. L'augmentation des neurones cachés pourrait produire des erreurs et des réseaux pauvres en performances Melesse [2011].

Dans toutes les combinaisons les jeux de données ont été répartis en trois sous-ensembles, avec des proportions égales dans les séries de tests et de validation, 70 % ont été utilisés pour l'apprentissage, 30% ont été utilisés pour le test et la validation de réseau (15% pour chaque opération).

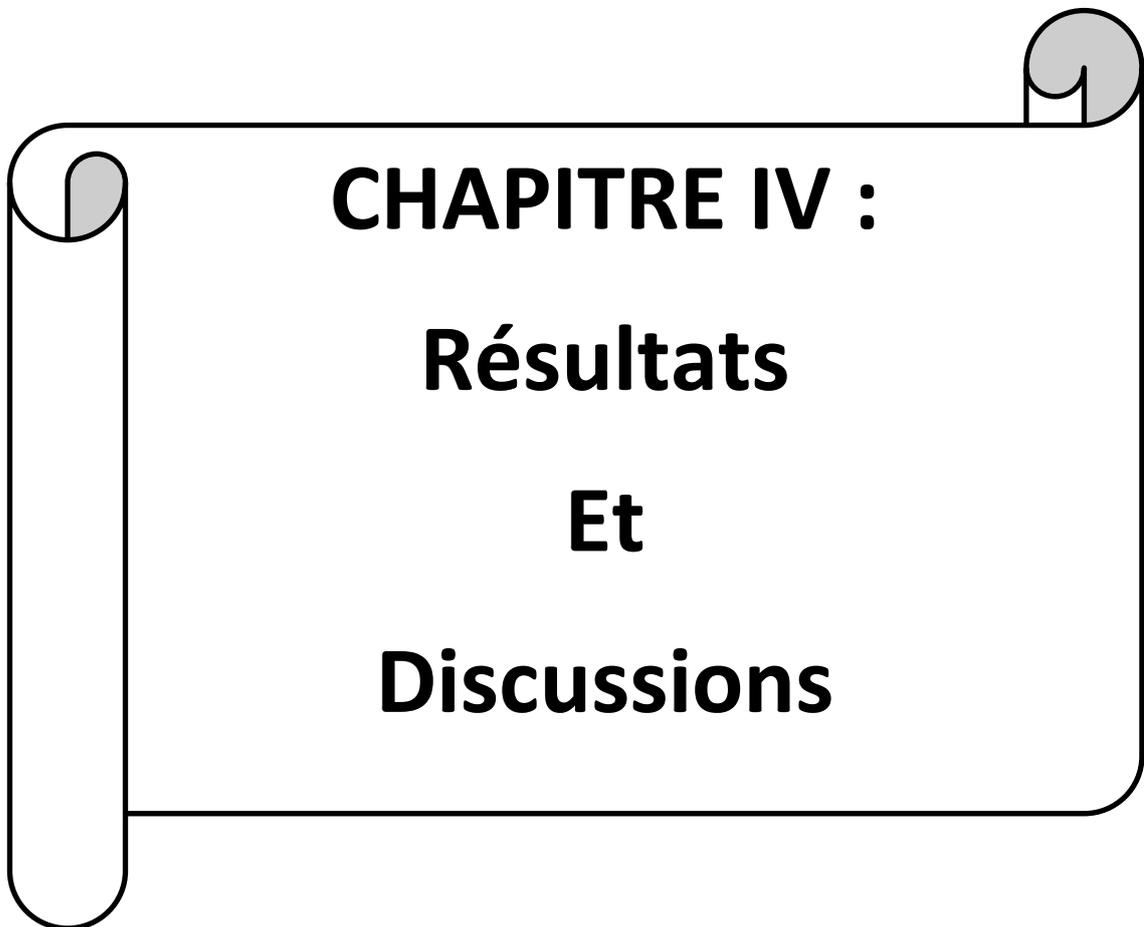
III.4. Conclusion

L'identification des paramètres hydrologique dans ce chapitre nous a permis de déterminer les processus des sélections des entrées pour le modèles pluie-débit basés sur les données des précipitations et le débits y compris l'indice de végétation par différence normalisée (INDV) et l'indice de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et d'évaluer les paramètres nécessaires

pour l'application de modèle hydrologique de réseaux de neurones artificiels qui sont considérés comme données entrantes pour ce modèle à un pas de temps différent (P_t , P_{t-1} , P_{t+1} , Q_t , Q_{t-1} , Q_{t-2} , INDV, ETP) comme données d'entrée et la couche de sortie n'avait qu'un seul neurone, c'est le débits futur (Q).

