

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل -

Université Mohamed Seddik Benyahia -Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Terre et de  
l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة

قسم علوم الأرض و الكون

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en Géologie

Option : Eau et Environnement

Thème

**Etude et modélisation du fonctionnement hydrologique  
du bassin versant d'oued Kissir (Jijel, NE algérien)**

### Membres de Jury

Président : DROUCHE Abdelmalek

Examinateur : KINIOUAR Hocine

Encadrant : DEBIECHE Taha-Hocine

### Présenté par :

BENAMOR Zineb

FASSI Samia

Année Universitaire 2016-2017

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....



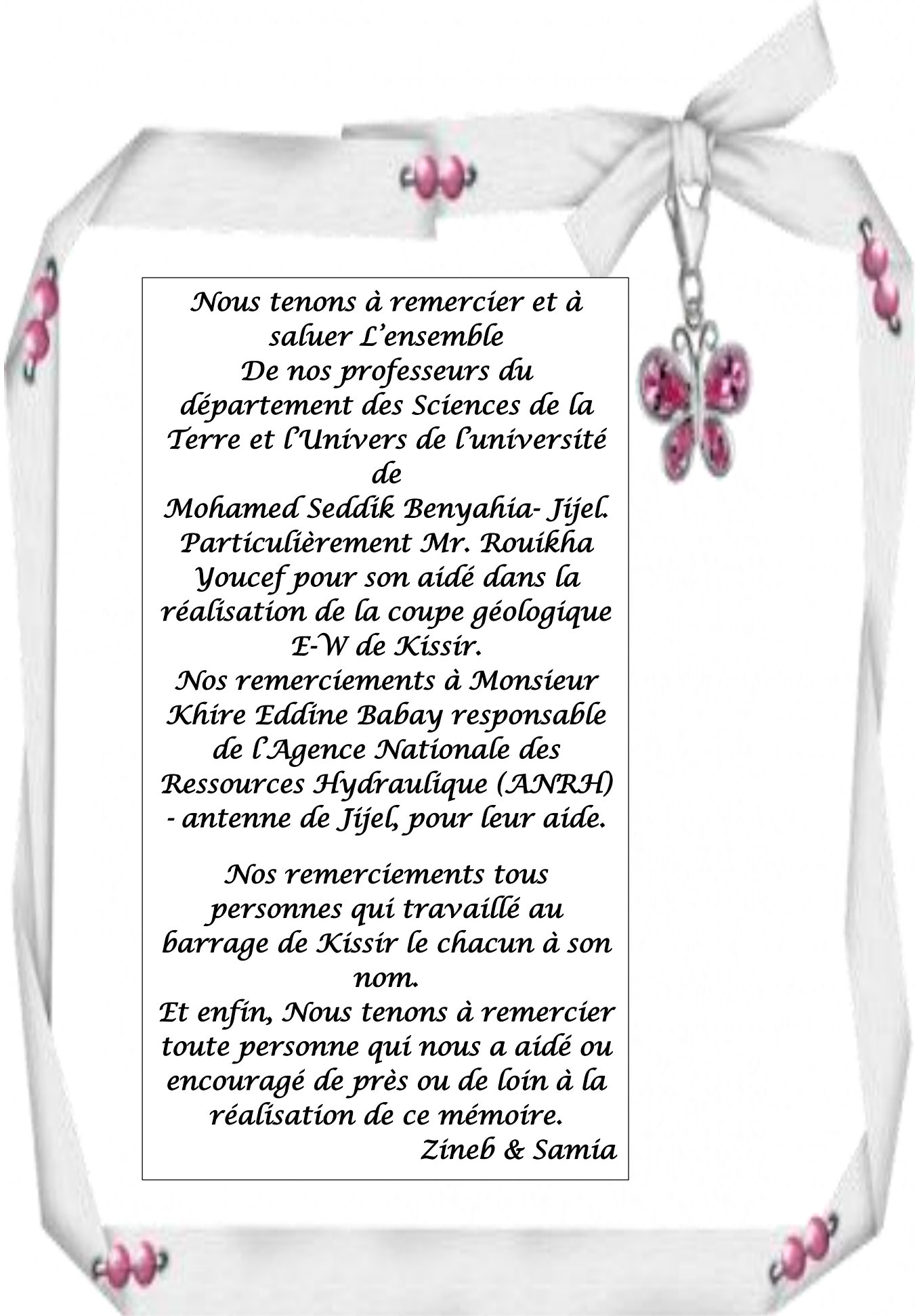
## *Remerciement*

*Nous ne serions pas arrivées jusque-là si « ALLAH » le tout puissant ne nous avait donné la force et le courage pour continuer et ne nous avait aidé et éclairer le chemin. Nous tenons à lui exprimer toute nos reconnaissances et gratitudes.*

*Nous remercions vivement monsieur «Debièche Taha-Hocine», notre encadreur, de nous avoir pris sous son aile bienveillant en nous encadrant dans ce travail, et de nous avoir fait profités de son grande expérience et expertise. Nous tenons à lui exprimer nos grandes reconnaissances pour son orientation, son aide et sa gentillesse.*

*Qu'elle soit assurée de notre très grand respect et appréciation.*

*Nos vifs remerciements iront naturellement vers L'ensemble des membres du jury ; monsieur «Kiniouar Hocine» et monsieur «Derouiche Abdelmalek», qui nous ont fait l'honneur d'accepté de juger notre travail.*



*Nous tenons à remercier et à  
saluer L'ensemble  
De nos professeurs du  
département des Sciences de la  
Terre et l'Univers de l'université  
de  
Mohamed Seddik Benyahia- Jijel.  
Particulièrement Mr. Rouikha  
Youcef pour son aide dans la  
réalisation de la coupe géologique  
E-W de Kissir.*

*Nos remerciements à Monsieur  
Khire Eddine Babay responsable  
de l'Agence Nationale des  
Ressources Hydraulique (ANRH)  
- antenne de Jijel, pour leur aide.*

*Nos remerciements tous  
personnes qui travaillé au  
barrage de Kissir le chacun à son  
nom.*

*Et enfin, Nous tenons à remercier  
toute personne qui nous a aidé ou  
encouragé de près ou de loin à la  
réalisation de ce mémoire.*

*Zineb & Samia*



# Dédicaces



A...

*La lumière de mes yeux Mon père  
Abd Elatif miséricorde de Dieu et ma mère Safiha, qui  
ont été toujours là pour moi, me guider, m'inspirer et qui  
ont me donné un magnifique modèle de labeur et de  
Persévérance.*

*Mon adorable frère « Issam Eddine »,  
et ma chère sœur « Samira » et sa époux Ahmed,  
Mes grands père « Mousoud », « Saadi »,  
Et Mes grande mère « Cherifa », « Meriem », et toute  
ma grande famille Benamor et Kadjoudje  
ma très chère amie et binôme : Samia  
A mes amis : Khawla, Lineb, Djazia, Meryem  
, Rokia, Bouchera et Amel.*

*A tous mes professeurs*

*A tous mes collègues de notre promotion*

*Lineb Benamor*





# Dédicaces



A...

*La lumière de mes yeux Mon père  
Djamel et ma mère Hamama, qui ont été toujours là  
pour moi, me guider, m'inspirer et qui ont me donné un  
magnifique modèle de labeur et de Persévérance.*

*Mes frères « Aziz et Khaled »,  
Et ma chère sœur « Hala » et sa époux Yassine, et  
Ma chère sœur « Assia » et sa époux Ishak.*

*Et ma petite sœur « Ritaj ».*

*Et ma cousin « Lahra ».*

*Mes grande mère « Rahouija », « Yamina », et toute ma  
grande famille Fassi et Ouaret.*

*Ma très chère amie et binôme : Lineb*

*A mes amis : Lineb, Djazia, Meryem et Amel.*

*A tous mes professeurs*

*A tous mes collègues de notre promotion*

*Samia Fassi.*



## **Résumé**

Le ruissellement est un paramètre très important pour déterminer le bilan hydrologique et estimer les apports d'eau des oueds. Jusqu'à l'heure actuelle aucune formule expérimentale n'a été proposée pour estimer le débit des oueds, d'où l'intérêt de cette étude.

La wilaya de Jijel (Nord-est Algérien) est caractérisée par un réseau hydrographique très dense (oued Kissir, oued El Kébir, oued Nil, oued Djen-Djen, oued Mencha).

Le bassin versant de l'Oued kissir (107 Km<sup>2</sup>) a fait l'objet d'une étude et modélisation du fonctionnement hydrologique.

L'analyse hydrologique de l'évolution des pluies et des apports d'eau du BV d'oued kissir montre un temps de retard qui ne dépasse pas une journée et une similitude entre leur évolution au niveau des épisodes pluvieux

La modélisation expérimentale des apports d'eau en fonction des pluies lors des épisodes pluvieux montre une bonne corrélation entre eux et avec un bon coefficient de corrélation ( $r^2 = 0.84$ ).

La modélisation statistique (réseau de neurones artificiels) des apports d'eau en fonction des pluies, du débit de pompage et du volume d'eau évacué à l'échelle journalière montre une bonne relation et même une superposition des valeurs estimées et mesurées. Indiquant l'efficacité de cette approche statistique à trouver la relation entre ces paramètres hydrologiques.

Pour des performances meilleures, d'autres approches de modélisation sont souhaitable, tel que la modélisation déterministe.

Mots clés : ruissellement, pluie, modélisation, barrage, Kissir, Jijel, RNA.

## المخلص

الجريان السطحي هو معيار مهم لتحديد توازن الماء وتدفقات الأودية. حتى الآن لم يتم اقتراح الصيغة التجريبية لتقدير تدفق الأودية، ومن هنا تأتي أهمية هذه الدراسة.

ولاية جيجل (شرق الجزائر) تتميز بنظام نهر كثيف جداً، (وادي كسير، وادي الكبير، ونهر النيل، ووادي جين-جين، وادي منتشا).

مستجمعات المياه في وادي كسير (107 كم<sup>2</sup>) هو موضوع دراسة ونمذجة الأداء الهيدرولوجية. التحليل الهيدرولوجي لتطور هطول الأمطار والتدفقات لمستجمعات المياه لوادي كسير يظهر تأخير الوقت لا يزيد عن يوم واحد والتشابه بين تطورها في الفترات الممطرة.

النمذجة التجريبية لإمدادات المياه اعتماداً على مياه الأمطار خلال الفترات الممطرة يظهر وجود علاقة جيدة بينهما مع وجود معامل ارتباط جيد ( $r^2 = 0.84$ )

النمذجة الإحصائية (الشبكة العصبية الاصطناعية) للتدفقات بناءً على هطول الأمطار، ومعدل الضخ وحجم المياه المستهلكة للجدول اليومي يظهر علاقة جيدة وحتى تراكم القيم المقدره وقياسها. مما يدل على فعالية هذا المنهج الإحصائي للعثور على العلاقة بين هذه المعايير الهيدرولوجية.

للحصول على أفضل أداء، ونهج النمذجة أخرى مرغوبة، مثل النمذجة القطعية.

الكلمات الرئيسية: الجريان السطحي، المطر، والنمذجة، السد، كسير، جيجل، ش ع إ.

## **Abstract**

The runoff is a very important parameter for determining the water balance and estimate the supply of water of wadis. To date no experimental formula has been proposed to estimate flow of wadis, where the interest of this study.

The wilaya of Jijel (Northeast Algerian) is characterized by a very dense River system, (Wadi Kissir, oued El Kebir, River Nile, Wadi Djen-Djen, Wadi Mencha).

The watershed of Wadi kissir (107 Km<sup>2</sup>) is the object of study and modelling of the hydrological functioning.

Hydrological analysis of evolution of rainfall and water supply shows a delay time, which does not exceed a day and a similarity between their evolution at the level of the rainy episodes.

Experimental modeling of water supply based on rainfall during the rainy episodes shows a good correlation between them and with a good correlation coefficient ( $r^2 = 0.84$ ).

Statistical modeling water supplies depending on the rains flow of pumping and the evacuated across the daily volume of water (artificial neural network) shows a good relationship and even a superposition of the estimated and measured values. Indicating the effectiveness of this statistical approach to find the relationship between these hydrological parameters.

For best performance, other modelling approaches are desirable, such as deterministic modelling.

**Key words:** runoff, rain, modeling, dam, Kissir, Jijel, ANN



# Table de matière

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

## Chapitre I : Rappel bibliographique

I.1. Introduction.....	3
I.2.L'eau : généralité .....	3
I.3.Notion de bassin versant .....	4
I.3.1. Définition du bassin versant.....	4
I.3.2. Comportement hydrologique .....	5
I.3.3. Les caractéristiques du bassin versant .....	6
I.4.Le cycle hydrologique à l'échelle du bassin versant.....	7
I.5. La modélisation hydrologique du bassin versant.....	9
I.5.1. Définition de la modélisation hydrologique .....	9
I.5.2. Notion d'un model hydrologique.....	9
I.5.2.1. Classification des modèles .....	11
A) Les modèles empiriques .....	12
B) Les modèles conceptuels.....	12
C) Les modèles physiques.....	12
D) Les modèles statistiques .....	12
I.6. Notion du réseau de neurone.....	13
I.6.1. Définition de neurones .....	13
I.6.2. Le neurone biologique .....	13
I.6.3. Neurone formel .....	13
I.6.4. Construction d'un réseau de neurones .....	14
I.6.4.1. choix et préparation des échantillons .....	14
I.6.4.2. Elaboration de la structure du réseau .....	15
I.6.4.3. Optimisation de l'architecture du réseau .....	15
A) Fonction de transfert.....	15
B) L'interconnexion entre les neurones .....	16
I.6.4.4. L'apprentissage .....	17
A) Les type d'apprentissages .....	18
B) Les méthodes d'apprentissage.....	18
I.6.4.5 Validation et Tests .....	19
I.7. Conclusion .....	20

## Chapitre II : présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction .....	21
II.2. Présentation de la région de Jijel .....	21

II.2.1. Situation géographique .....	21
II.2.2. Le réseau hydrographique .....	22
II.3. Caractéristiques du bassin versant de Kissir (zone d'étude) .....	23
II.3.1. La situation géographique du barrage de kissir .....	23
II.3.2. Les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de Kissir .....	24
II.3.3. Végétation.....	25
II.4. Conclusion .....	25

### **Chapitre III : Cadre géologique**

III.1 Introduction .....	26
III.2 Géologie régionale .....	26
III.3 Géologie du bassin versant de Kissir .....	27
III.4. Les formations géologiques du barrage de Kissir .....	28
III.4.1. Flysch dissocie : Albo-aptien à Eocène.....	28
A) Les argilites .....	28
B) Les grés .....	28
III.4.2. Le flysch numidien.....	29
III.4.3. Les formations de l'Oligo-miocène –Kabyle .....	29
III.4.4. Les dépôts quaternaires .....	29
III.5. Conclusion.....	30

### **Chapitre IV : hydro Climatologique**

IV.1. Introduction.....	31
IV.2. Aperçu climatique de la région de Jijel.....	31
IV.3. Analyse des paramètres climatiques .....	32
IV.3.1. Précipitations.....	32
A. Précipitations moyennes mensuelle.....	32
B. Précipitations moyennes saisonnières .....	33
IV.3.2. Température .....	33
IV.3.3. L'évaporation .....	34
IV.3.4. Synthèse climatique .....	35
A) Diagramme ombrothermique .....	35
B) Indice d'aridité.....	36
C) Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte.....	37
IV.4. Analyse du paramètre hydrologique .....	38
IV.4.1. Bilan hydrologique.....	38
IV.4.1.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle et réelle par la formule Thornthwaite .....	39
A) L'évapotranspiration potentielle (ETP) .....	39

B) L'évapotranspiration réelle (ETR) (Thornthwaite) .....	39
IV.4.1.2. Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU) .....	40
IV.4.1.3. Le déficit agricole (DA) .....	40
IV.4.1.4. L'excédent EXC (l'écoulement) .....	40
IV.4.1.5. Estimation du ruissellement par la formule empirique de Tixeront- Berkaloff .....	42
IV.4.1.6. Estimation de l'infiltration .....	42
IV.5. Conclusion .....	43

## **Chapitre V : Modélisation hydrologique**

V.1 Introduction .....	44
V.2 Modélisation expérimentale du ruissellement .....	44
V.2.1 introduction .....	44
V.2.2 Apport d'eau du barrage .....	44
V.2.3 Evolution des apports d'eau en fonction des précipitations .....	44
V.2.4 Détermination de la relation pluie- ruissellement .....	47
V.2.5 Comparaison entre le ruissellement calculé par la formule TIXION .....	49
V.2.6 conclusion .....	50
V.3 modélisation à l'aide de RNA du du ruissèlements .....	50
V.3.1 Introduction .....	50
V.3.2 Construction d'un réseau de neurones .....	50
V.3.2.1 choix les variables d'entrée et de sortie .....	51
V.3.2.2 Sélection des variables d'entrée pertinentes et la fonction d'activation .....	52
V.3.2.3 Choix du nombre de neurones .....	55
V.3.2.4 Choix du nombre de couches .....	56
V.3.3 configuration du logiciel .....	57
V.3.3.1 Allocation et traitement des données .....	57
V.3.3.2 Apprentissage et calcul .....	57
V.3.4 Résultats .....	58
V.3.4.1 Apprentissage et validation des données .....	58
V.3.4.2 Test .....	58
V.3.5 conclusion .....	59
<b>Conclusion général .....</b>	<b>60</b>

### **Référence bibliographique**

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I : RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE

<b>Figure 01</b> : Diagramme de phase de l'eau (Musy 2005).....	4
<b>Figure 02</b> : Représentation schématique d'un bassin versant (Laborde, 2009) .....	5
<b>Figure 03</b> : Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique (Gauthier-Villars, 1963).....	5
<b>Figure 04</b> : Représentation schématique d'un bassin versant .....	6
<b>Figure 05</b> : Représentation du cycle de l'eau (d'après Maidment, 1992) .....	8
<b>Figure 06</b> : Les variables d'un modèle hydrologique (Gaume, 2002) .....	10
<b>Figure 07</b> : la fonction de la production (Palacio, 2008) .....	10
<b>Figure 08</b> : Transformation de la pluie brute en hydrogramme de crue (Palacio, 2008) .....	11
<b>Figure 09</b> : Représentation d'un neurone biologique (Baléo et al.2003) .....	13
<b>Figure 10</b> : Représentation d'un neurone formel .....	14
<b>Figure 11</b> : Représentation de réseau non bouclé .....	16
<b>Figure 12</b> : Représentation de réseau bouclé .....	17
<b>Figure 13</b> : Représentation d'apprentissage supervisé.....	18
<b>Figure 14</b> : Représentation d'apprentissage non-supervisé .....	18

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

<b>Figure 15</b> : Situation géographique de la région de Jijel .....	21
<b>Figure 16</b> : Model numérique de la wilaya de Jijel .....	22
<b>Figure 17</b> : Situation géographique du barrage de Kissir (Google Earth, 2017) .....	17
<b>Figure 18</b> : Model numérique du bassin versant de Kissir .....	24

### **Chapitre III : Cadre géologique**

<b>Figure 19</b> : Schéma structural de la chaîne alpine de méditerranée occidentale (D'après Durand.Delga, 1969) .....	26
<b>Figure 20</b> : Esquisse géologique du BV de Kissir .....	27.
<b>Figure 21</b> : Coupe géologique E-W de Kissir .....	28

### **Chapitre IV : HydroClimatologie**

<b>Figure 22</b> : Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1996) .....	31
<b>Figure 23</b> : Précipitations mensuelles enregistrées dans la station de Kissir (2013).....	32
<b>Figure 24</b> : Précipitations saisonnière enregistrées dans la station de kissir (2013).....	33
<b>Figure 25</b> : Température saisonnière enregistrées dans la station de Kissir (2013).....	34
<b>Figure 26</b> : L'évaporation mensuelle enregistrée dans la station de Kissir (2013).....	35
<b>Figure 27</b> : Diagramme ombrothermique de la station de Kissir.....	36
<b>Figure 28</b> : Evaluation de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte.....	38
<b>Figure 29</b> : Bilan hydrologique par la méthode de THORNTHWAITE durant la Période 2013 .....	41

### **Chapitre V : Modélisation hydrologique**

<b>Figure 30</b> : Evolution des apports d'eau en fonction des précipitations.....	45
<b>Figure 31</b> : Evolution des apports d'eau en fonction des précipitations (année 2013) ainsi que 8 épisodes pluvieux .....	48
<b>Figure 32</b> : Corrélation entre le volume des affluents (ruisselé) et la pluie .....	48
<b>Figure 33</b> : corrélation entre la hauteur d'eau ruisselée et la pluie lors les épisodes pluvieux.....	49
<b>Figure 34</b> : Schéma conceptuelle des fonctions du logiciel neural connections 2.1 .....	51
<b>Figure 35</b> : Errer d'estimation de la sortie en fonction des combinaisons des variables d'entrée et des trois fonctions d'activation .....	54
<b>Figure 36</b> : Evolution de l'erreur d'estimation en fonction du nombre des	

Neurones .....	55
<b>Figure 37</b> : Evolution des erreurs en fonction du nombre des couches et des neurones .....	56
<b>Figure 38</b> : allocation et traitement des données.....	57
<b>Figure 39</b> : Apprentissage et erreur du calcul .....	57
<b>Figure 40</b> : Comparaison de la courbe estimée et réelle des sous bases de données (apprentissage et validation) .....	58
<b>Figure 41</b> : Comparaison de la courbe estimée et réelle de la sous base de données de test.....	59

# Liste des tableaux

## Chapitre I : Rappel Bibliographique

<b>Tableau 1</b> : Types de fonctions de transfert pour R.N.F .....	16
---	----

## Chapitre II : Présentation de La zone d'étude

<b>Tableau 2</b> : Les coordonnées UTM de références du site de barrage de Kissir .....	23
---	----

<b>Tableau 3</b> : caractéristiques morphologique du BV Kissir.....	24
---	----

## Chapitre IV : Hydro climatologie

<b>Tableau 4</b> : Précipitation moyennes mensuelles de la station Kissir (2013) .....	32
--	----

<b>Tableau 5</b> : Précipitation moyennes mensuelles saisonnières de la station Kissir (2013) .....	33
---	----

<b>Tableau 6</b> : Températures moyennes mensuelles de la station Kissir (2013) .....	34
---	----

<b>Tableau 7</b> : L'évaporation moyenne mensuelle de la station de Kissir (2013) .....	34
---	----

<b>Tableau 8</b> : classification climatique selon l'indice d'aridité .....	37
---	----

<b>Tableau 9</b> : Valeurs du rapport P/T pour la station de Kissir (2013).....	37
---	----

<b>Tableau 10</b> : Résultats du bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station de Kissir (2013).....	40
--	----

## Chapitre V : Modélisation hydrologique

<b>Tableau 11</b> : Le volume ruisselé et les pluies cumulées des épisodes pluvieux.....	47
--	----

<b>Tableau 12</b> : Hauteur d'eau ruisselée lors des épisodes pluvieux .....	48
--	----

<b>Tableau 13</b> : les variables d'entrées et de sortie utilisées pour la modélisation des apports d'eau du BV de Kissir (2013) .....	52
--	----

<b>Tableau 14</b> : Les calculs d'erreur selon la fonction d'activation.....	53
--	----

<b>Tableau 15</b> : Erreur de l'estimation de la sortie en fonction du nombre des neurones .....	55
--	----

<b>Tableau 16</b> : les calculs des erreurs selon les deux couches.....	56
---	----

# Liste des abréviations

AEP : Alimentation en Eau Potable.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

BV : Bassin versant.

C° : degrés Celsius.

DA : Déficit Agricole.

ES : Epuisement du Stock.

ETP : Evapotranspiration Potentielle.

ETPC : Evapotranspiration Potentielle correct.

ETR : Evapotranspiration Réelle.

I : Infiltration.

Km : Kilomètre.

l/s : litre par second.

m : métre

m<sup>3</sup>/j : mètre cube par jour.

Max : maximum.

Min : minimum.

mm : millimètre.

MNT : Modèle Numérique du Terrain.

Moy : moyen.

P : Précipitation.

Q : débit.

R : Ruissellement.

RE : Recharge.

RFU : Réserve Facilement Utilisable.

RNA : Réseau de Neurones Artificiels.



# Introduction générale

Vital à la vie ; l'eau cette matière qui représentait un élément essentiel dans l'équation biologique, est devenue actuellement le nerf de toute industrie, comme elle représenté une ressource énergétique non négligeable.

L'hydrologie est définie par Penman (1961) comme la science qui cherche à répondre à la question « Qu'arrive-t-il aux précipitations ? ». Question simple en apparence mais sur laquelle les nombreux chercheurs qui s'y sont penchés et n'ont pas trouvé une réponse entièrement satisfaisante. Cela s'explique par le fait que les éléments qui font l'objet d'études en hydrologie sont eux-mêmes sujets à de nombreuses incertitudes tant dans la connaissance théorique des chercheurs que dans leurs mesures en nature. Cette complexité a donné lieu à plusieurs branches de l'hydrologie : hydrologie maritime, côtière, des bassins versants.

Les hydrologues intéressent à l'hydrologie des bassins versants qui peut être définie comme l'étude des processus intervenant dans le cycle de l'eau à l'échelle des bassins versants. Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau, est lui définit comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Les processus qui s'y déroulent sont essentiellement les précipitations, l'infiltration, le ruissellement et l'évapotranspiration. Ces processus sont régis par le climat, la végétation, la topographie, le sol, la géologie et l'utilisation et la taille du bassin versant.

La question de Penman trouve toute son importance dans la mesure où sa réponse permettra non seulement de planifier et de gérer les ressources en eau notamment pour l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable, la production d'hydroélectricité, mais aussi de nous protéger contre les catastrophes naturelles telles les sécheresses et les inondations, sinon d'atténuer leurs effets. La réponse à la question de Penman permettra aussi d'éviter les conflits d'intérêt entre les différents utilisateurs de l'eau à l'échelle locale, nationale ou internationale, d'où tout son intérêt. Les modèles hydrologiques sont donc apparus pour répondre à cette question cruciale.

La région de Jijel vu sa pluviométrie élevé, elle est demandées à être un réservoir considérable de cette richesse, elle est caractérisée par un aspect morfo-structural qui favorise le ruissellement des eaux en surface. Le volume des eaux ruisselées est mal connu dans la région de Jijel, vu le manque des stations de jaugeage, pour cela, dans ce travail de

recherche, nous avons utilisé les apports du barrage comme un moyen de jaugeage pour estimer le volume ruisselé dans le bassin versant.

Dans notre travail de recherche, nous utiliserons les apports du barrage de Kissir pour établir une formule expérimentale et estimer la lame d'eau ruisselée sur le bassin versant de Kissir.

Dans ce mémoire de master, intitulée « Etude et modélisation du fonctionnement hydrologique du bassin versant d'oued Kissir (Jijel, NE algérien) » on essaiera d'estimer la hauteur d'eau ruisselée en fonction de la pluie journalière en utilisant les propriétés hydrologiques du bassin versant et l'établissement des modèles expérimentales (relation pluie-débit) et stochastique (réseau des neurones artificiels). Pour atteindre cet objectif, nous avons divisé notre mémoire en cinq chapitres :

- Chapitre I : il sera consacré à une recherche bibliographique sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants et les méthodes de modélisation hydrologique (expérimentale, stochastique, empirique)
- Chapitre II : il a pour objectif de données une présentation générale du bassin versant de l'oued Kissir (situation géographique, étude géomorphologique, végétation, ...).
- Chapitre III : il donnera un aperçu général sur la géologie régionale et locale du bassin versant.
- Chapitre IV : il a pour but d'étudier les différents paramètres hydroclimatologiques (précipitation, température, évaporation,...) du bassin versant de kissir et ensuite il fournira les caractéristiques hydrologiques du bassin versant du barrage de Kissir.
- Chapitre V : il fournira les caractéristiques hydrologiques du bassin versant du barrage de Kissir ainsi que la modèle expérimentale pluie – ruissellement et aussi il sera consacré à la modélisation statistique de la relation pluie – ruissellement, dans le bassin versant d'oud kissir, en utilisant le réseau de neurones artificiels.
- Et enfin, on terminera ce mémoire par une conclusion générale qui montrera les résultats principaux ainsi que les perspectives envisagées pour améliorer ce travail de recherche.

## I.1 Introduction

Ce chapitre fait l'état des connaissances relatives au fonctionnement hydrologique et la modélisation hydrologique du bassin versant.

Le bassin versant, est considéré comme un système, avec les précipitations comme entrées principales et les différents flux d'évapotranspiration et d'écoulements de surface et souterrains comme sorties.

La modélisation hydrologique est devenue un outil indispensable pour divers domaines : résoudre les problèmes de gestion de ressources d'eau (par exemple l'irrigation), prédétermination des crues et aménagement de l'environnement (par exemple l'édification de barrage) ou de protection de l'environnement (évolution due à la pression anthropique) et de prévision de catastrophes naturelles (simulations de crues à court terme, prévision d'étiages). Différentes approches sont utilisées : La modélisation physiquement basée (où chaque phénomène du cycle hydrologique est modélisé sur base de paramètres physiques), la modélisation conceptuelle (où les paramètres empiriques peuvent être abordés par voie itérative ou estimés, le cycle hydrologique restant la base de la conception du modèle) et la modélisation stochastique, qui fait appel à l'analyse statistique ou aux réseaux neuronaux. Dans tous les cas, la validation d'un modèle nécessite des séries de données observées de pluies, la température, l'évaporation.... Etc.

## I.2 L'eau, généralités

L'eau est un élément naturel indispensable au développement de la vie de tous les activités (urbaine, agricole, industrie...). Elle se présente, dans la nature, sous trois états :

- Solide : neige et glace.
- Liquide : eau chimiquement pure ou chargée en solutés.
- Gazeux : à différents degrés de pression et de saturation.

Le changement de phase de l'eau dépend essentiellement de la température et de la pression mais aussi du degré de pollution de l'atmosphère. La figure 1 donne les différentes conditions de pression et de température pour les trois états de l'eau, ainsi que les transformations de phase. (Musy 2005)

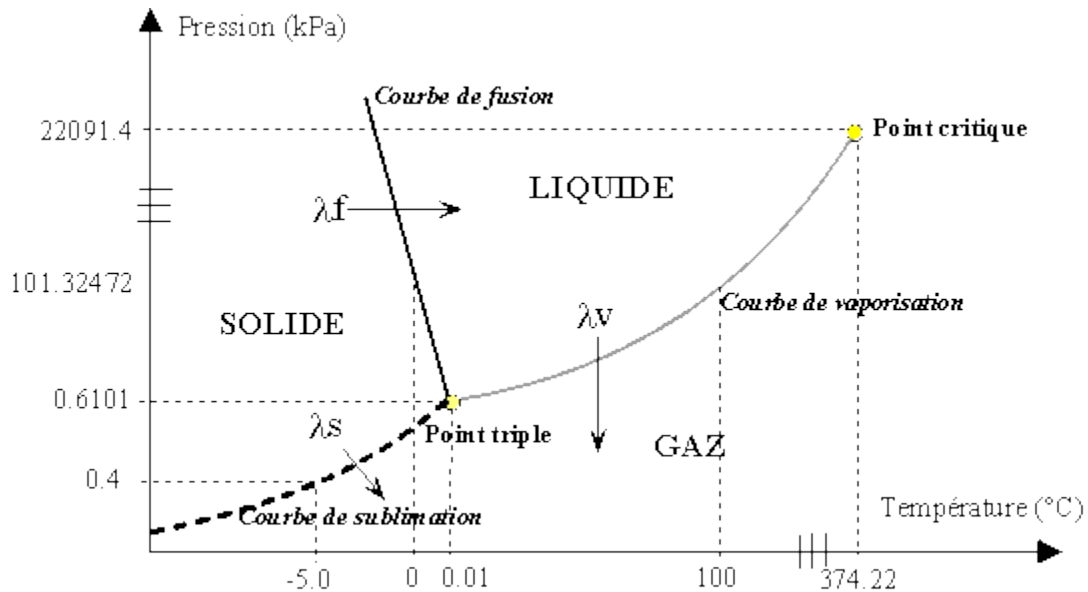


Figure 1 : Diagramme de phase de l'eau (Musy 2005).

L'eau couvre 71 % de la surface de la Terre (97 % d'eau salée et 3% d'eau douce) dans différents réservoirs et sous différentes formes :

- ✓ Liquide, dans les océans, les lacs, les fleuves et les rivières. Ailleurs que dans les zones humides plus ou moins tourbeuses ou marécageuses, dans les mers et océans, l'eau est présente dans les lagunes, lacs, étangs, mares, fleuves, rivières, ruisseaux, canaux, réseaux de fossés, de watingues ou comme eau interstitielle du sol ;
- ✓ Gazeuse, sous forme de vapeur d'eau dans l'air. L'humidité de l'air provient de l'évaporation des mers, des plans d'eau et de l'évapotranspiration des plantes ;
- ✓ Solide, sous forme de glace dans les glaciers dans la banquise, etc.

### I.3. Notion du bassin versant

#### I.3.1 Définition du bassin versant

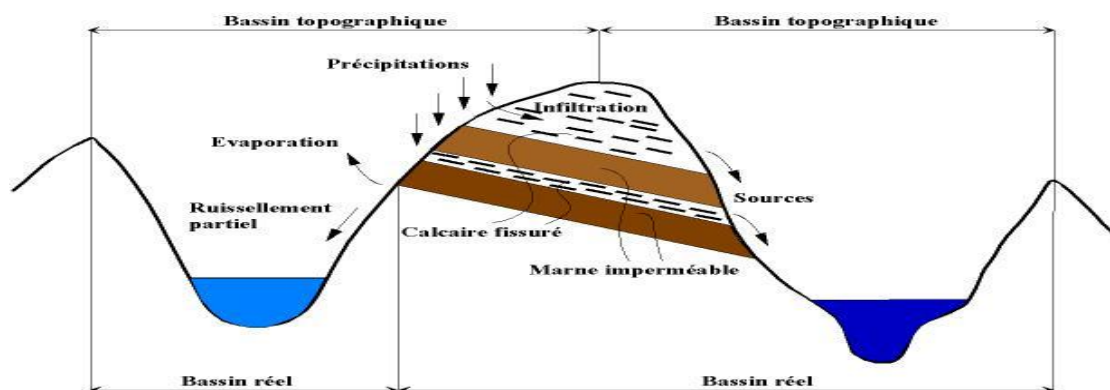
Un bassin versant est une portion de territoire dont les eaux de ruissellement et d'infiltration alimentent un exutoire commun, soit un cours d'eau ou un lac.

Le bassin versant est défini par le relief et délimité par les lignes de partage des eaux, tel qu'illustré par la figure 2.



**Figure 2 : Représentation schématique d'un bassin versant (Laborde, 2009)**

- Le bassin versant topographique : la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête
- Le bassin versant réel ou hydrogéologique : la division des eaux selon la topographie ne correspond pas à la ligne de partage effective des eaux souterraines lorsqu'un sol perméable recouvre un substratum imperméable.



**Figure 3 : Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique (Gauthier-Villars, 1963)**

### ***1.3.2 Comportement hydrologique***

L'analyse du comportement hydrologique d'un bassin versant (système hydrologique) s'effectue le plus souvent par le biais de l'étude de la réaction hydrologique du bassin face à une sollicitation (la précipitation).

Cette réaction est mesurée par l'observation de la quantité d'eau qui s'écoule à l'exutoire du système. La représentation graphique de l'évolution du débit  $Q$  en fonction du temps  $t$  constitue un hydrogramme de crue comme la montre dans la figure 4.