La méthode du polygone de Thiessen permet d'estimer des valeurs pondérées en prenant en Considération chaque station pluviométrique. Elle affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont l'aire, exprimée en %, représente le facteur de pondération de la valeur locale.

Les différentes zones d'influence sont déterminées par découpage géométrique du bassin à l'aide d'outil ArcGIS. Les stations disponibles étant affichées sur le logiciel, qui trace une série de segments de droites reliant les stations adjacentes. Après, des perpendiculaires au centre de chacune des droites (médiatrices) ont été élevés ; les intersections de ces perpendiculaires déterminent des polygones. Dans chaque polygone, la hauteur de précipitation choisie est celle relevée à la station située à l'intérieur de celui-ci. Les côtés des polygones et/ou la ligne de partage des eaux représentent les limites de l'aire (et du poids) accordée à chaque station. L'aire de chaque polygone A_i est déterminée numériquement.



IV.1. Introduction

Les réseaux de neurones artificiels ont souvent fait l'objet de recherches dans de nombreuses disciplines scientifiques et sous de nombreux angles tels que la classification, la prédiction ou le contrôle. La relation de ruissellement des précipitations peut être considérée comme un problème d'extrapolation entre le système d'entrée variable (précipitations, l'évapotranspiration, l'Indice de Végétation par Différence Normalisée, débit) et le système de sortie variable (débit). En ce sens, les réseaux de neurones ont été testés sous des modèles d'écoulement de pluie, au moyen d'une synthèse théorique.

L'approche modèle utilisée est basée sur des réseaux de neurones artificiels, inspirés du cerveau humain, largement utilisés en hydrologie, et introduisant un nouveau concept de simulation basé sur l'apprentissage des données. Equipé d'algorithmes d'optimisation non linéaires, il tire parti d'une simulation simple et correcte de la relation de précipitation. Dans le pas de temps quotidien, son application est subtile en raison de la complexité de la relation d'écoulement de pluie.

Dans ce chapitre, on présente les résultats des différentes étapes de la modélisation. On applique le modèle RNA pour estimer les débits dans les sous bassins de l'oued ISSER. Les résultats trouvés sont employés pour évaluer la performance du modèle, y compris différentes combinaisons comme entrée et seulement les débits comme sortie.

IV.2. Résultats

Pour cette étude, la boîte à outils de réseau neurologique de MATLAB R2020a est utilisée. Les variables d'entrée du modèle correspondent aux valeurs ;

*1er a une seule entrée (précipitations)

*2ème a une plusieurs entrées (précipitations et les évapotranspirations et les débits et NDVI).

La sortie du réseau est représentée par les débits. Dans ce cas, la structure du modèle de réseau de neurones peut être exprimée comme suit :

1er $Q = \text{RNA} [P]$.

2ème $Q = \text{RNA} [P, \text{ETP}, \text{NDVI}, Q]$.

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.

VI.3. Discussions

Cette partie présente les résultats des différentes étapes de la modélisation :

Une phase de calcul effectuée afin de déterminer l'architecture du RNA optimal, le calage du modèle et la validation de ce dernier.

Notre étude était basée sur deux cas (a une seule entrée et a plusieurs entrées)

IV.3.1. le modèle à une seule entrée.

Tout d'abord, nous avons appliqué le modèle en entrant les vectrices pluies comme entrée unique.

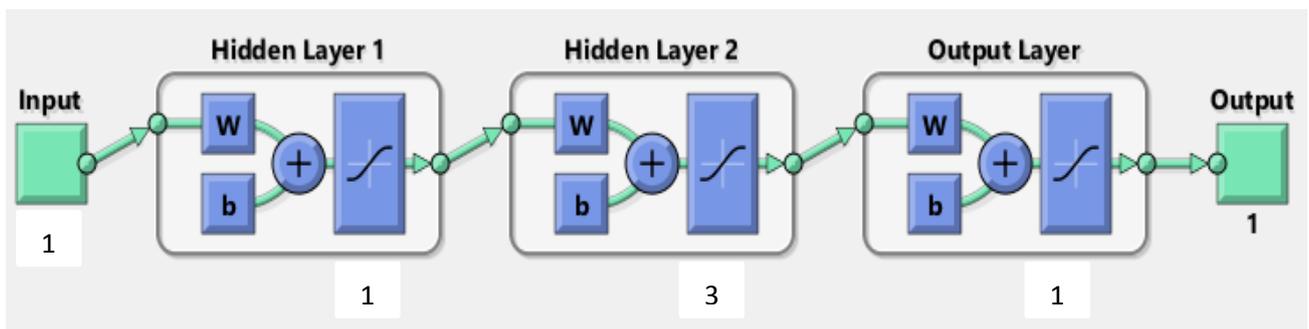


Figure IV.1 : Schéma de réseau de neurone (A une seule entrée) .