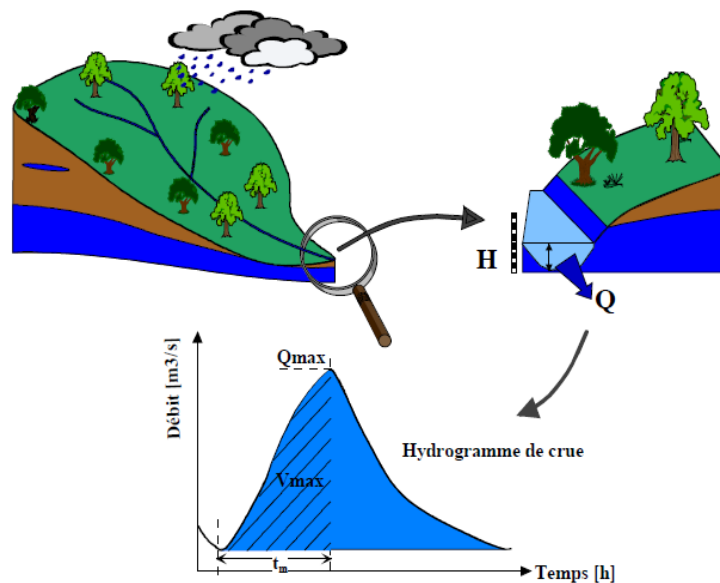


Figure 4 : Représentation schématique d'un bassin versant (Musy 2005).

### 1.3.3 Les Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant est un objet complexe dont l'ensemble des caractéristiques (géométriques, géologiques, physiographiques, humaines, etc.) joueront un rôle dans la réponse hydrologique du bassin à une sollicitation des précipitations (régime des écoulements) mais aussi, en amont et pour certaines d'entre elles (altitude, exposition...), directement dans le processus de formation de la pluie. Il faut noter l'existence à la surface du bassin versant d'un système longitudinal, le réseau de drainage ou réseau hydrographique, défini comme l'ensemble de cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Ce réseau est plus ou moins développé selon différents facteurs (géologie, climat, pente du terrain, etc.).

### I.4. Le cycle hydrologique à l'échelle du bassin versant

Le cycle hydrologique est un concept qui englobe les phénomènes du mouvement et du renouvellement des eaux sur la terre (figure 5). Cette définition implique que les mécanismes régissant le cycle hydrologique surviennent conjointement. Le cycle hydrologique n'a donc ni commencement, ni fin.

*« Les précipitations constituent l'unique « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants »* (Musy, 2003). Celles-ci peuvent provenir de bruine, pluie, averse, neige, grêle, rosée, gelée, givre et sont exprimées en mm/heure.

Une précipitation va entraîner un ruissellement (écoulement de surface) et une infiltration si le terrain est suffisamment perméable. Ensuite, le ruissellement superficiel peut subir différents processus tels que l'évaporation (passage de la phase liquide à la phase vapeur, il s'agit de l'évaporation physique) et l'évapotranspiration (englobe les processus d'évaporation et de transpiration de la végétation). De plus, il existe trois phénomènes associés aux pertes dans le bilan hydrologique :

- L'interception : processus par lequel une partie des précipitations est captée et retenue par de la végétation ou par des surfaces plus ou moins perméables, puis évaporée sans avoir atteint la surface du sol (Musy, 2003).
- Le stockage d'eau de surface, processus correspondant à l'eau retenue dans les creux et les dépressions du sol (flaques, mares, lacs, marais...), pendant et après une averse (Musy, 2003).
- La percolation : mouvement profond de l'eau dans les sols faisant suite à l'infiltration.

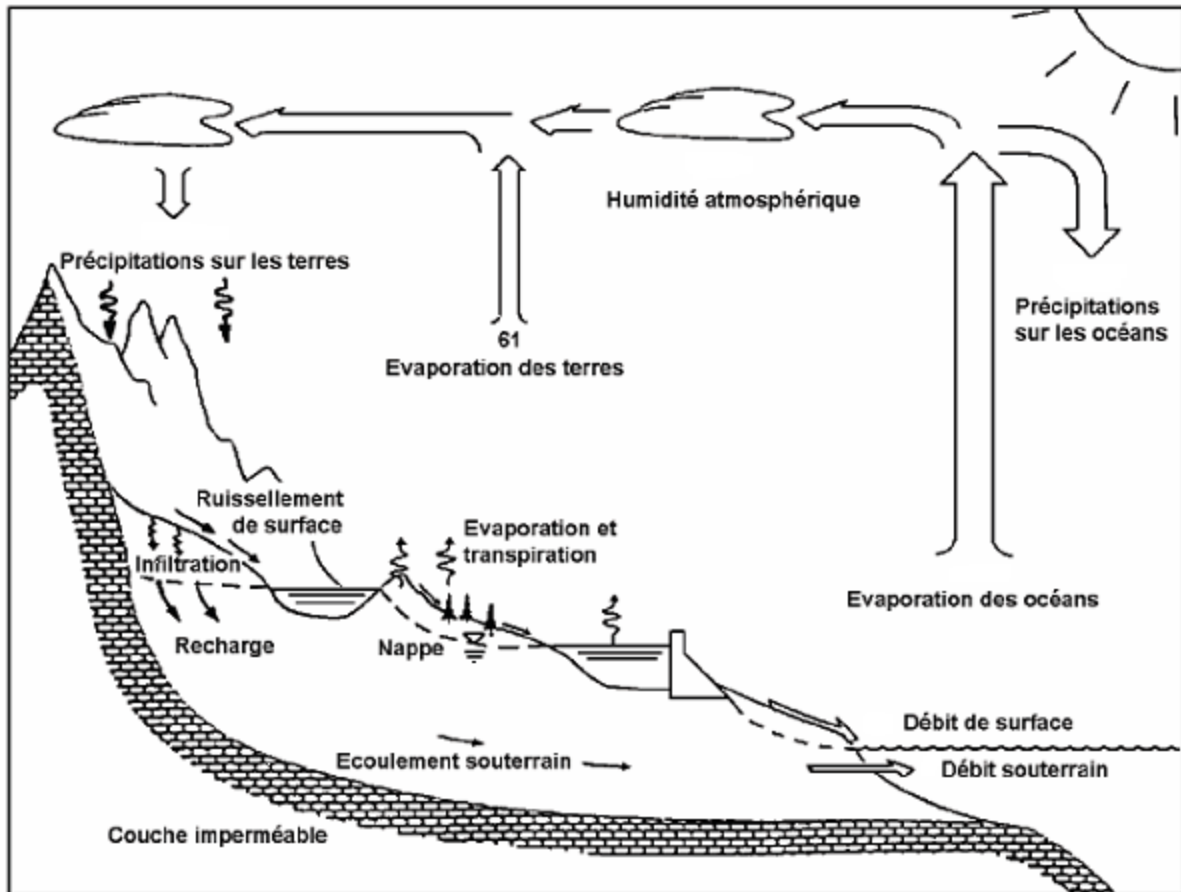


Figure 5 : Représentation du cycle de l'eau (d'après Maidment, 1992).

L'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut se faire à l'aide du **bilan hydrique** des quantités d'eau entrant et sortant d'un système définie pour une période et un bassin donné.

L'équation du bilan hydrique se fonde sur l'équation de continuité et s'exprimer comme suit :  $P = R + ETR + I$

Avec :

- P est la quantité d'eau précipitée à la surface du bassin versant en mm ;
- R : ruissellement en mm ;
- ETR est l'évapotranspiration réel en mm ;
- I : infiltration en mm



## I.5. La modélisation hydrologique du bassin versant

### I.5.1 Définition de la modélisation hydrologique

La modélisation est une représentation des phénomènes physiques sur le terrain à travers un outil informatisé afin d'établir la réalité sur place en un modèle réduit pour pouvoir l'utiliser à des fins intéressantes (Mourad, 2005). Elle consiste d'abord à construire un prototype, concret ou conceptuel qui servira de modèle à une construction réelle.

Le concept de la modélisation est en relation avec un système qui constitue la réalité à modéliser et à représenter. Les trois objectifs essentiels peuvent être atteints grâce au modèle hydrologique, à savoir :

- La prévision de l'écoulement
- La simulation
- L'extrapolation

### I.5.2 Notion d'un model hydrologique

Le model hydrologique est une représentation mathématique simplifiée de tout ou partie des processus du cycle hydrologique. L'ensemble des concepts hydrologiques sont exprimés en formules mathématiques dans le but de modéliser le comportement observé dans la nature (Mouelhi, 2003).

Un modèle hydrologique n'est qu'une simplification d'un système complexe (Payraudeau, 2002). A chaque stade de la modélisation, des approximations sont réalisées : perception du phénomène, formalisation en un cadre conceptuel, traduction dans un langage de programmation (Ambroise, 1999).

Cette représentation se fait grâce à un ensemble d'équations mathématiques qui sont appelées à reproduire le système.

On distingue quatre types de variables qui existent en totalité ou en partie dans chaque modèle (figure 6)

- Variables d'entrées : Le modèle fait appel à ces variables qui dépendent du temps et de l'espace (pluie, ETP, caractéristiques physiques et hydrodynamiques du milieu,...).
- Variables de sorties : Le modèle répond par un ensemble de variables (débits, flux ou concentration en polluants,...).

## Chapitre I : Rappel bibliographique

- Variables d'état : Elles permettent de caractériser l'état du système modélisé et peuvent évoluer en fonction du temps (niveau de remplissage des réservoirs d'eau d'un bassin versant, taux de saturation des sols, profondeur des sols, pentes,...).
- Paramètres de calage : En plus des variables, la modélisation fait intervenir des variables dont la valeur doit être déterminée par calage (conductivité hydraulique à saturation,...). (Gaume, 2002).

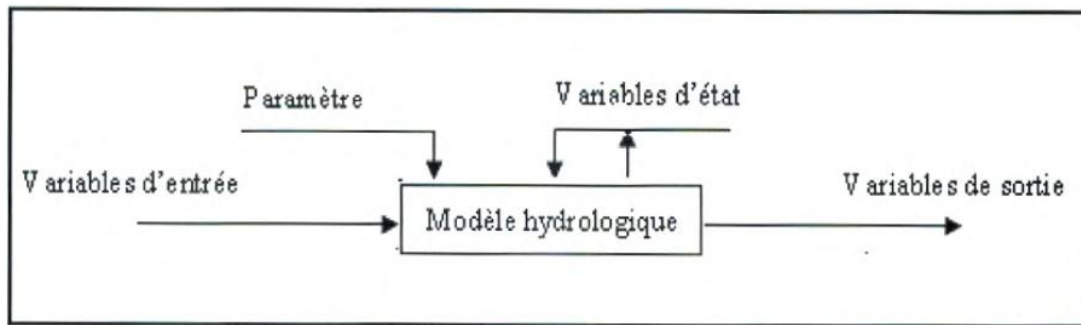


Figure 6 : Les variables d'un modèle hydrologique (Gaume, 2002)

Il est composé généralement par une fonction d'entrée (hyétogramme de pluie) et une fonction de sortie (hydro gramme de crue). Le passage d'un hyétogramme de pluie à un Hydrogramme de crue fait intervenir toutes les caractéristiques météorologiques, physiques et hydrologiques du bassin versant considéré (Musy, 2005). Ce passage fait intervenir deux sous modèles ou fonctions.

- Un premier sous modèles ou **fonction de production** (figure 7), qui transforme les pluies observés ou brutes, en pluie nette susceptibles de ruisseler.

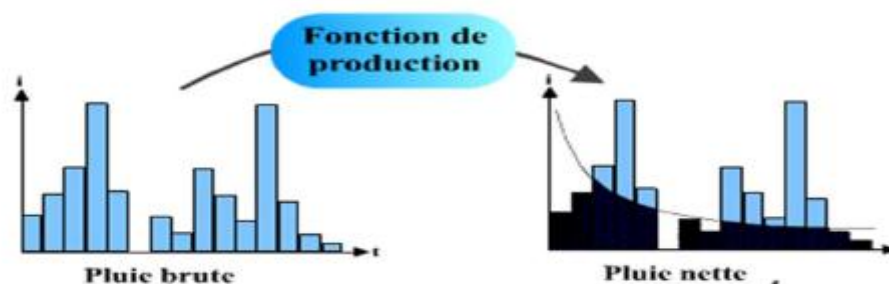


Figure 7 : la fonction de la production (Palacio, 2008)

- Un second sous modèle, ou **fonction de transfert** (figure 8), qui permet de transformer les pluies nettes en Hydrogramme de crue. Il s'agit d'une fonction conservative : le volume écoulé à l'exutoire est égal au volume de pluie nette.

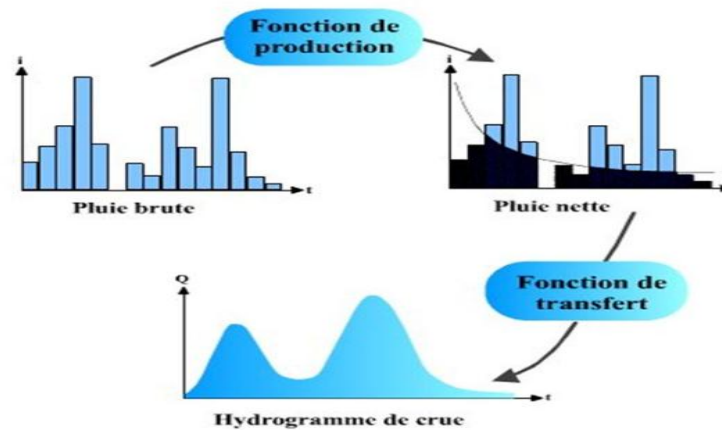


Figure 8 : Transformation de la pluie brute en hydrogramme de crue (Palacio, 2008)

### 1.5.2.1 Classification des modèles

Depuis l'apparition de la modélisation hydrologique, de nombreux modèles ont été développés en fonction des objectifs recherchés, sur base de différents choix d'élaboration, menant à une multitude de modèles exploitables dont chacun est doté de champs d'application et de validité restreints. Les différences portent notamment sur les options de simulation en termes de discrétisation spatiale : les modèles sont globaux ou distribués. Les différences de représentation temporelle mènent à l'existence de modèles continus ou événementiels. Et enfin, ils diffèrent au point de vue de l'expression des phénomènes hydrologiques, liés soit à des équations empiriques, soit à des équations physiques, soit à une simplification plus ou moins poussée de ces équations physiques (approche conceptuelle). On le voit, les critères de classification des modèles reposent principalement sur la représentation de l'espace, du temps et des processus décrits (Singh, 1995 ; Payraudeau, 2002), mais certaines classifications distinguent encore les modèles déterministes ou stochastiques, etc. (Singh, 1995 ; Ambroise, 1998). On le voit donc, la diversité des approches mène à la coexistence de trop nombreuses classifications, dont les limites sont floues et susceptibles d'interprétation personnelle (Payraudeau, 2002).

Une classification simple, La modélisation physiquement basée (où chaque phénomène du cycle hydrologique est modélisé sur base de paramètres physiques), la modélisation conceptuelle (où les paramètres empiriques peuvent être abordés par voie itérative ou estimés, le cycle hydrologique restant la base de la conception du modèle) et la modélisation statistique, qui fait appel à l'analyse statistique ou aux réseaux neuronaux (Todini, 1988 ; Singh, 1995).

### *A) Les modèles empiriques*

Les modèles empiriques sont considérées comme ‘une boîte noire’ Ils tiennent compte des variables d’entrées et de sorties d’un bassin, sans donner d’importance à sa nature physique. Ils sont simples à mettre en œuvre. Ils donnent des simulations avec un nombre réduit de paramètres. Néanmoins ils ne permettent pas l’analyse du fonctionnement interne d’un bassin (Ambroise, 1991).

### *B) Les modèles conceptuels*

Les modèles conceptuels sont placés entre les modèles empiriques et les modèles à base physique, ils visent à représenter les processus physiques dans le bassin versant sous forme des relations empiriques (Saavedra, 2005). Ces modèles considèrent le bassin versant de façon conceptuelle comme "un assemblage de réservoirs d'humidité interconnectés" (Ambroise, 1991) qui sont censés représenter plusieurs niveaux de stockage suivant une dimension verticale (végétation, surface, sol, nappe).

### *C) Les modèles physiques*

Ces modèles sont basés sur la compréhension physique du phénomène de cycle hydrologique. Ils décrivent les mécanismes internes d’un bassin versant, en utilisant des équations déduites à partir des principes de base de la physique (le ruissellement, évapotranspiration, etc.).

Les paramètres utilisés par ces modèles s'apparentent à des paramètres physiques, qui peuvent être mesurés au laboratoire ou in situ. Cependant, ces mesures lorsqu’elles sont réalisées ponctuellement dans le bassin versant sont moyennées dans l'espace entier ou de l'unité de discrétisation (De Marsily, 1994).

### *D) Modèles déterministes*

Dans lesquels la relation entre variables d'entrée et de sortie est phénoménologique et ne considère pas le caractère aléatoire de variable, la même entrée produit toujours la même sortie.

### *E) Modèles stochastiques (probabilistes)*

Le terme stochastique est lié à la statistique et traduit le caractère aléatoire du modèle. Il permet de générer, aléatoirement, des données par des lois de distributions particulières.

## I.6. Notion du réseau de neurone

Un réseau neuronal est l'association, en un graphe plus ou moins complexe, d'objets élémentaires, les neurones formels. Les principaux réseaux se distinguent par l'organisation du graphe (en couches, complets...), c'est-à-dire leur architecture, son niveau de complexité (le nombre de neurones, présence ou non de boucles de rétroaction dans le réseau), par le type des neurones (leurs fonctions de transition ou d'activation) et enfin par l'objectif visé : apprentissage supervisé ou non, optimisation, systèmes dynamiques.