Nous avons fait beaucoup d'entraînements dans le logiciel (MATLAB), le meilleur résultat obtenu est présenté dans les tableaux IV.3 :

IV.3.1.1. La pluie (Pt)

La modélisation par corrélation des données mensuelles. donne des coefficients de corrélation pratiquement satisfaisants notamment, linéaire.

Le tableau suivant montre les différents résultats du coefficient de détermination et le modèle qui relie les paramètres pluies-débits.

Tableau IV.1. Résultats des différentes corrélations entre les débits.

Modèle	Fonction	R ²
Pt	$y = 0.9739x + 0.002$	0.9759

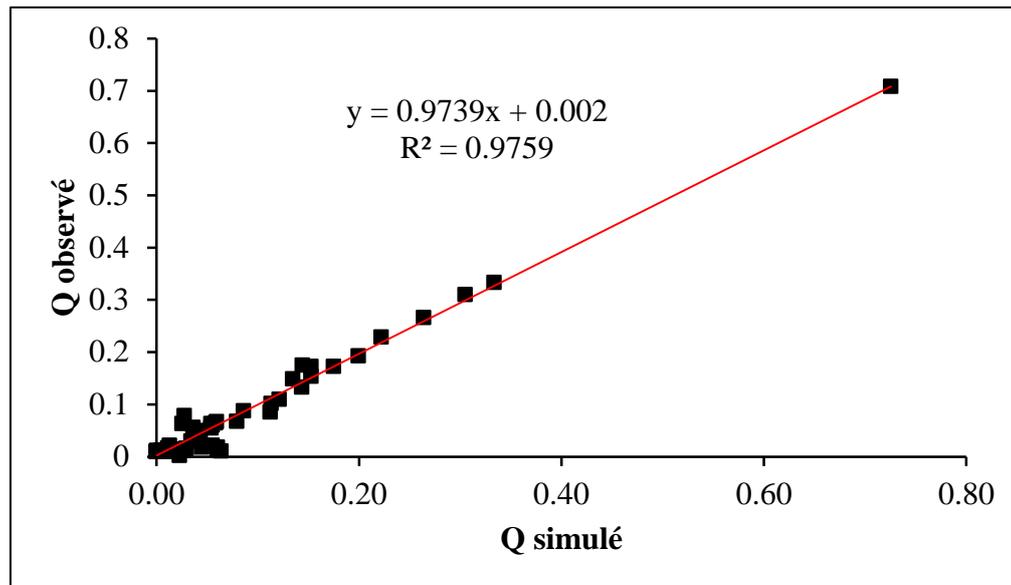


Figure IV.2. Corrélations entre les débits observés et les débits estimés par le modèle Pt.

La figure IV.2, représente les résultats issus du modèle pour le plus pluvieux évènement. On a obtenu les crues des plus grandes pluies. On a présenté tous les résultats des deux sous bassins. Selon les figures (IV.2), on constate que la répartition des débits simulés en fonction des débits observés pour les sous bassins étudiés par le modèle de transfert est montrant une bonne superposition, pour chacun des modèles utilisés pour cette étude.

IV.3.2. le modèle à Plusieurs entrées

Dans le deuxième cas, nous avons appliqué le modèle en introduisant les plusieurs vecteurs, précipitation et Evapotranspiration, débits, l'indice de végétation par différence normalisée :

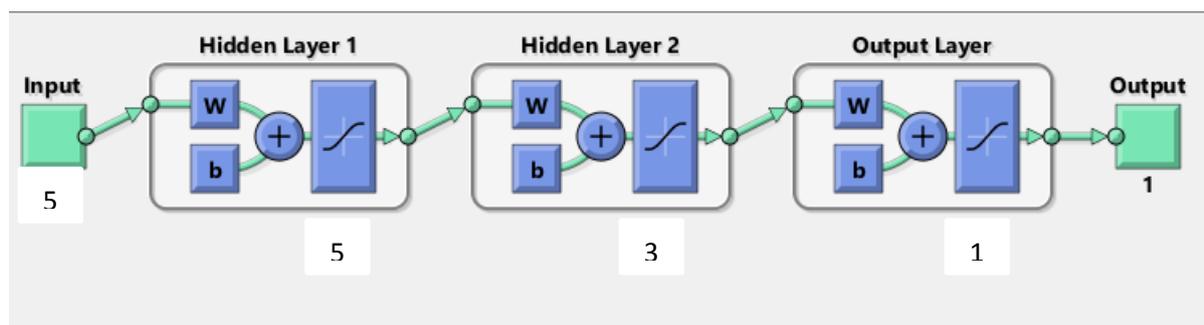


Figure IV.3: Schéma de réseau de Neurone (à plusieurs entrées)

Le tableau IV.3 constitue une récapitulation des résultats des différents critères d'évaluation pour le modèle à plusieurs entrées.