### I.6.1 Définition de neurones

Les neurones sont en fait des fonctions calculées par un programme informatique, mais ils sont parfois réalisés sur des circuits électroniques. Ils sont caractérisés par un état d'excitation qui dépend de celui des neurones situés en amont, ainsi que de la force des liens qui les relie.

### I.6.2 Le neurone biologique

Bien que les techniques neuronales soient aujourd'hui relativement éloignées de la biologie et qu'elles n'y puisent pas toute leur inspiration, cette discipline reste à la base de l'architecture des réseaux artificiels et de la terminologie employée.

Le neurone biologique (figure 9) est constitué de trois composantes principales :

1) les dendrites, 2) le corps cellulaire et 3) l'axone qui ont respectivement pour tâche : 1) la réception, 2) la réalisation des informations et 3) le transport des signaux. Les synapses sont des lieux de connexion entre deux neurones.

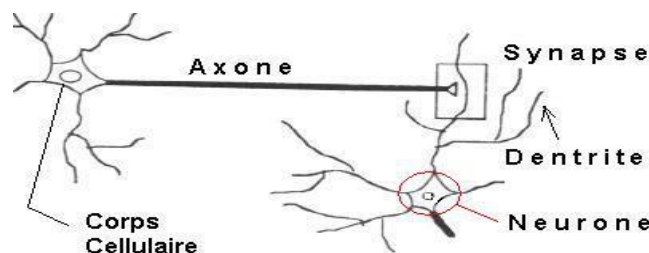


Figure 9 : Représentation d'un neurone biologique (Baléo et al.2003)

### I.6.3 Neurone formel

Le neurone formel est une modélisation mathématique visant à reprendre le fonctionnement d'un neurone biologique. Le fonctionnement de ce neurone formel est basé sur une règle de calcul assez simple : on cherche à évaluer la valeur d'une sortie  $y$ , à partir de

plusieurs entrées  $x$ , qui elles-mêmes sont pondérées par des coefficients appelés synapses ou poids synaptiques  $w$ . Selon cette description, chaque neurone est relié à d'autres par des connexions.

L'activation du neurone se produit lorsque celui-ci atteint un certain seuil (degré) d'activation. Cette activation est générée par les connexions qui ont pour propriété d'être excitatrices ou inhibitrices. La sommation des données reçues à l'entrée du neurone est transformée par une fonction d'activation ou fonction de sortie  $\sigma$  non linéaire. Ainsi, selon une définition proposée par **A. Nigrin (1993)**, un réseau de neurones est un circuit composé d'un nombre très important d'unités de calcul simples basées sur des neurones.

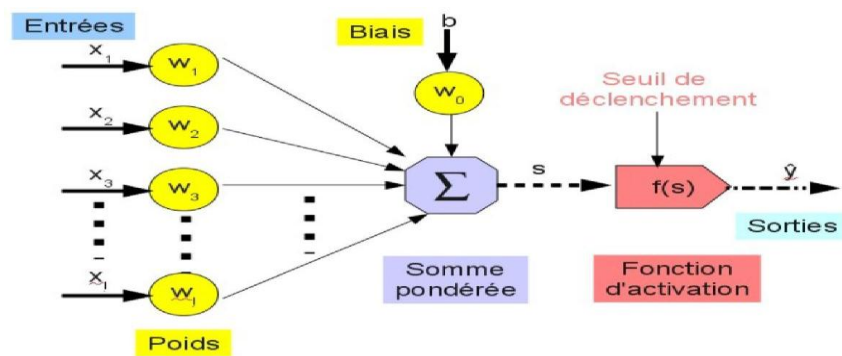


Figure 10 : Représentation d'un neurone formel (site web 1)

## I.6.4 Construction d'un réseau de neurones

Le novice est souvent surpris d'apprendre que pour construire un réseau de neurones, la première chose à faire n'est pas de choisir le type de réseau mais de bien choisir ses échantillons de données d'apprentissage, de tests et validation. Ce n'est qu'ensuite que le choix du type de réseau interviendra. Afin de clarifier un peu les idées, voici chronologiquement les cinq grandes étapes qui doivent guider la création et la construction d'un réseau de neurones :

### I.6.4.1. Choix et préparation des échantillons

Le processus d'élaboration d'un réseau de neurones commence toujours par le choix et la préparation des échantillons de données. Comme dans les cas d'analyse de données, cette étape est cruciale et va aider le concepteur à déterminer le type de réseau le plus approprié pour résoudre son problème. La façon dont se présente l'échantillon conditionne : le type de réseau, le nombre de cellules d'entrée, le nombre de cellules de sortie et la façon dont il faudra mener l'apprentissage, les tests et la validation.

### I.6.4.2. Elaboration de la structure du réseau

La structure du réseau dépend étroitement du type des échantillons. Il faut d'abord choisir le type de réseau : un perceptron standard, un réseau de Hopfield, un réseau à décalage temporel (TDNN), un réseau de Kohonen, un ARTMAP etc... Dans le cas du perceptron par exemple, il faudra aussi choisir le nombre de neurones dans la couche cachée. Plusieurs méthodes existent et on peut par exemple prendre une moyenne du nombre de neurones d'entrée et de sortie, mais rien ne vaut de tester toutes les possibilités et de choisir celle qui offre les meilleurs résultats.

### I.6.4.3. Optimisation de l'architecture du réseau

Il existe une multitude de réseaux de neurones définis par leur architecture caractérisée par :

- la fonction de transfert ;
- et la façon dont l'interconnexion se fait entre les neurones.










#### A) *Fonction de transfert*

Il existe plusieurs fonctions de transfert dont le choix se fait selon le problème à résoudre. Elles sont aussi retenues en raison de leur facilité d'exécution et de celle de leur dérivée qui intervient dans les algorithmes d'optimisation. La plupart des fonctions utilisées appartiennent à quatre (4) groupes essentiels :

- Les fonctions seuils largement utilisées dans la classification des données ;
- Les fonctions linéaires utilisées dans l'approximation des fonctions mais aussi dans la classification des données ;
- Les fonctions non-linéaires dominées par les sigmoïdes et rencontrées également dans l'approximation des fonctions ;
- et enfin les fonctions résultant d'une combinaison des trois précédentes.

Le tableau 1 donne des exemples de fonction provenant de chacun de ces groupes

**Tableau 1 : Types de fonctions de transfert pour R.N.F. (site web 2)**

Nom de la fonction	Relation d'entrée/sortie	Icône
seuil	$a = 0$ si $n < 0$ $a = 1$ si $n \geq 0$	
seuil symétrique	$a = -1$ si $n < 0$ $a = 1$ si $n \geq 0$	
linéaire	$a = n$	
linéaire saturée	$a = 0$ si $n < 0$ $a = n$ si $0 \leq n \leq 1$ $a = 1$ si $n > 1$	
linéaire saturée symétrique	$a = -1$ si $n < -1$ $a = n$ si $-1 \leq n \leq 1$ $a = 1$ si $n > 1$	
linéaire positive	$a = 0$ si $n < 0$ $a = n$ si $n \geq 0$	
sigmoïde	$a = \frac{1}{1+\exp^{-n}}$	
tangente hyperbolique	$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$	
compétitive	$a = 1$ si $n$ maximum $a = 0$ autrement	

a : entrées

n : sorties

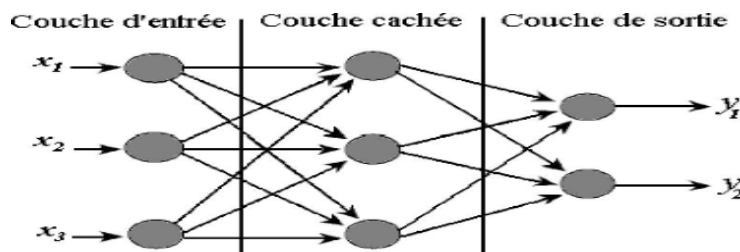
## B) l'interconnexion entre les neurones

L'interconnexion entre les neurones dépend la manière dont l'information circule dans le réseau et dont se fera l'apprentissage. L'interconnexion permet de distinguer les réseaux ouverts et les réseaux bouclés.

### ➤ Le réseau ouvert ou non bouclé

Le réseau est ouvert (feedforward neural network) lorsqu'il n'y a pas un retour de l'information vers l'arrière. L'information circule de façon unidirectionnelle, allant des entrées vers la sortie du réseau (figure 11).

Si tous les neurones ne sont pas des organes de sortie, on parle de neurones cachés.



**Figure 11 : Représentation de réseau non bouclé**



### ➤ Le réseau bouclé

Le réseau est bouclé lorsqu'on assiste à un retour de l'information vers l'arrière (figure 12), d'une manière ou d'une autre. Les réseaux bouclés sont utilisés pour introduire des délais temporels dans le modèle et nécessite pour cela une série continue sur un site bien déterminé.

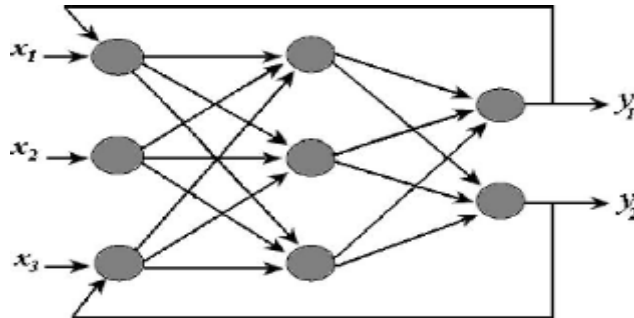


Figure12 : Représentation de réseau bouclé

### I.6.4.4. L'apprentissage

L'apprentissage et l'adaptation constituent deux caractéristiques essentielles des réseaux de neurones. Le rôle de l'apprentissage est de définir le poids de chaque connexion. de nombreuses règles existent pour modifier le poids des connexions et donc pour arriver à un apprentissage correct lorsque la phase d'apprentissage est achevée, le réseau doit être capable de faire les bonnes associations pour les vecteurs d'entrées qu'il n'aura pas appris. C'est l'une des propriétés importante dans les réseaux de neurones, car elle permet de donner la capacité de reconnaître des formes ressemblantes et même dégradées des prototypes, c'est la phase de reconnaissance. Les techniques d'apprentissage peuvent être classées en deux catégories

#### A) Les types d'apprentissages

##### ➤ *Apprentissage supervisé :*

Le réseau de neurone évalue lui-même ses performances, sans l'aide d'un «professeur». Un objet est présenté à l'entrée du réseau de neurones, à qui on a indiqué la classe à laquelle appartient cet objet. Si le réseau ne le classe pas correctement, il mesure lui-même l'erreur qui le faîte, et propage cette erreur vers l'entrée. Le réseau procède à autant d'itérations qu'il est nécessaire jusqu'à obtenir la réponse correcte

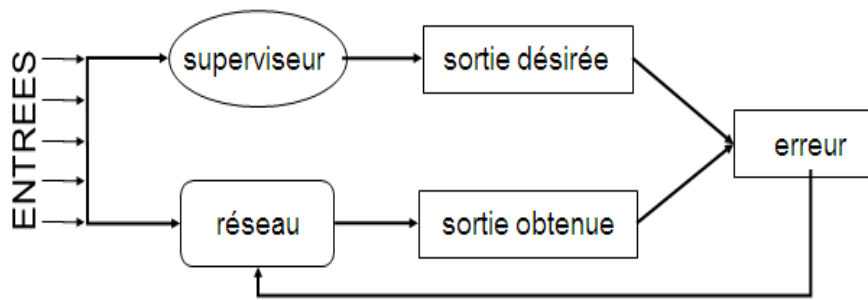


Figure13 : Représentation d'apprentissage supervisé (Site web 3)

➤ *Apprentissage non supervisé :*

Il est caractérisé par l'absence complète de professeur, c'est-à-dire qu'on ne dispose d'un signal d'erreur, comme dans le cas supervisé, comme le montre la figure 14

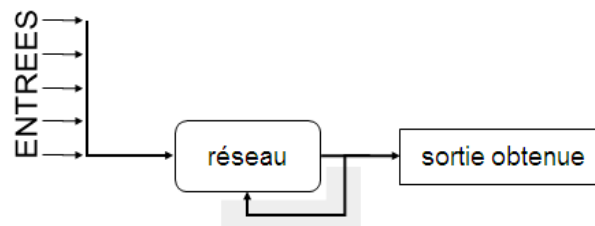


Figure 14 : Représentation d'apprentissage non supervisé (site web 3)

## B) Les méthodes d'apprentissage

Dans les systèmes experts, les connaissances de l'expert ont une forme énumérée : elles sont exprimées sous forme de règles. Dans le cas des réseaux de neurones, les connaissances ont une forme distribuée : elles sont codées dans les poids des connexions, la topologie du réseau, les fonctions de transfert de chaque neurone, le seuil de ces fonctions, la méthode d'apprentissage utilisée. Il existe un certain nombre de méthodes d'apprentissage :

➤ *Règle de Hebb :*

C'est la méthode d'apprentissage la plus ancienne (1949), elle est inspirée de la biologie. Elle traduit le renforcement des connexions liant deux neurones activés. Si un des deux neurones au moins n'est pas activé, le poids de la connexion n'est pas modifié.

### ➤ *Rétro-propagation du gradient de l'erreur :*

Cet algorithme est utilisé dans les réseaux de type feed forward, ce sont des réseaux de neurones à couche, ayant une couche d'entrée, une couche de sortie, et au moins une couche cachée. Il n'y a pas de récursivité dans les connexions, et pas de connexions entre neurones de la même couche. Le principe de la rétro-propagation consiste à présenter au réseau un vecteur d'entrées, de procéder au calcul de la sortie par propagation à travers les couches, de la couche d'entrées vers la couche de sortie ne passant par les couches. Cette sortie obtenue est comparée à la sortie désirée, une erreur est alors obtenue. A partir de cette erreur, est calculé le gradient de l'erreur qui est à son tour propagé de la couche de sortie vers la couche d'entrée, d'où le terme de rétro-propagation. Cela permet la modification des poids du réseau et donc l'apprentissage. L'opération est répétée pour chaque vecteur d'entrée et cela jusqu'à ce que le critère d'arrêt soit vérifié.

### **I.6.4.5 Validation et Tests**

Alors que les tests concernent la vérification des performances d'un réseau de neurones hors échantillon et sa capacité de généralisation, la validation est parfois utilisée lors de l'apprentissage (ex. : cas du early stopping). Une fois le réseau calculé, il faut toujours procéder à des tests afin de vérifier que notre réseau réagit correctement. Il y a plusieurs méthodes pour effectuer une validation : le cross validation, le bootstrapping... mais pour les tests, dans le cas général, une partie de l'échantillon est simplement écarté de l'échantillon d'apprentissage et conservé pour les tests hors échantillon. On peut par exemple utiliser 60% de l'échantillon pour l'apprentissage, 20% pour la validation et 20% pour les tests. Dans les cas de petits échantillons, on ne peut pas toujours utiliser une telle distinction, simplement parce qu'il n'est pas toujours possible d'avoir suffisamment de données dans chacun des groupes ainsi créé. On a alors parfois recours à des procédures comme la cross-validation pour établir la structure optimale du réseau.

## I.7. Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'avoir un aperçu générale sur les caractéristiques et le fonctionnement hydrologique des bassins versants ainsi que les différentes approches utilisées pour modéliser la circulation des eaux dans ces bassins versants.

La bonne connaissance des caractéristiques physiques du bassin versant ainsi que les interactions eaux de surface et eaux souterraines (bassin hydrologique et bassin hydrogéologique) permettra une bonne connaissance des processus hydrologiques du BV.

Le choix du modèle à adopter pour modéliser le fonctionnement hydrologique du bassin versant est lié en grande partie à la quantité des données disponibles (temporellement et spatialement). Plus les données sont nombreuses plus on s'oriente vers un modèle statistique ou physique et plus les données sont faibles et plus on s'oriente vers un modèle empirique ou conceptuel.

Le réseau de neurones artificiels est souvent utilisé lorsque la relation entre l'entrée et la sortie est très complexe ou difficile à formaliser. Les principaux réseaux se distinguent par l'organisation du graphe (en couches, complets...), c'est-à-dire leur architecture, son niveau de complexité (le nombre de neurones, présence ou non de boucles de rétroaction dans le réseau), par le type des neurones (leurs fonctions de transition ou d'activation) et enfin par l'objectif visé : apprentissage supervisé ou non, optimisation, validation et test.

### II .1. Introduction

Le fonctionnement hydrologique des oueds dépend en grande partie de la situation géographique ainsi que des caractéristiques morphologiques du BV ainsi que de l'occupation du sol. Dans ce chapitre, nous avons opté pour faire deux présentations, l'une pour la wilaya de Jijel pour connaître le contexte régional et le deuxième pour le BV de Kissir pour connaître le contexte locale.