IV.3.2.1 La structure du modèle Pt, Pt-1, Pt-2, Qt-1

Les résultats de modélisation sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IV.2. Résultats des différentes corrélations entre les débits.

Modèle	Fonction	R ²
Pt, Pt-1, Pt-2, Qt-1	$y = 0.9464x + 0.0007$	0.9263

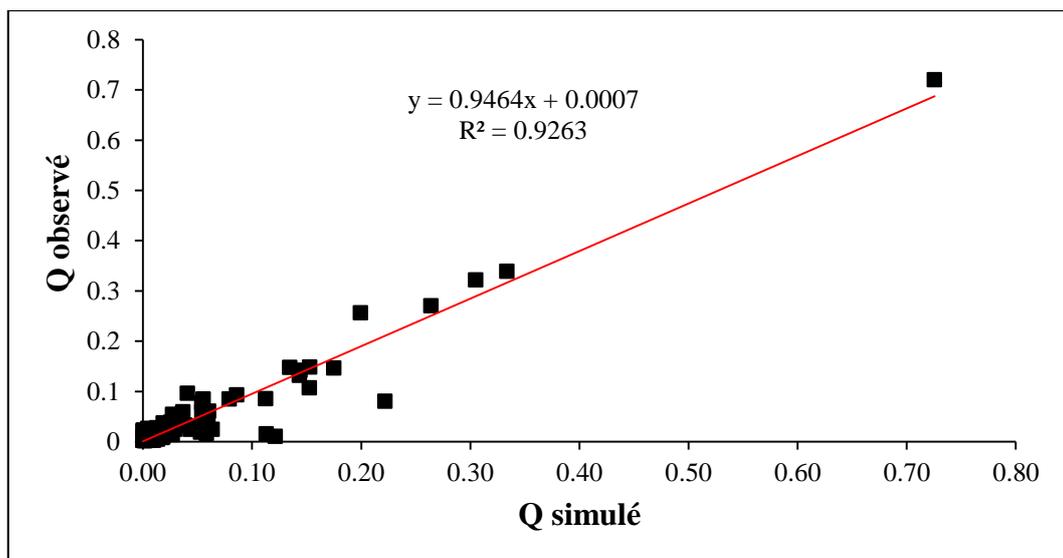


Figure IV.4: corrélation débits réels-débits simulés par le modèle RNA obtenu.

Selon les figures (IV.4), on constate que la répartition des débits simulés en fonction des débits observés pour les sous bassins étudiés par le modèle de transfert est montrant une bonne superposition, pour chacun des modèles utilisés pour cette étude.