### II.2. Présentation de la wilaya de Jijel

#### II.2.1. Situation géographique

La wilaya de Jijel se trouve au Nord - Est algérien à une distance de 350 km à l'Est de la capitale Alger. Elle occupe une superficie de 2400 km<sup>2</sup> et elle est limitée Administrativement : au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par la wilaya de Mila et de Sétif, à l'est par la wilaya de Skikda et à l'ouest par la wilaya de Bejaïa

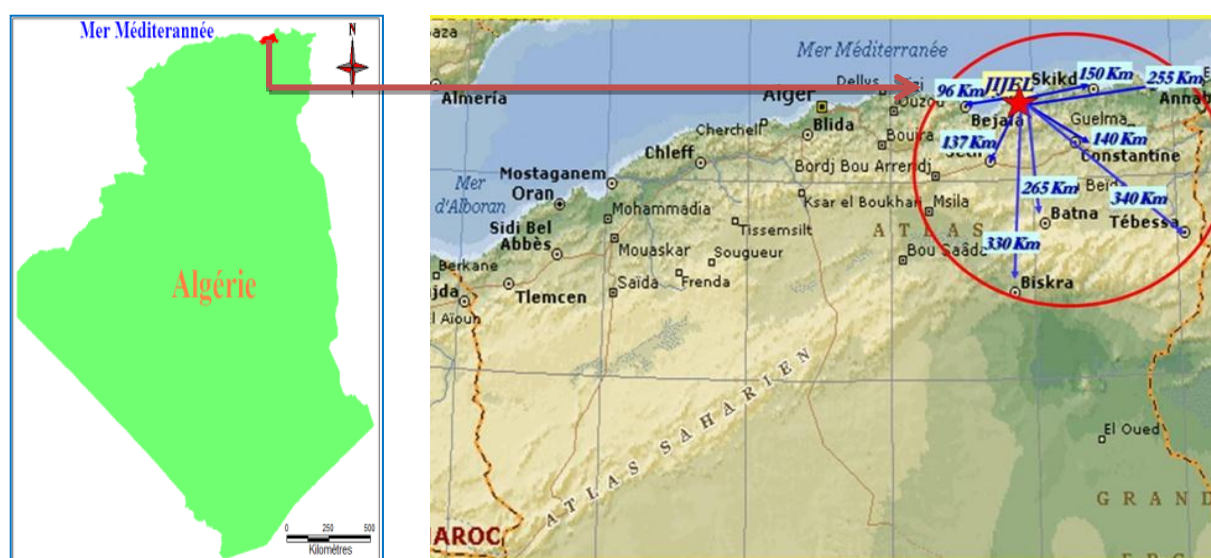


Figure 15 : Situation géographique de la région de Jijel

### II. 2. 2. Réseau hydrographique

La wilaya de Jijel est une zone côtière et caractérisée par des plaines, des montagnes et des vallées. La partie sud est essentiellement des montagnes et occupe une superficie de 82%, elle donne naissance aux oueds, à travers les sources et/ou la fonte des neiges. La partie nord est présentée essentiellement par des plaines, elles occupent 18 % de la superficie totale de la wilaya. Tous les oueds de la wilaya déversent dans la mer, indiquant un système hydrologique exoréique.

Les Principaux oueds sont : El Kébir, Nil, Djen-Djen, Mencha, Kissir, Bourchaid, Taza et Ziama.

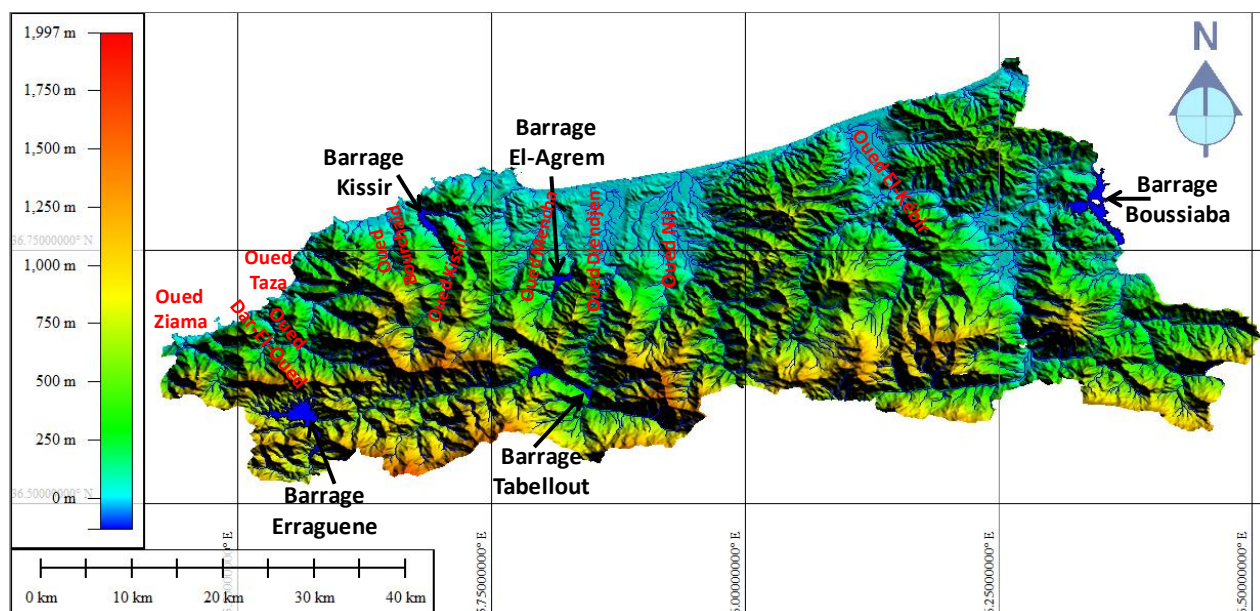


Figure 16 : MNT de la wilaya de Jijel

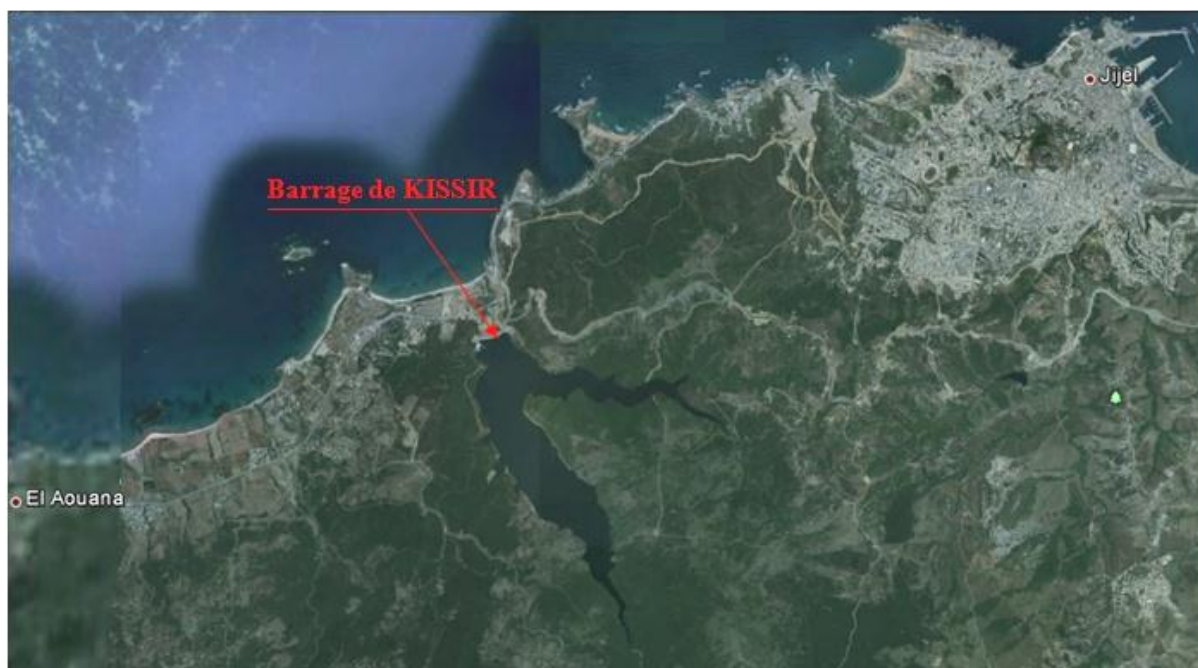
### II.3. Caractéristiques du bassin versant de Kissir (zone d'étude)

#### II.3.1. Situation géographique du Barrage de Kissir

Il se situe approximativement à 14 Km à l'ouest de la ville de Jijel et à 6 Km à l'est de la localité d'El-Aouana. L'axe du barrage se situe à 750 m de la mer. Les coordonnées de références du barrage, conformément au système géodésique Nord-Sahara et selon les coordonnées U.T.M (Universal Transverse Mercator), sont présentées dans le tableau 2.

**Tableau 2 : Les coordonnées UTM de références du site de barrage de Kissir**

	Rive gauche	Rive droite
Nord	4.074.722,50	4.074.921,77
Est	738.975,99	739.269,63



**Figure 17 : Situation géographique du barrage de Kissir (Google Earth, 2017).**

### II.3.2. Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de Kissir

De point de vue géomorphologique, le bassin versant d'oued kissir est caractérisé :

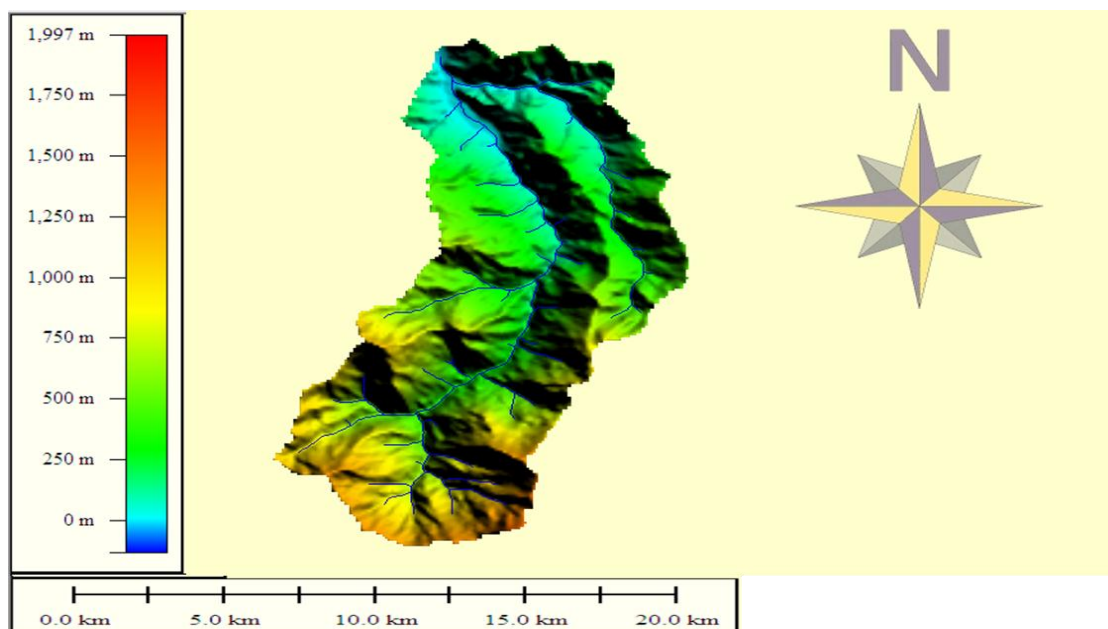
- Au sud par des reliefs élevés avec des pentes très escarpées, où l'altitude varie entre 775 m pour Djebel Tidiouane et 1543 m pour Djebel M'cid Echeta.
- Au nord par un relief moins élevés et des pentes plus douces, l'altitude ne dépasse pas le 350 m.

Les caractéristiques morphologiques du BV de kissir sont présentées dans le tableau Ci-dessous :

**Tableau 3 : caractéristiques morphologique du BV Kissir**

Surface (km <sup>2</sup> )	Altitude moyenne (m)	Largeur moyenne (km)	Longueur d'oued principale (Km)	Coordonnées			
				Min-X	Min-Y	Max-X	Max-Y
107	513	5.63	20.433	5.678	36.796	5.698	36.796

Le bassin versant d'oued Kissir est caractérisé par un chevelu hydrographique très dense (figure 18).



**Figure 18 : MNT du bassin versant de Kissir**



### II.3.3. Végétation

Dans la rive droite, la végétation est formée des petits arbres et d'arbustes. Aux proximités de l'oued, on peut observer quelque arbre de taille moyenne. En aval de l'axe de la digue, dans les dépôts alluvionnaires, on remarque des zones de terre agricoles.

Dans la rive gauche, en amont de l'axe du barrage, la végétation est assez dense. On observe la présence d'arbres de moyennes et de grande taille et un enchevêtrement de cyprès. En aval, le flanc de la colline est formé d'affleurements des roches où l'on observe des arbustes et des arbres isolés.

### II.4. Conclusion

Le bassin versant de Kissir est de taille moyenne par rapport aux bassins versants de la région Jijel. Il est représentatif des bassins versants de la wilaya de Jijel surtout de la partie ouest de Jijel. Un barrage est installé dans sa partie aval et qu'on l'utilise comme station de jaugeage pour son débit. Son écoulement dans la partie amont au barrage est naturel, vu qu'il n'y a aucune autre installation hydraulique.

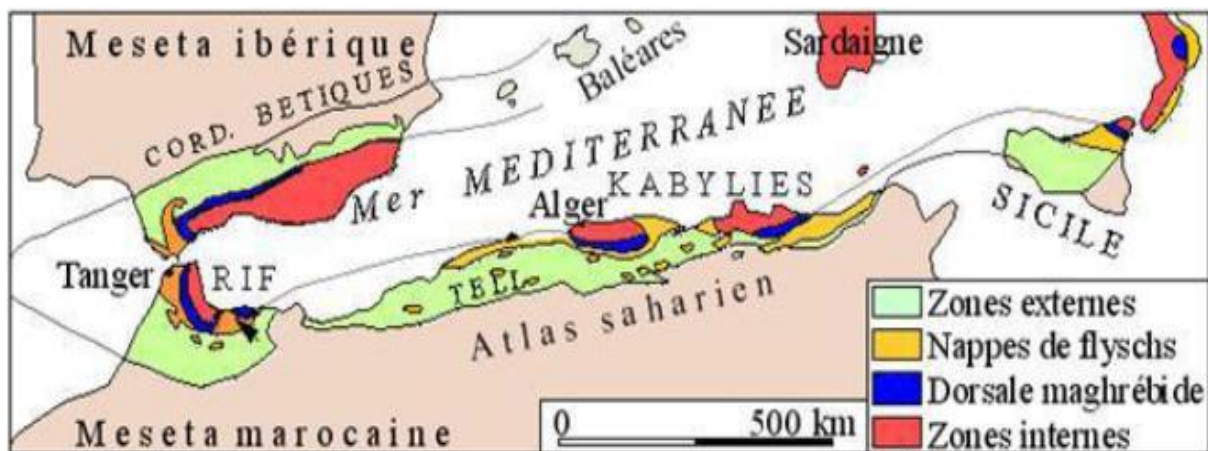
### III.1. Introduction

Le ruissellement est un paramètre très important pour déterminer le débit des oueds. Il est lié en grande partie à la nature des formations géologiques qui composent le sol. Pour cela, nous avons consacré ce chapitre à la description géologique du bassin versant et son contexte régional.

### III.2. Géologie régionale

La région de Jijel fait partie de la petite Kabylie, entité géographique des chaînes Côtières de l'Est algérien (Figure 19). Ces chaînes appartiennent à la chaîne alpine d'Algérie orientale qui représente le segment oriental de la chaîne des Maghrébides (Durand-Delga, 1980).

La chaîne alpine d'Algérie est caractérisée par des structures en nappes à vergence Sud dominante. Ces nappes sont issues de trois domaines paléogéographiques avec du Nord vers le Sud : le domaine interne, le domaine des flysch et le domaine externe



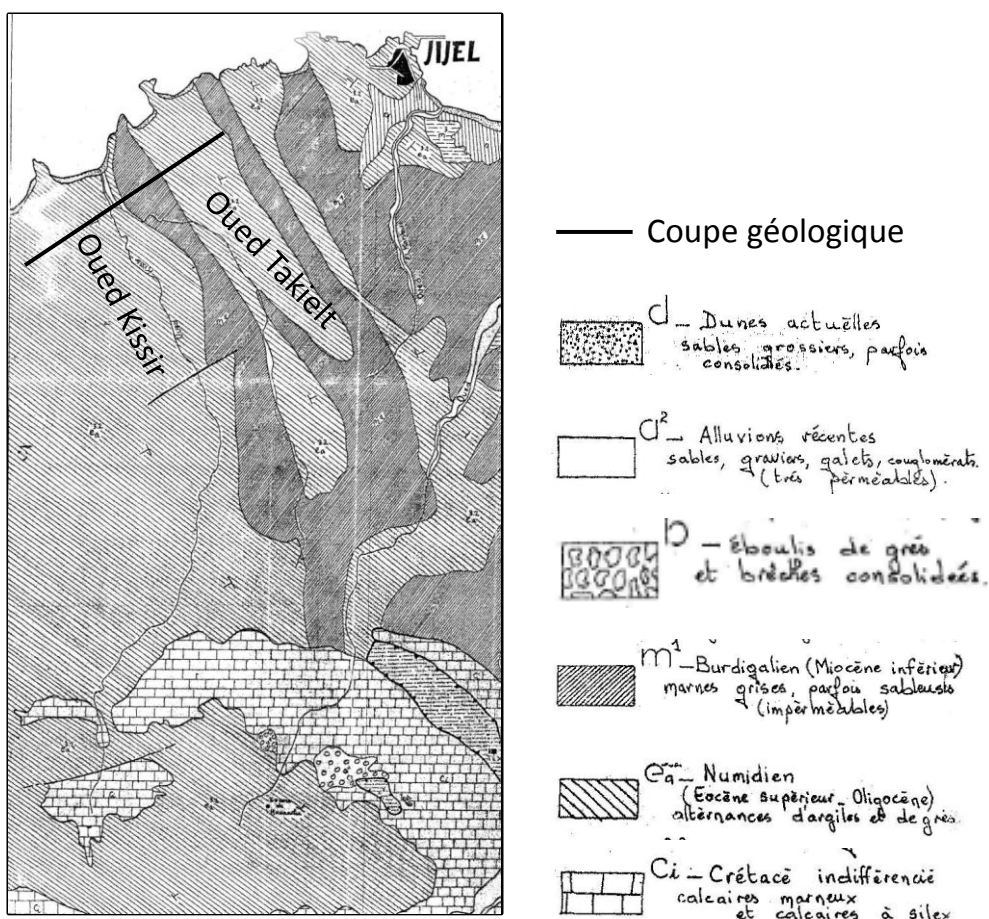
**Figure 19 : Schéma structural de la chaîne alpine de méditerranée occidentale. (D'après Durand.Delga, 1969)**

Géologiquement, le territoire de la région de Jijel est assez varié et complexe. C'est un édifice constitué d'un socle métamorphique qui occupe la partie nord, une chaîne calcaire et un domaine de flysch dans le sens Nord-Sud.

## III.3. Géologie du bassin versant de Kissir

D'après l'esquisse géologique de la région de Jijel, le bassin versant d'oued de Kissir contient six formations géologiques (figure 20) :

- Dunes actuelles : sables grossiers parfois consolidés. On le trouve sur les plages, où l'oued Kissir se déverse dans la mer ;
- Alluvions récentes : sable, graviers, galets, conglomérat (très perméable). On les trouve dans le lit de l'oued surtout dans la partie aval (en bas du barrage de Kissir) ;
- Burdigalien (Miocène inférieur) : marnes grises parfois sableuses (imperméable). On le trouve dans la rive droite de l'oued Kissir.
- Numidien (Eocène supérieur – Oligocène) : alternances d'argile et de grès. On le trouve sur l'ensemble du BV.
- Crétacé indifférencié : calcaires marneux et calcaire à silex.
- Eboulis de grès et brèches consolidés.



**Figure 20 : Esquisse géologique du BV de Kissir, extrait de la carte géologique d'El-Milia (N°29), Ehrmann M.F. 1926**

Une coupe géologique a été réalisée dans la partie aval du bassin versant d'oued Kissir en perpendiculaire sur l'oued et en passant par la digue du barrage (figures 20 et 21)



*Coupe géologique montrant les structures en nappes  
ou niveau du site*

*Légende :*

- 1: Nappe de Guerrouche: grès en bancs plurimétriques. 2: Préflysch calcaire*
- 3: flysch dissocié à faciès mourétarien. 4: Molasse olistostromique marneuse*
- 5: flysch grés-micacé en série inversée. 6: lame de flysch schisto-gréseux.*
- : barrage hydraulique*

**Figure 21 : Coupe géologique E-W de Kissir.**

### III.4. Les formations géologiques du barrage de Kissir :Enhyd (Serbie). (1995)

#### III.4.1. Flysch dissocié : Albo-aptien à Eocène

Cette formation constitue le substratum sur l'axe et la plus grande partie de la fondation de barrage. Elle est composée essentiellement d'une alternance d'argilite et de grès.

- a) Les argilites : A l'affleurement, cette formation est pratiquement inexistante. Plus facilement érodable en surface, elle donne lieu à la constitution d'un sol argileux identifié par les sondages. Ce sont des argilites gréseuses et occasionnellement des argilites marneuses de couleurs variable : verdâtre, brunâtre, grisâtre ou noirâtre. Les argilites se rencontre en couche centimétrique a décimétrique.
- b) Les grés : sont les roches qui affleurent sur les deux appuis au niveau de site du barrage en couche décimétrique à métrique. Il présente une granulométrie variant de fine a moyenne, une couleur variable blanchâtre a grisâtre et de jaunâtre a rougeâtre. La composition de la granulométrie des grés est quartzeuse et le ciment est principalement siliceux.

En général, au niveau du site de barrage, dans la coupe stratigraphique du Flysch dissocié Albo-aptien à Eocène, les argilites prédominent sur les niveaux gréseux.

### III.4.2. Le flysch numidien

Cette formation est bien présentée en aval de quelques dizaines de mètres de la zone de l'axe de barrage un imposant massif gréseux affleure sur une grande superficie contrastant ainsi avec la « monotonie » de la formation du flysch dissocié en amont.

Au niveau de l'assiette du barrage de Kissir, le flysch Numidien est représenté par :

#### ✓ Une assise gréseuse

Des bancs de grés épais et réguliers, massifs de 2 à 3 m d'épaisseur, constituant un ensemble de 140 à 150 m d'épaisseur, ce sont des Grés quartzeux à granulométrie hétérométrique, se particularise par la présence de dragées de Quartz, de couleur jaunâtre à blanchâtre montrant généralement une carapace ferrugineuse en surface, entre ces bancs de grés s'intercalent des passées fines d'argiles noires schisteuses. Ces bancs gréseux surmontent une alternance de banc de grés d'épaisseurs réduites et de marnes de couleur grisâtre à noirâtre, bien visible à la sortie de tunnel de dérivation.

### III.4.3. Les formations de l'Oligo-miocène –Kabyle

Les formations d'Oligo-miocène-kabyle affleurent sur le versant de la rive droite de l'oued Kissir vers le sud, elles sont représentées par une alternance de pélites et des bancs de grés micacés, dilacérés et très perturbés (fractures, plissement,.....etc.)

Les bancs de grés micacés discontinus et les marnes vari colores présentent par endroit des microplis très spectaculaires.

Les marnes sont très altérés en surface donnant des horizons argileux, montrant un débit en plaquettes millimétriques à centimétriques.

Au niveau de la rive droite, près de l'excavation de l'évacuateur de crue, à divers endroits dans les formations de l'OMK, apparaissent des fragments non roulés, à bords anguleux, ainsi que, des bancs discontinus de calcaires bioclastiques remaniés, plissés, fracturés, et bréchifiés, de couleur gris clair, riche en Nummulites et algues, ainsi que des argiles rouges de l'Eocène (D'après H.Djellit1987).

Au niveau de l'excavation du tunnel de dérivation, une formation représentée par des marnes massive grise bleutées à noire dans laquelle est noyées de blocs et galets de calcaire gris clair.

### III.4.4. Les dépôts quaternaires

Dans la région de Kissir, les dépôts quaternaires sont représentés pour l'essentiel par les dépôts des terrasses alluviales et les colluvions (éboulis de pente).

### III.5. Conclusion

La description des formations géologiques du bassin versant de Kissir montre l'existence de deux formations principales : les grés Numidiens et les marnes du Burdigalien. Ces deux formations, indiquées en consécutive, indiquent un milieu fissuré et un milieu imperméable. On suppose que dans la rive droite de l'oued, le ruissellement est plus important que dans la rive gauche, vu l'existence des marnes dans la première rive.

D'une manière générale, on peut dire que selon la nature des formations géologiques, le ruissellement est important dans ce bassin versant.

### IV.1. Introduction

Ayant déterminé les caractéristiques du complexe physique du bassin versant de Kissir, nous allons essayer d'étudier les facteurs climatiques de cette région. De ce fait l'analyse des facteurs climatiques s'impose. Elle permet de mettre à jour les facteurs (température, évaporation, précipitation, ruissellement...) les plus importants qui régissent le climat et qui sont fondamentales pour estimer les quantités d'eau ruisselées et le bilan hydrologique.

### IV.2. Aperçu climatique de la région de Jijel

Du nord vers le sud, le climat en Algérie est caractérisé par une grande variation des températures et des précipitations.

La région de Jijel fait partie du littoral algérien, elle est caractérisée par une pluviométrie élevée (900 – 1600 mm/an).(ANRH 1996)

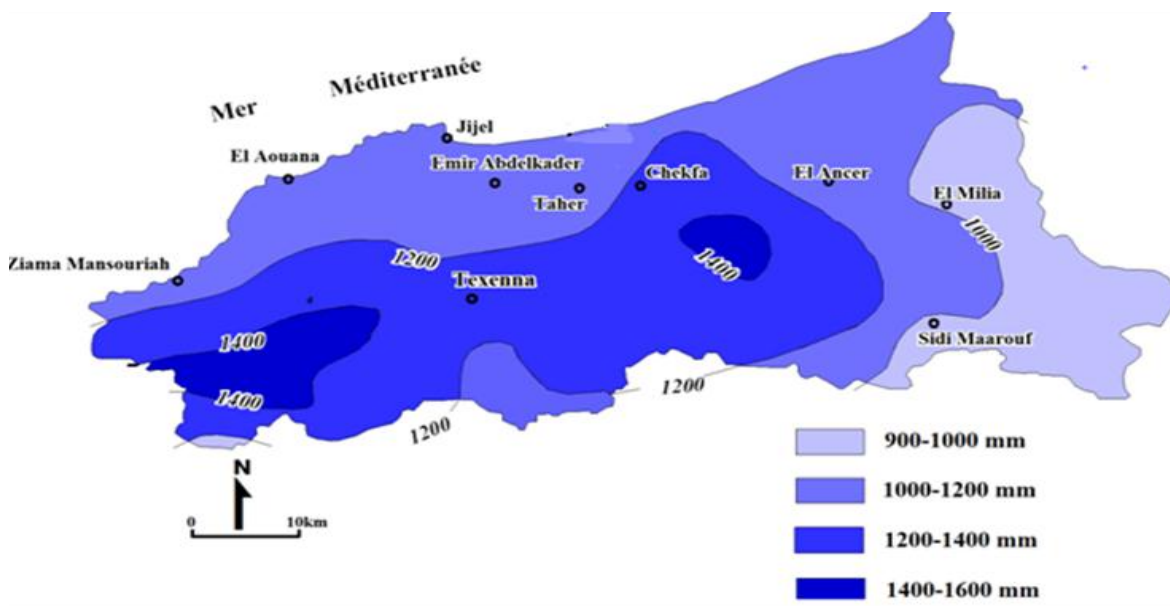


Figure 22 : Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1996)

Spatialement, les précipitations sont plus faibles en plaines et plus élevées en montagne, indiquant une augmentation des précipitations en fonction de l'altitude.

Temporellement, on distingue deux périodes :

- ❖ **Une période douce et humide** : caractérisé par de fortes précipitations et une baisse de température qui peut atteindre parfois 9° en mois de janvier.
- ❖ **Une période chaude et sèche** : s'étend du mois de mai jusqu'au mois de septembre.

### IV.3. Analyse des paramètres climatiques

Pour réaliser cette étude, on a choisi la station climatique de Kissir et on a travaillé avec les données journalières de l'année 2013.

#### IV.3.1. Précipitations

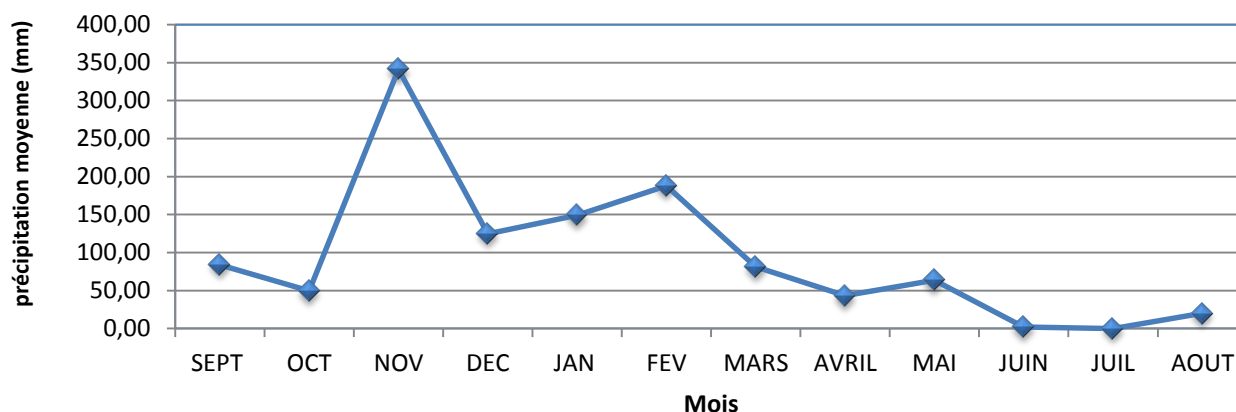
Elles désignent les gouttes d'eau ou les cristaux de glace qui, formés après condensation et agglomération dans les nuages, deviennent trop lourds pour se maintenir en suspension dans l'air et tombent au sol ou s'évaporent avant de l'atteindre. Ces précipitations sont de plusieurs natures : la pluie, la neige et la grêle comptent parmi les plus fréquentes.

#### A. Précipitations moyennes mensuelle

Pour analyser la variation de la pluviométrie de Kissir dans l'année 2013, nous interprétons les valeurs mensuelles enregistrées au niveau de la station de Kissir (tableau 4)

**Tableau 4 : Précipitation moyennes mensuelles de la station Kissir (2013)**

mois	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mrs	avril	mai	juin	juil	aout	total
Précipitation (mm)	83,80	49,58	341,39	124,80	149,18	187,99	81,19	43,20	63,60	2,00	0,00	20,00	1 146,73



**Figure 23 : Précipitations mensuelles enregistrées dans la station de Kissir (2013)**

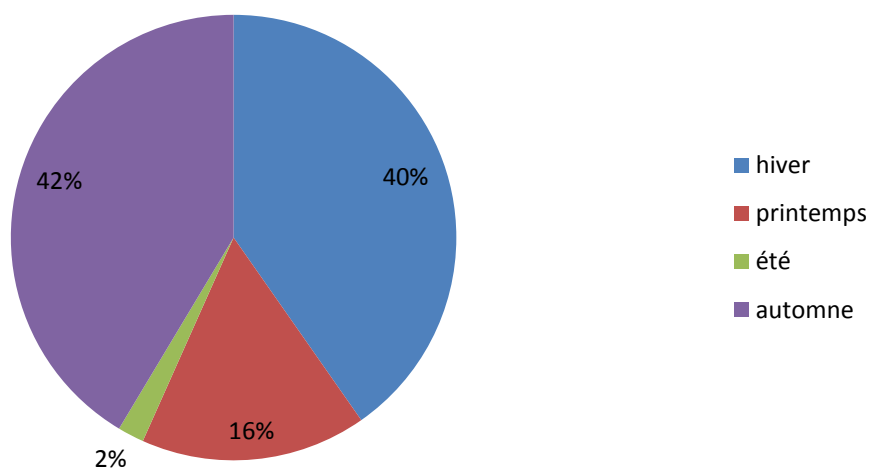
D'après cette figure, on constate que le mois le plus pluvieux est celui de novembre avec une moyenne de 341.39 mm ; tandis que le mois le plus sec et celui de Juillet avec un minimum moyenne de précipitation égale à 0.00 mm.



### B. Précipitations moyennes saisonnières

**Tableau 5 : Précipitation moyennes mensuelles saisonnières de la station Kissir (2013)**

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
Précipitation	83,80	49,58	341,39	124,8	149,18	187,99	81,19	43,20	63,60	2,00	0,00	20	1 146,73
précipitation saisonnière (mm)	474,77			461,97			187,99			22			
précipitation saisonnière (%)	41,40			40,29			16,39			1,92			
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			



**Figure 24 : Précipitations saisonnière enregistrées dans la station de kissir (2013)**

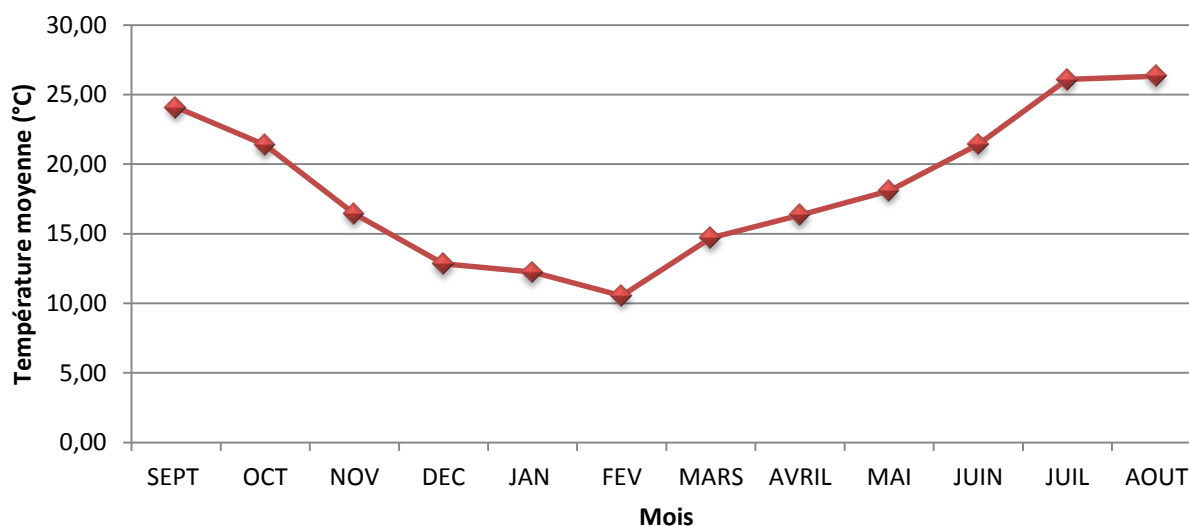
D'après cette figure et le tableau 5, on constate que la saison la plus pluvieuse est celle de l'automne avec une précipitation saisonnière de 474.44mm avec 42% et la saison la moins pluvieuse est celle de l'été avec une précipitation saisonnière de 22 mm avec 2%.

#### IV.3.2. Températures

La température est un paramètre important pour l'étude du climat, elle désigne l'évaluation du déficit d'écoulement du bassin qui influence par la suite le calcul du bilan hydrique. Nous avons récupéré des données mensuelles enregistrées à la station de Kissir durant l'année 2013

**Tableau 6 : Températures moyennes mensuelles de la station Kissir (2013)**

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
Température (°c)	24,08	21,38	16,44	12,84	12,24	10,55	14,70	16,34	18,09	21,43	26,09	26,33



**Figure 25 : Température mensuelle enregistrées dans la station de Kissir (2013)**

D'après cette figure, la température moyenne la plus élevée est enregistré au mois d'août avec 26.33 C° et la température la plus faible pendant le mois de février avec 10.55 C°.

### IV.3.3. L'évaporation

C'est un processus physique de transformation d'un liquide en gaz. L'évaporation est la source de la création des masses nuageuses et constitue de ce fait, une phase essentielle du cycle de l'eau, elle dépend de plusieurs paramètres qui sont difficiles à déterminer.