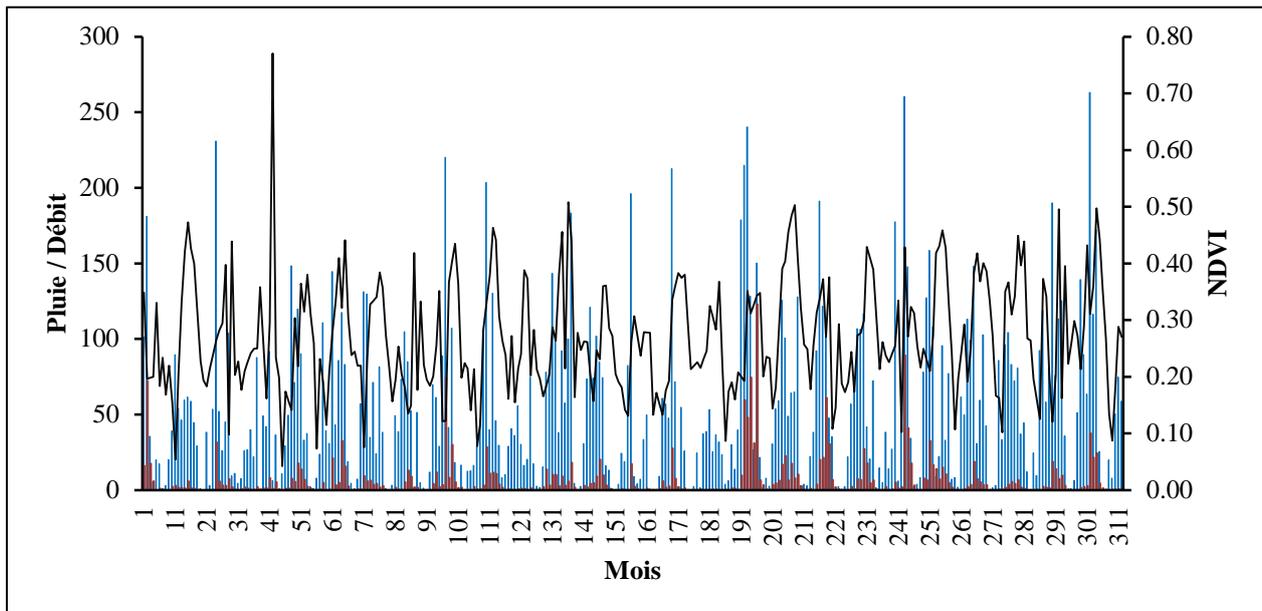


Figure IV. 5: la variation du débit réel et simulés.

Les résultats mentionnés dans les graphiques montre la performance du modèle obtenu dans ce bassin, une bonne tendance obtenue

IV.4. le calibrage et validation

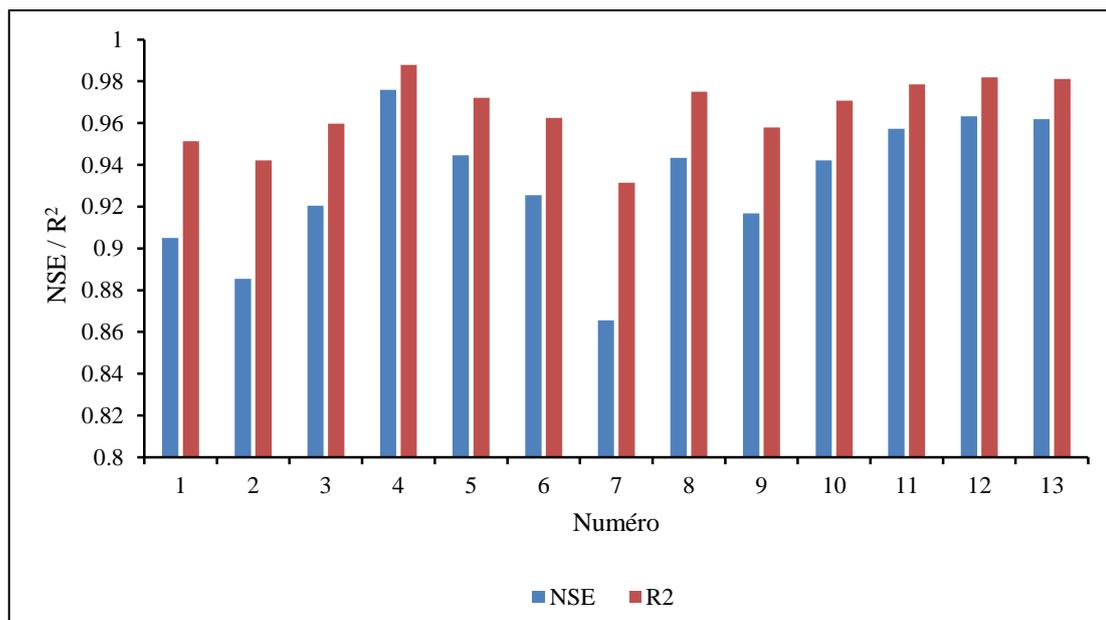
Après le calibrage et la validation des réseaux, leurs performances ont été évaluées pour trois statistiques, l'erreur moyenne absolue (MSE), coefficient d'efficacité (NSE), et les coefficients de corrélation (R^2). Nous avons fait beaucoup d'entraînements dans logiciel (MATTLAB), le meilleur résultat obtenu est présenté dans Le tableau IV.. Montre les meilleures architectures de réseaux et les critères de performance pour chaque combinaison. En outre, le nombre de neurones de chaque combinaison avec les couches cachées et les statistiques d'apprentissage du modèle en termes de critères de performance sont présentés.

Selon les résultats, les modèles de RNA fournissent les meilleures combinaisons de critères de performance pour les numéros 4, 11, 12 et 13, mais nous avons choisis le numéro 4, en raison de son coefficient de corrélation plus élevé. Dans cette combinaison (Pt ; Qt-1), la structure de RNA était la meilleure pour trois neurones cachés et deux entrées.

Tableau IV. 3. Résultats de la modélisation.

N°	inputs	Structure	Calibration 70%			Validation 30%		
			MSE	NSE	R ²	MSE	NSE	R ²
01	Pt	1 - 3 - 1	0.00145	0.88189231	0.9406	0.00107	0.90501581	0.95
02	Pt, Pt-1	2 - 5 - 1	0.000966	0.93347811	0.9666	0.00113	0.8854526	0.94
03	Pt, Pt-1, Pt-2	3 - 3 - 1	0.00131	0.92512402	0.9627	0.000843	0.92044036	0.96
04	Pt, Qt-1	2 - 3 - 1	0.000326	0.97435834	0.9873	0.000225	0.97587254	0.99
05	Pt, Pt-1, Qt-1	3 - 3 - 1	0.000443	0.96516899	0.9825	0.000669	0.94454401	0.97
06	Pt, Pt-1, Pt-2, Qt-1	4 - 3 - 1	0.000768	0.9163411	0.9590	0.000889	0.92544405	0.96
07	Pt, ETP	2 - 3 - 1	0.00245	0.83392568	0.92407	0.0016	0.86548242	0.93
08	Pt, NDVI	2 - 5 - 1	0.0014	0.89078099	0.9453	0.000329	0.94336588	0.97
09	Pt, ETP, NDVI	3 - 3 - 1	0.00129	0.81918063	0.94656	0.000868	0.91670085	0.96
10	Pt, NDVI, Qt-1	3 - 3 - 1	0.00233	0.86649023	0.93107	0.000665	0.94219388	0.97
11	Pt, Pt-1, Qt-1, ETP	4 - 3 - 1	0.00226	0.85508742	0.93879	0.000542	0.95725848	0.99
12	Pt, Pt-1, Qt-1, NDVI	4 - 3 - 1	0.00182	0.8964484	0.95087	0.000463	0.9632845	0.98
13	Pt, Pt-1, Qt-1, ETP, NDVI	5 - 3 - 1	0.00106	0.93499562	0.96733	0.000451	0.96181923	0.98

Ces diagrammes de la figure IV.6 représentent sur le même système d'axes, la variation des séries de validation de (NSE) et (R²) des réseaux. Nous avons porté les valeurs des meilleures architectures de réseaux et les critères de performance pour chaque simulation. En outre, le nombre de neurones de chaque simulation et les statistiques d'apprentissage du modèle en termes de critères de performance sont présentés des résultats satisfaisants.

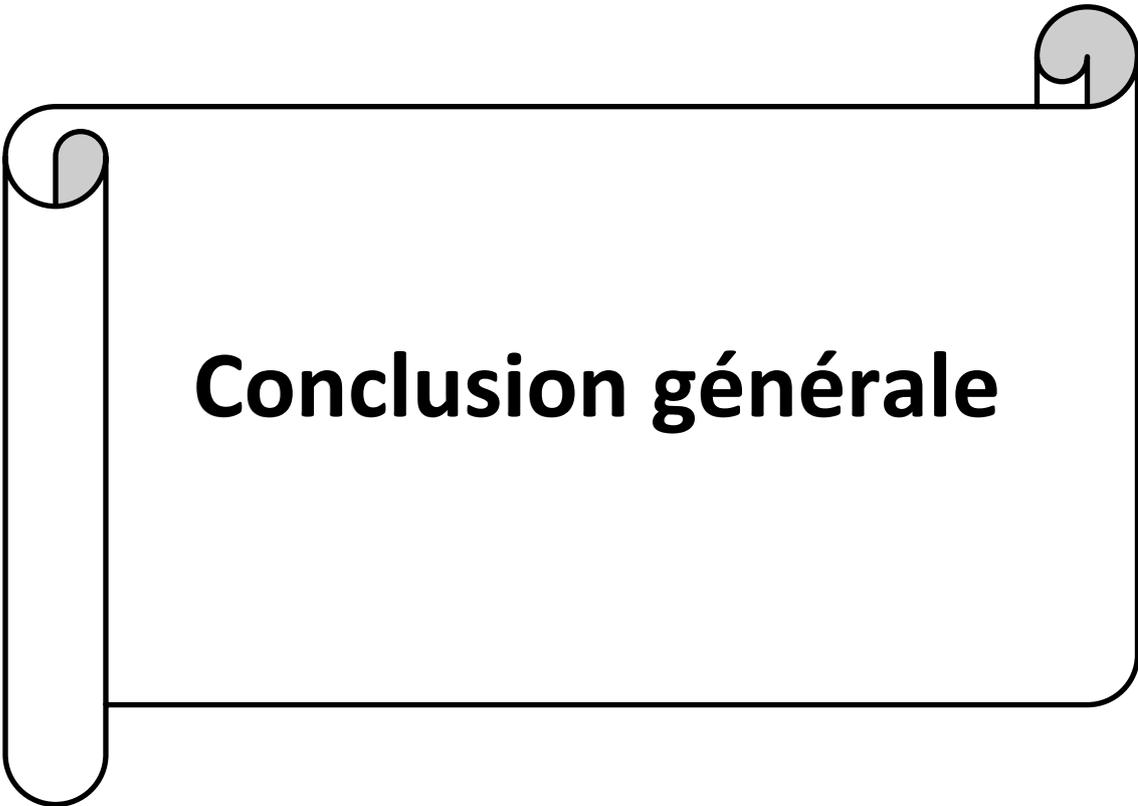
Figure IV.6. Variations des séries de validation de NSE et R² des réseaux.