**Tableau 7 : L'évaporation moyenne mensuelle de la station de Kissir (2013)**

Mois	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUN	JUIL	AOUT
évaporation (mm)	101,75	100,61	52,61	52,61	60,09	55,19	91,61	96,35	106,32	142,28	153,52	152,68

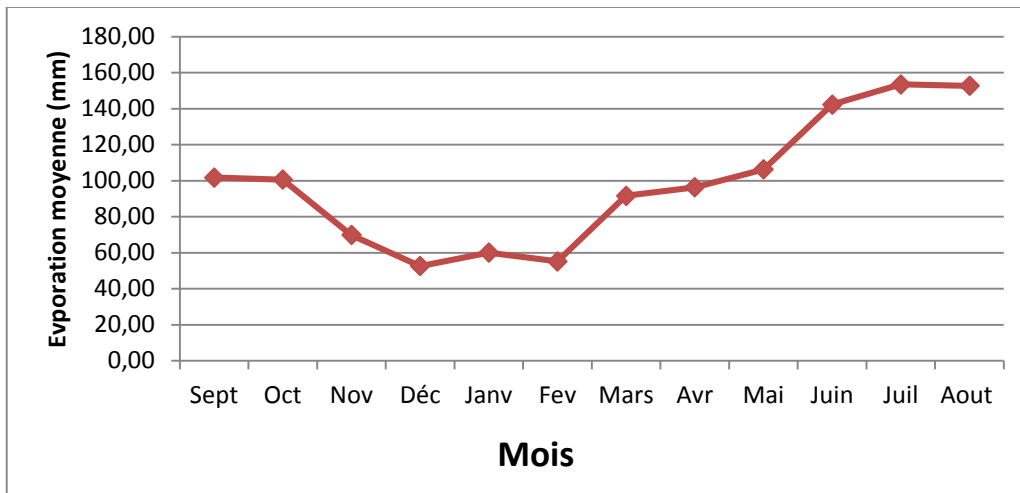


Figure 26 : L'évaporation moyenne mensuelle enregistrée dans la station de Kissir (2013)

Cette figure montre que la valeur minimum de l'évaporation moyenne mensuelle est de 52.61 mm au mois de décembre, alors que la valeur maximum est de 153.52 mm au mois de juillet.

La comparaison entre l'évolution mensuelle de la température (figures 25) et celle de l'évaporation (figure 26) montre une proportionnalité entre les deux paramètres.

### IV.3.4. Synthèse climatique

Les températures et les précipitations constituent les deux principaux paramètres des climats, divers types de diagrammes (Ombro-Thermiques de Bagnouls et Gausсен...) sont destinées à donner une représentation graphique des paramètres majeurs du climat propre à une région donnée.

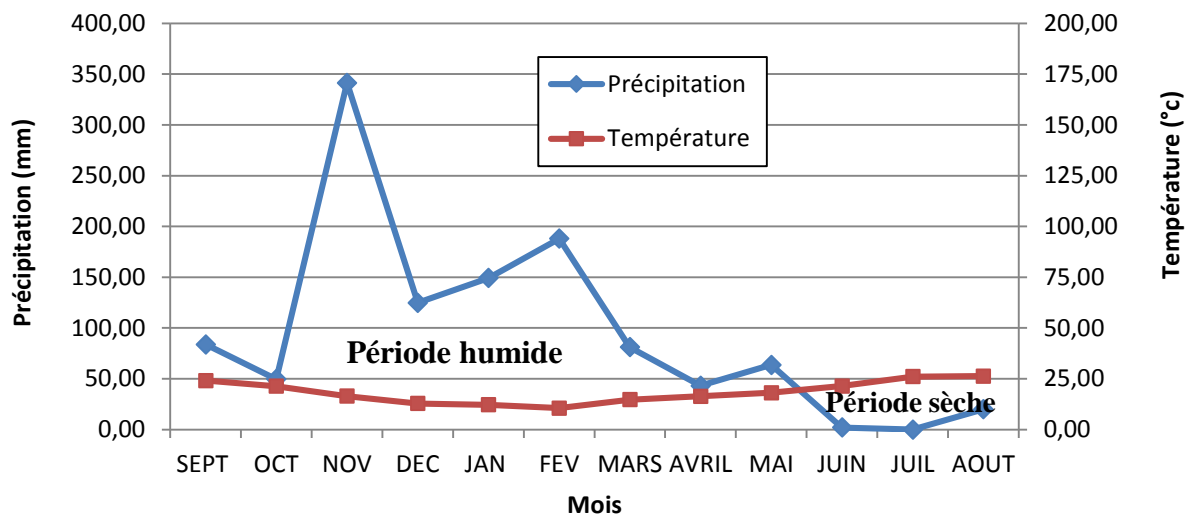
#### A) Diagramme ombrothermique

En se basant sur les données des précipitations et des températures mensuelles sur la même période d'observation, on peut établir le diagramme ombrothermique dont le but est de déterminer la saison Sèche et celle humide.

- Un mois sec est celui où le total des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne (°C) du même mois. Cette relation permet d'établir un diagramme ombrothermique sur lequel les températures sont portées à une échelle double des précipitations.

- Lorsque les températures passent au-dessus de la courbe des précipitations, la saison correspondante est sèche, et lorsque la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures, la saison correspondante est humide.

A partir de ces deux diagrammes, on remarque que l'année hydrologique de ce bassin versant est caractérisé par deux saisons bien distinctes (figure 27) : l'une humide s'étale du mois de septembre jusqu'à la fin de mai, et l'autre saison sèche s'étale du mois de juin au mois d'août



**Figure 27 : Diagramme ombrothermique de la station de Kissir**

### B) Indice d'aridité

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes annuelle (mm) et la température mensuelle est exprimée par l'indice d'aridité d'E.Martonne (*Beltrando, 1995*) que l'on peut calculer à partir de la formule suivante (°C),  $I = P / (T + 10)$

Avec :

- I : Indice d'aridité ;
- P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;
- T : Température moyenne mensuelle (°C).

**Tableau 8 : classification climatique selon l'indice d'aridité**

Valeurs Indice d'Aridité	Type de climat	Irrigation
<b>I &lt;5</b>	Désertique	Indispensable
<b>5 &lt;I &lt;10</b>	Très sec	Indispensable
<b>10 &lt;I &lt;20</b>	Sec	Souvent indispensable
<b>20 &lt;I &lt;30</b>	Humide	Parfois utile
<b>&gt; 30</b>	Très humide	Inutile

Dans le cas de notre zone d'étude :  $P = 1146,73$  mm et  $T = 18,38$  C°, Indiquant un indice d'aridité  $I = 1146,73/(18,38+10) = 40,41$

D'après le tableau 8, notre bassin versant est caractérisé par un climat très humide.

### c) Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte

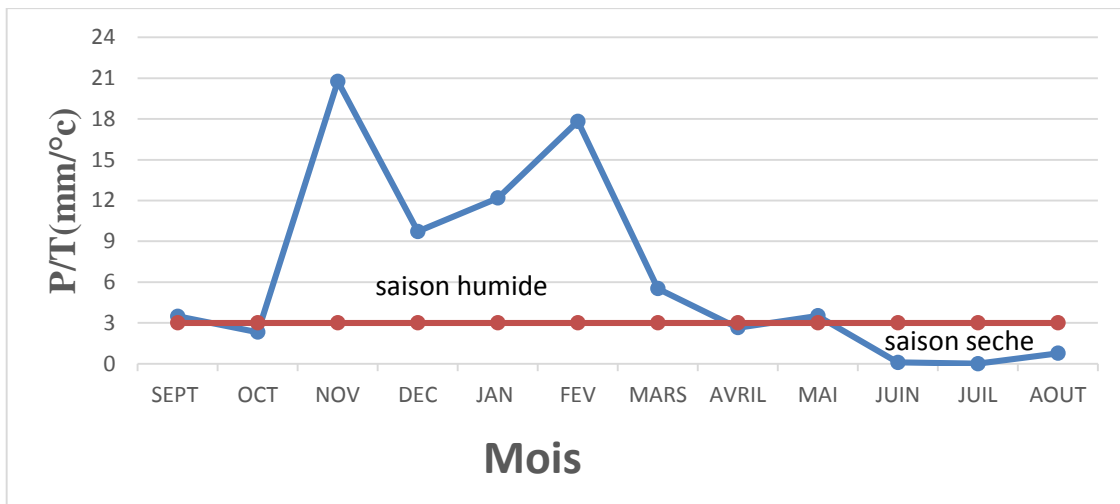
La méthode d'Euverte fait appel à deux paramètres essentiels qui sont les températures et les précipitations établies mensuellement ; on effectue le rapport P/T qui nous permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol.

Le rapport P/T permet d'établir quatre types de régimes :

- Un régime très sec où  $P/T < 1$  ;
- Un régime sec où  $1 < P/T < 2$  ;
- Un régime subhumide où  $2 < P/T < 3$  ;
- Un régime humide où  $P/T > 3$ .

**Tableau 9 : Valeurs du rapport P/T pour la station de Kissir (2013)**

MOIS	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
P(mm)	83,8	49,58	341,39	124,8	149,18	187,99	81,19	43,2	63,6	2	0	20
T(C°)	24,08	21,38	16,44	12,84	12,24	10,55	14,7	16,34	18,09	21,43	26,09	26,33
p/t	3,480066445	2,31898971	20,76581509	9,71962617	12,1879085	17,8189573	5,52312925	2,64381885	3,51575456	0,09332711	0	0,75958982



**Figure 28 : Evaluation de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte**

D'après le tableau 9 et la figure 28, on remarque que la période très sèche est représentée par les mois de la saison d'été (Juin, Juillet, et Août), par contre la période humide et subhumide occupe tout le reste de l'année.

#### IV.4. Analyse du paramètre hydrologique

##### IV.4.1. Bilan hydrologique

L'établissement du bilan hydrologique d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations reçues sur une surface, entre les composantes suivantes : évapotranspiration réelle (ETR), ruissellement (R) et l'infiltration dans le sous-sol. Cette étude climatique débouchera sur un calcul du bilan en exploitant les données météorologiques disponibles et en utilisant la méthode adaptée à la région.

L'équation du bilan hydrique s'exprime par la relation suivante :

$$P = ETR + R + I + RFU$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm),

R : Ruissellement en (mm),

I : Infiltration moyenne en (mm),

ETR : évapotranspiration réelle,

RFU : La réserve facilement utilisable.

### IV.4.1.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle et réelle par la formule de Thornthwaite

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si celui-ci contient en permanence la quantité d'eau suffisante, alors que l'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la quantité d'eau effectivement transpirée et évaporée.

#### A) L'évapotranspiration potentielle (ETP)

On utilise la méthode de C.W Thornthwaite pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP). Selon cette méthode, l'estimation de l'ETP s'effectue à l'aide d'une formule empirique permettant de calculer le pouvoir évaporant (en mm) pour chaque mois.

- ETP : évapotranspiration potentielle en mm,
- T : température moyenne mensuelle en °C,
- I : somme des indices thermiques mensuels  $i$  :  $I = \sum i = 88,789$ ,  $i = (T/5)^{1.514}$
- K : facteur de correction mensuel, fonction de la durée de la journée,
- a : exposant climatique :  $a = 0.016 I + 0.5$  ; donc  $a = 0.016 I + 0.5 = 1,920$
- ETP<sub>c</sub>: Evapotranspiration potentielle corrigée (mm), donnée par la relation suivante **ETP<sub>c</sub> = ETP.k**

#### B) L'évapotranspiration réelle (ETR) (Thornthwaite)

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on utilise la méthode de C.W.Thornthwaite. L'estimation de l'ETR (mm) avec cette méthode est liée au volume des précipitations. Trois cas peuvent se présenter :

- 1<sup>er</sup> cas :  $P \geq ETP \Rightarrow ETR = ETP$  Il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à la saturation, le surplus va représenter l'écoulement.
- 2<sup>ème</sup> cas :  $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$ . Dans ce cas, la RFU (réserve facilement utilisable) va s'épuiser jusqu'à la satisfaction de l'ETP.
- 3<sup>ème</sup> cas :  $P < ETP$  et  $RFU = 0 \Rightarrow ETR = P$  : Il y aura donc un déficit agricole (DA) représenté par la quantité d'eau qui doit être apportée pour l'irrigation.

Les résultats des calculs sont résumés dans le tableau ci-dessous (bilan hydrique).

### V.4.1.2. Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU)

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- La nature, la composition lithologique et l'épaisseur de la couche superficielle ;
- La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère ;
- Le climat de la région ;
- Le type de la couverture végétale.
- Dans notre cas, on prend une valeur de la RFU égale à 100 mm

### V.4.1.3. Le déficit agricole DA

Le déficit agricole est la quantité d'eau qu'il faudrait apporter à l'irrigation pendant le déficit, elle est calculée par la formule suivante :  $DA = ETP - ETR$  (Boucenna, 2007).

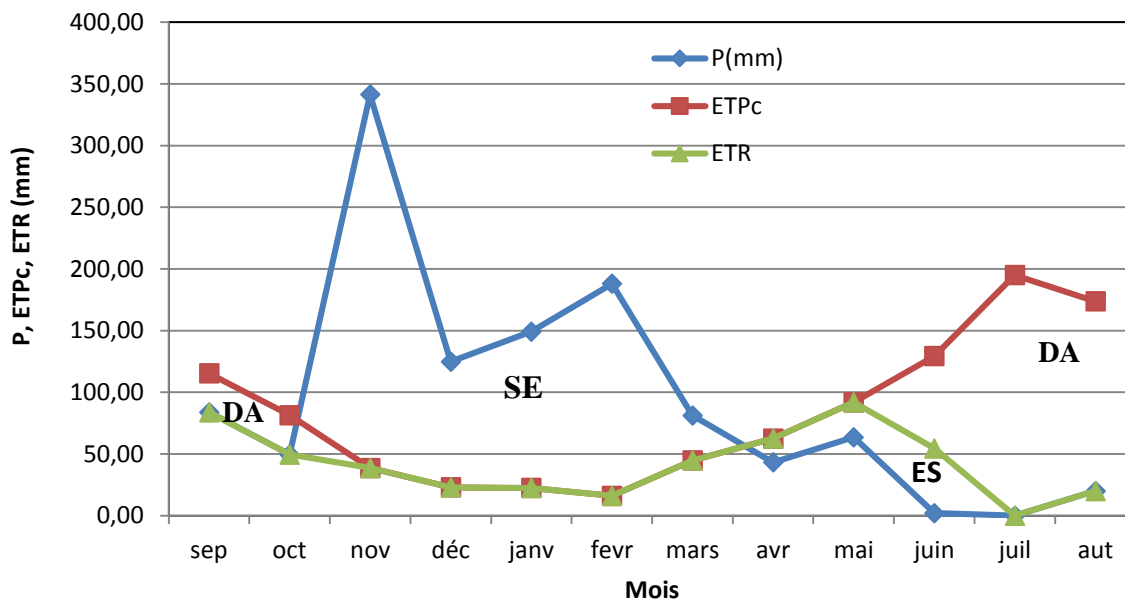
### V.4.1.4. L'excédent EXC (l'écoulement)

L'excédent c'est l'eau qui s'écoule après le remplissage du stock et qui se calcule par la formule suivante :  $EXC = P - ETR$  (mm). (Boucenna, 2007).

**Tableau 10 : Résultats du bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station de Kissir (2013)**

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
P (mm)	83,80	49,58	341,39	124,80	149,18	187,99	81,19	43,20	63,60	2,00	0,00	20,00	1146,73
T (C°)	24,08	21,38	16,44	12,84	12,24	10,55	14,70	16,34	18,09	21,43	26,09	26,33	
i	10,80	9,02	6,06	4,17	3,88	3,10	5,12	6,01	7,01	9,06	12,20	12,37	
l	88,79												
a	1,92												
k	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP	111,98	83,93	44,92	27,30	25,79	18,94	43,40	56,79	75,95	106,03	157,26	149,72	
ETPc	115,34	81,41	38,63	22,93	22,44	16,10	44,70	62,47	91,90	129,36	195,00	173,68	993,95
RFU	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	80,73	52,43	74,93	0,00	0,00	
ETR	83,80	49,58	38,63	22,93	22,44	16,10	44,70	62,47	91,90	54,43	0,00	20,00	506,98
DA	31,54	31,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	74,93	195,00	153,68	486,97
Ex	0,00	0,00	202,76	101,87	126,74	171,89	36,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	639,75





**Figure 29 : Bilan hydrologique par la méthode de THORNTHWAITE durant l'année 2013**

(ES : Epuisement du stock, SE : Surplus d'eau, DA : Déficit Agricole)

Le bilan hydrique obtenu montre que :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum au mois de juillet 195 mm et son minimum au mois de février 16,10 mm. L'ETP total est de l'ordre de 993,95 mm ;
- L'Evapotranspiration réelle (ETR) totale est de 506,98 mm ;
- La reconstitution de la RFU atteint son maximum (saturation : 100 mm) au mois de novembre et reste ainsi jusqu'au mois de mars puis elle commence à s'épuiser pour se vider complètement au mois de Juillet ;
- Le déficit agricole est de l'ordre de 486,97 mm, la saison sèche commence à partir du mois de Juin et se poursuit jusqu'au mois d'octobre, à cause des réserves qui commencent à s'épuiser à partir du mois juin pour devenir nulles du mois de juillet jusqu'au mois de octobre avec un déficit maximal de 195 mm au mois de juillet ;
- L'excédent annuel est égal à 639,75 mm, la saison humide commence les mois de novembre, jusqu'à au mois de mars.

### V.4.1.5. Estimation du ruissellement par la formule empirique de Tixeront-Berkaloff

Le ruissellement de surface est la quantité d'eau, qui au cours d'une précipitation échappe à l'infiltration et l'évapotranspiration.

Le ruissellement a été évalué par la formule de Tixeront-Berkaloff, en fonction des précipitations, par deux formules :

- Si :  $P < 600$  mm,  $R = P^3 / (3 * ETP)$  (Formule de Tixeront-Berkaloff) ;
- Si :  $P > 600$  mm,  $R = ((0.01 * P)^3) / 3$ , (Formule de Tixeront-Berkaloff modifiée par Romantchouk (1974) in Chibane et al. 2005).