Les résultats de modélisation montrent aussi la série de données révélées et prédites au cours de la phase d'apprentissage de réseau. Le modèle a étudié précisément le non linéarité au cours d'apprentissage et a produit une bonne généralisation au cours de la phase de tests des réseaux.

IV.4. Conclusion

Le Réseau de neurone artificiel a été appliqué avec succès pour la prévision de débits dans les sous bassins hydrographiques de l'ISSER. Le modèle a été examiné en appliquant différentes combinaisons d'entrée comportant des précipitations et débits des stations pluviométriques et hydrométriques, y compris l'indice de végétation par différence normalisée (INDV) et l'indice de l'Evapotranspiration potentielle (ETP). Les résultats obtenus ont montré des capacités robustes de prévision de Réseau de neurone artificiel pour la série chronologique choisie des variables de ressource en eau.

L'étude a suggéré que l'application appropriée de Réseau de neurone artificiel autre que le perceptron multicouches (MLP), aux enregistrements de sédiments puisse mener à résoudre plusieurs problèmes des ressources en eau et pourra fournir une alternative supérieure pour des simulations d'entrée-sortie et des modèles d'estimations dans les situations qui n'exigent pas la modélisation de la structure interne du bassin versant. À cet égard, le modèle développé présente la prévision du débit dans les sous bassin de l'oued ISSER en employant seulement les précipitations et les débits liquides et l'indice de végétation par différence normalisée et l'indice de l'Evapotranspiration potentielle.



Conclusion générale

V. Conclusion générale

En hydrologie, la relation pluie-débit représente un axe de recherche important, Elle permet de comprendre les mécanismes de génération de débits et d'anticiper les phénomènes hydrologiques extrêmes tels que les sécheresses et les inondations.

Ce travail de mémoire représente la recherche d'un modèle pluie débit, capables de représenter la réponse hydrologique dans nos bassins versants étudiés avec une simplicité et efficacité d'application pour la gestion des ressources en eau et la prévision des débits au niveau de l'exutoire de ces bassins.

De ce fait, la simulation de comportement hydrologique d'un bassin versant est un enjeu majeur de l'hydrologie moderne, auquel tente de répondre la modélisation pluie-débit. Il s'agit, à partir de la connaissance de la pluie tombée sur le bassin, de reproduire la réponse en débit du bassin, à l'aide d'un modèle.

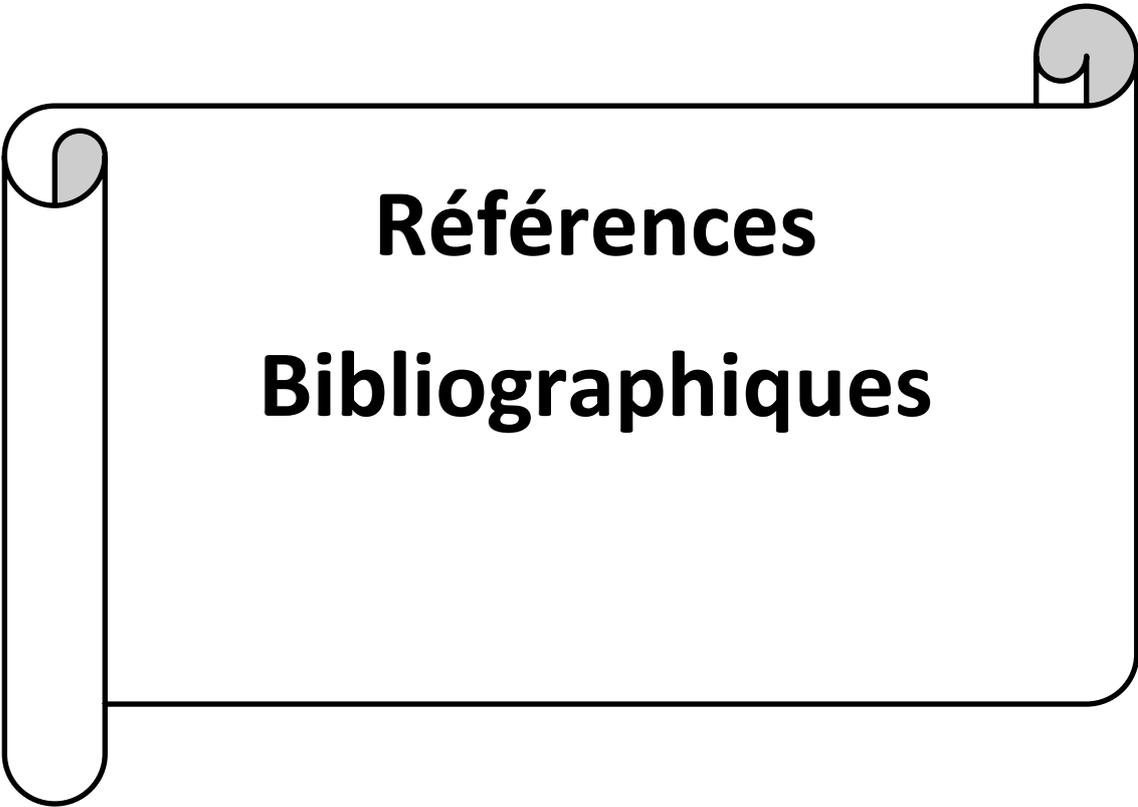
Dans le but de simuler un modèle pluie-débit pour une meilleure compréhension du comportement hydrologique des sous bassins versants de l'ISSER ; nous avons entamé l'application du modèle du réseau de neurones artificielles.

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'identification des paramètres hydrologique dans cette étude nous a permis de déterminer les processus des sélections des entrées, pour le modèles pluie-débit basés sur les données des précipitations, et le débits y compris l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et l'indice de l'évapotranspiration potentielle (ETP), et d'évaluer les paramètres nécessaires pour l'application de modèle hydrologique de réseaux de neurones artificiels qui sont considérés comme données entrantes pour ce modèle à un pas de temps différent (P_t , P_{t-1} , P_{t+1} , Q_t , Q_{t-1} , Q_{t-2} , NDVI, ETP) comme données d'entrée et la couche de sortie n'avait qu'un seul neurone, c'est le débits (Q).

L'application du modèle réseau de neurones montre des valeurs très rapprochés du débit simulé et le débit observé pour les sous bassins d'étude.

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



**Références
Bibliographiques**

VI. Référence bibliographique

André MUSY, Hydrologie générale Edition HGA, Bucarest 1998.

Bouanani .A, 2004. Hydrologie, transport solide et modélisation étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie). Thèse de doctorat d'état en géologie appliquée : option hydrogéologie, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, Algérie.

Bouzerai Housseyn.2018. Quantification et modélisation des transports solides, cartographie des zones à risques d'érosion hydrique à partir d'une base de données gérée par un SIG : application aux bassins de Bounamoussa et Mellah. Thèse de doctorat en Hydraulique.

Dubreuil P, Guiscafire J.1971.la planification du réseau hydrométrique minimal
.cahiers ORSTOM,série hydrologie .Vol p 8.Iss 2.p 3-37

GUERIANE BRAHIM, 2017. «Modélisation pluie-débit sur le bassin versant de l'ISSER », école nationale supérieure d'hydraulique – ARBAOUI Abdellah.

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

Lavoisier .et Laplace. L'histoire d'eau. Le centre d'information sur l'eau Le 27 juin 1783 en France.

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

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

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.

Nascimento N.O (1995) appréciation d'un modèle empirique des effets d'action anthropiques sur la relation pluie –débit à l'échelle du bassin versant, thèse de Doctorat,Cergrene-enpc,550.

Pike, R. J. et Wilson, S.E. (1971) Rapport d'altitude-relief, analyse intégrale hypsométrique et zone-altitude géomorphique. Société géologique d'Amérique.

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.

- Refsgaard, J.C. et Abbott, M.B. (1996). The role of distributed hydrological modelling in water resources management – Chapter 1.** In: Distributed Hydrological modelling, M. B. Abbott et J. C. Refsgaard (Ed.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1-16.
- Roche en 1963 les divers types de modèles déterministes .la Houille blanche 2.**
- Refsgaard, J.C. et Abbott, M.B. (1996). The role of distributed hydrological modelling in water resources management – Chapter 1.** In: Distributed Hydrological modelling, M. B. Abbott et J. C. Refsgaard (Ed.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1-16.
- SADI Haniyeh & Kaka Shahedi & Ben Abdollah Jarhani & Roy Sidle ,(january2019).** Rainfall-Runoff Modelling Using Hydrological Connectivity Index and Artificial Neural Network Approach. Article in Water · January 2019.
- SANA B., FERAHI A., 2017,** « Modélisation pluie-débit dans le sous bassin versant de Lakhdaria », Université de Bouira,4 p
- Strahler A.N., 1957.** Quantitative analysis of watershed geomorphology. Eos Transactions American Geophysical Union. Vol. 38. Iss. 6. p. 913-920.