Avec : R : ruissellement en (mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle de la station de Kissir (mm) ;

ETP : évapotranspiration potentielle en (mm).

On a pour l'année 2013, P annuelle = 1146.73mm, c-à-d une précipitation > 600 mm et pour calculer le ruissellement, on utilisera la deuxième formule :

$$R = ((0.01 * P)^3) / 3 = 502,65 \quad \text{soit } 43,83\% \text{ des précipitations}$$

### V.4.1.6. Estimation de l'infiltration

L'infiltration représente la quantité d'eau absorbée par le sol et le sous-sol, pour constituer l'eau de rétention, des eaux souterraines et des écoulements souterrains, et reconstitution des réserves souterraines. A partir de la formule du bilan hydrologique :

$$P = ETR + R + I \quad \rightarrow \quad I = P - (ETR + R)$$

ETR = 506.98 mm, soit 44.21 % des précipitations

I = 137,10 mm, soit 11.96 % des précipitations.

### IV.5.Conclusion

Le bassin versant de l'oued Kissir, se trouve dans la zone méditerranéenne avec un été chaud et sec et un hiver relativement humide. La précipitation annuelle (2013) est d'environ 1146,73 mm à la station de kissir, le mois le plus pluvieux est celui de novembre avec une moyenne de 341.39 mm ; tandis que le mois le plus sec et celui de Juillet avec un minimum moyenne de précipitation égale à 0.00 mm

La température moyenne mensuelle est de 18.38 C° : la température moyenne la plus élevée a été enregistré au mois d'Août avec 26.33 C° et la température la plus faible pendant le mois de février avec 10.55 C°.

La variation de l'évaporation moyenne mensuelle est proportionnelle à la température. Le taux d'humidité de sol reste élevé dans cette année sauf dans la saison d'été.

Le calcul du bilan hydrique nous a permet d'évaluer l'infiltration (12 % de la pluie) des eaux dans les zones poreuses, où il y a du sol. Par contre dans les zones fissurées, cas des schistes, calcaire..., l'infiltration peut augmenter considérablement et influencé sur l'estimation des autres paramètres du bilan hydriques (ETR, ruissellement).

Pour vérifier l'exactitude de ces valeurs, estimées par des formules empiriques, une autre approche par modélisation sera utilisée dans le chapitre suivant (V) pour évaluer le ruissellement.

### V.1. Introduction

Souvent des formules empiriques sont proposées pour estimer les paramètres du bilan hydrique et hydrologie dans des bassins versants. L'exactitude de valeurs estimées par ces formules reste inconnue, s'il n'y a pas des vérifications expérimentales. Pour cela dans ce chapitre, nous essayons d'estimer le ruissellement dans le bassin versant de Kissir en utilisant la modélisation et en se basant sur des données réelles. Deux approches ont été utilisées : l'une expérimentale et l'autre statistique (Réseau des Neurones Artificiels).

### V.2. Modélisation expérimentale du ruissellement

#### V.2.1. Introduction

Pour modéliser le ruissellement d'un bassin versant, il faut au moins une station de jaugeage à l'aval de l'oued principal qui draine le BV. Cela nous permettra de connaître la lame d'eau et le volume global des eaux ruisselées.

Dans la wilaya de Jijel, on ne possède pas des stations de jaugeage opérationnelles, par contre on a plusieurs barrages installés sur le parcours des oueds. Pour cela nous avons pensé à utiliser la variation du volume d'eau dans le barrage pour estimer le volume d'eau ruisselé.

#### V.2.2. Apports d'eau du barrage

Le barrage de Kissir est équipé par un système de mesure automatique journalier des paramètres hydrométrique et climatologique (précipitation et évapotranspiration potentiel).

Le calcul du volume des apports d'eau ( $V_a$ ) du barrage a été fait par la formule suivante :

$$V_a = \Delta V_{(t-(t-1))} - (V_e + V_{AEP} + V_{evp} + V_L)$$

Où :

$\Delta V_{(t-(t-1))}$  : la différence du volume d'eau dans le barrage entre le jour j et le jour j-1.

$V_e$  : volume d'eau évacué ;

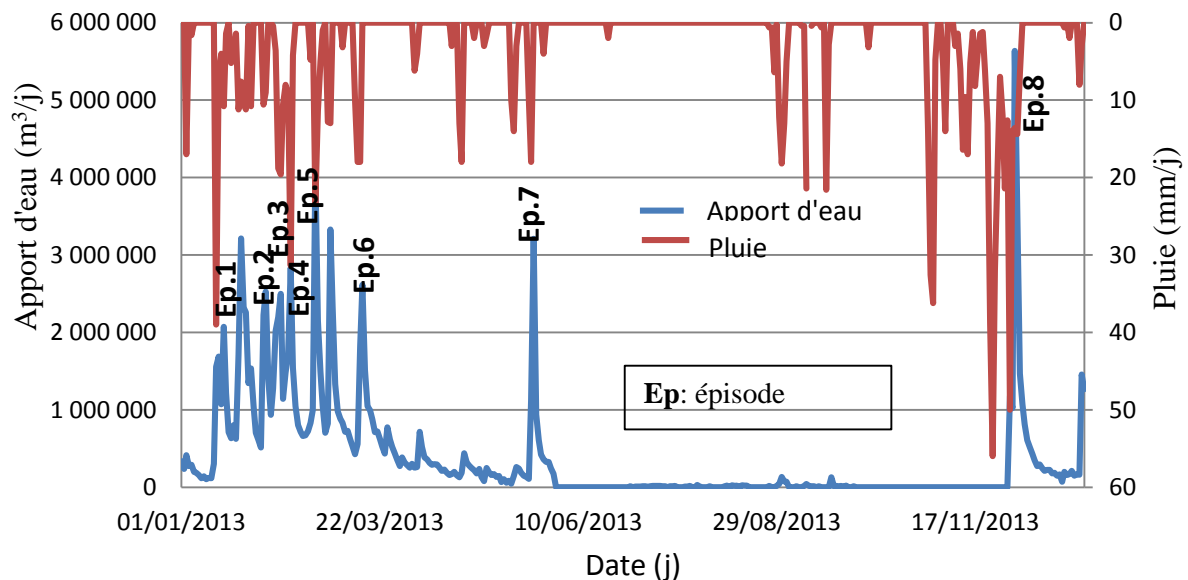
$V_{AEP}$  : volume d'eau destiné à l'Alimentation en Eau Potable ;

$V_{evp}$  : volume d'eau évaporé ;

$V_L$  : volume d'eau lâchée

### V.2.3. Evolution des apports d'eau en fonction des précipitations

L'évolution journalière des apports d'eau du barrage de Kissir en fonction des précipitations est présentée dans la figure 30.



**Figure 30 : Evolution des apports d'eau en fonction des précipitations**

Cette figure montre deux évolutions :

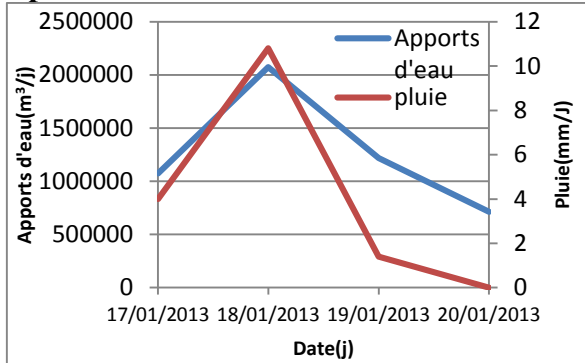
- La première pendant la période des hautes eaux (novembre à mai), où on observe une évolution proportionnelle entre les apports d'eau et les pluies ;
- Le deuxième pendant la période des basses eaux (juin à octobre), où les apports d'eau sont négligeable par rapport à la hauteur des pluies.

Ces deux comportements différents peuvent être expliqués par le fait que pendant la période des hautes eaux, le sol est saturé et la partie la plus importante des pluies part sous forme de ruissellement, par contre pendant la période des basses eaux, le sol est sec, et la partie la plus importante d'eau de pluie part à la saturation du sol.

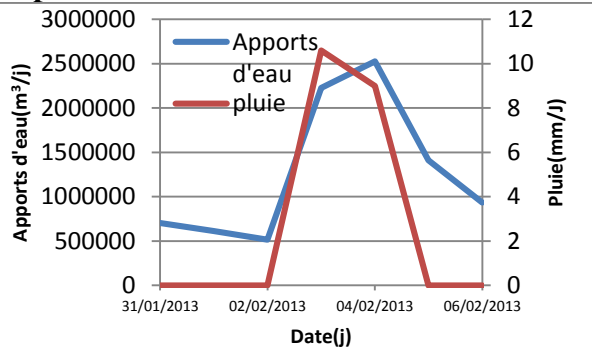
Pour bien montrer l'évolution des apports d'eau du barrage pendant la période des hautes eaux, un agrandissement de 8 épisodes pluvieux est présenté dans la figure 31 en ordre chronologique.

# Chapitre V : Modélisation hydrologique

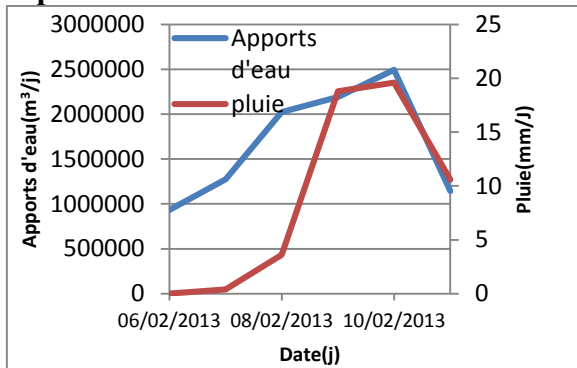
**Episode 1 : 17/01/2013 au 20/01/2013**



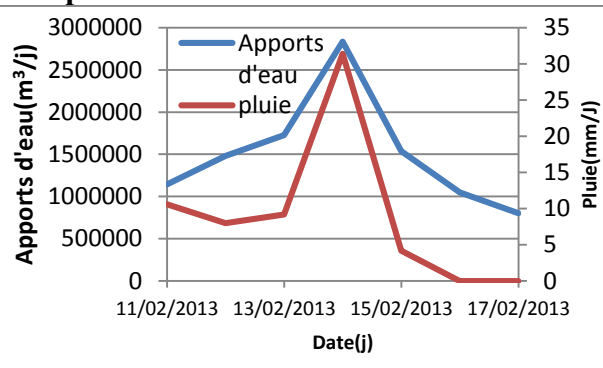
**Episode 2 : 31/01/2013 au 6/02/2013**



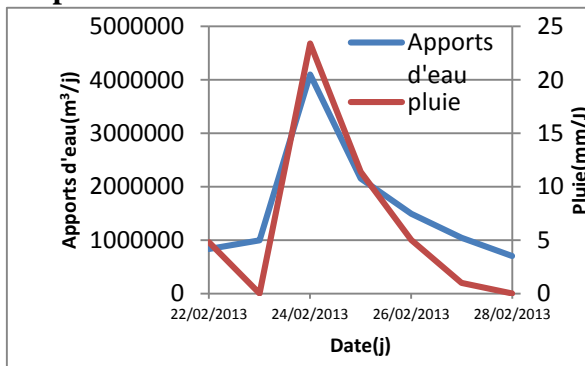
**Episode 3 : 6/02/2013 au 11/02/2013**



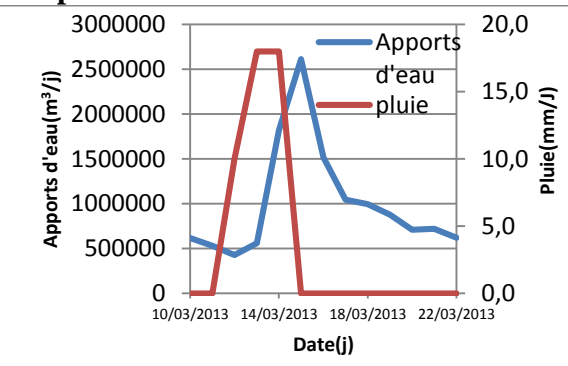
**Episode 4 : 11/02/2013 au 17/02/2013**



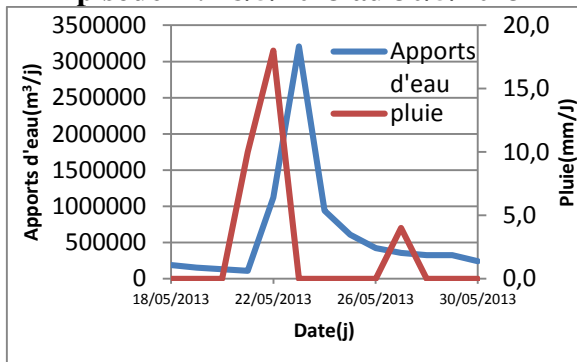
**Episode 5 : 22/02/2013 au 28/02/2013**



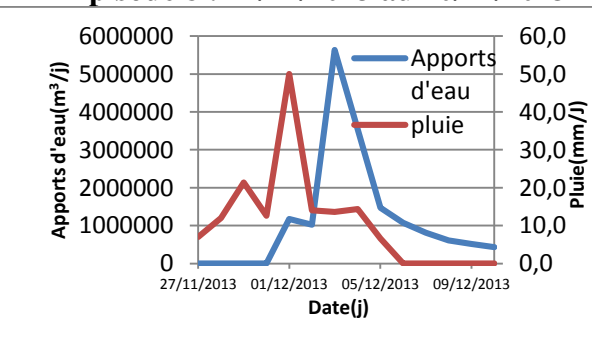
**Episode 6 : 10/03/2013 au 22/03/2013**



**Episode 7 : 18/5/2013 au 30/5/2013**



**Episode 8 : 27/11/2013 au 10/12/2013**



**Figure 31 : Evolution des apports d'eau en fonction des précipitations (année 2013) ainsi que 8 épisodes pluvieux**

## Chapitre V : Modélisation hydrologique

Ces épisodes montrent une bonne corrélation entre les pluies et les apports d'eau, toutefois, on constate que :

- Pendant la période de janvier à février, les cinq épisodes (1, 2, 3, 4 et 5) présentent une évolution simultanée entre la pluie et les apports d'eau ou un temps de retard inférieure à 1 jour qu'on ne peut pas le détecter avec notre pas de temps
- Pendant la période de fin février à décembre, on observe un temps de retard d'un jour, pour les trois épisodes (6, 7 et 8). Cela revient au fait du non saturation du sol.

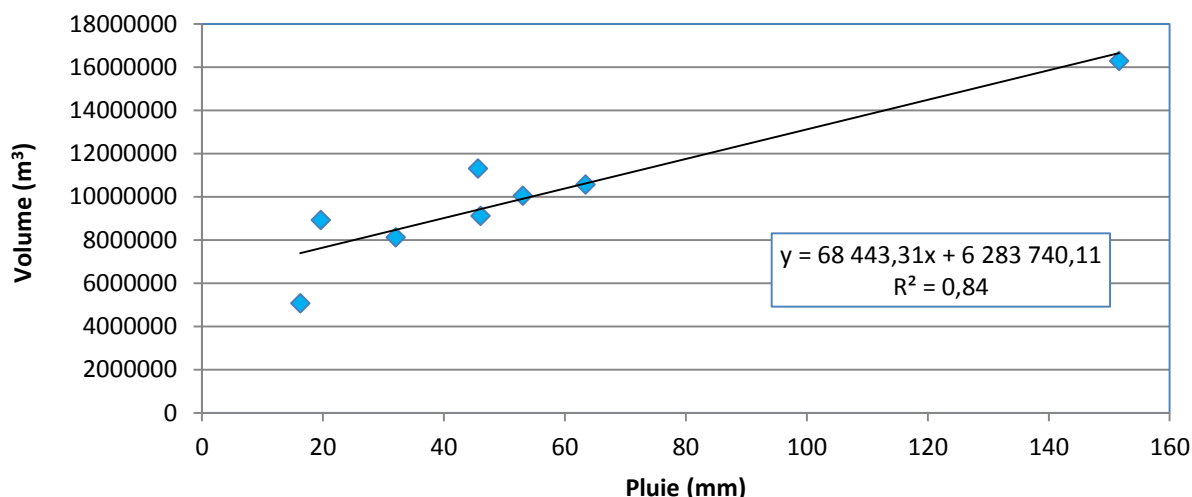
### V.2.4. Détermination de la relation pluie – ruissellement

Pour trouver la relation entre la pluie et le ruissellement, nous avons travaillé à l'échelle de l'épisode pluvieux. Volume cumulé des affluents (ruissellement) en fonction des pluies cumulées.

**Tableau 11 : Le volume ruisselé et les pluies cumulées des épisodes pluvieux**

Episodes	Début	Fin	Pluie cumulé (mm)	Volume cumulé (m <sup>3</sup> )
1	17/01/2013	20/01/2013	16.20	5 077 987
2	31/01/2013	06/02/2013	19.60	8 926 532
3	06/02/2013	11/02/2013	53.00	10 066 888
4	11/02/2013	17/02/2013	63.40	10 576 489
5	22/02/2013	28/02/2013	45.60	11 320 114
6	10/03/2013	22/03/2013	46.00	9 129 849
7	18/05/2013	30/05/2013	32.00	8 133 359
8	27/11/2013	10/12/2013	151.60	16 291 376

La corrélation entre le volume cumulé des affluents (ruissellement) et des pluies lors des épisodes pluvieux, nous a permis de trouver une relation en linéaire entre les deux paramètres (figure 32)



**Figure 32 : corrélation entre le volume des affluents (ruisselé) et la pluie**

La formule expérimentale de cette équation pour calculer le volume ruisselé est :

$$\text{Volume (m}^3\text{)} = 68443.31 * \text{pluie} + 6283740.11$$

Où : Le volume ruisselé est en m<sup>3</sup> et la pluie en mm

L'estimation de la lame d'eau ruisselée (R) est donnée par la formule suivante :

$$R = \text{Volume ruisselé} / \text{superficie du BV}$$

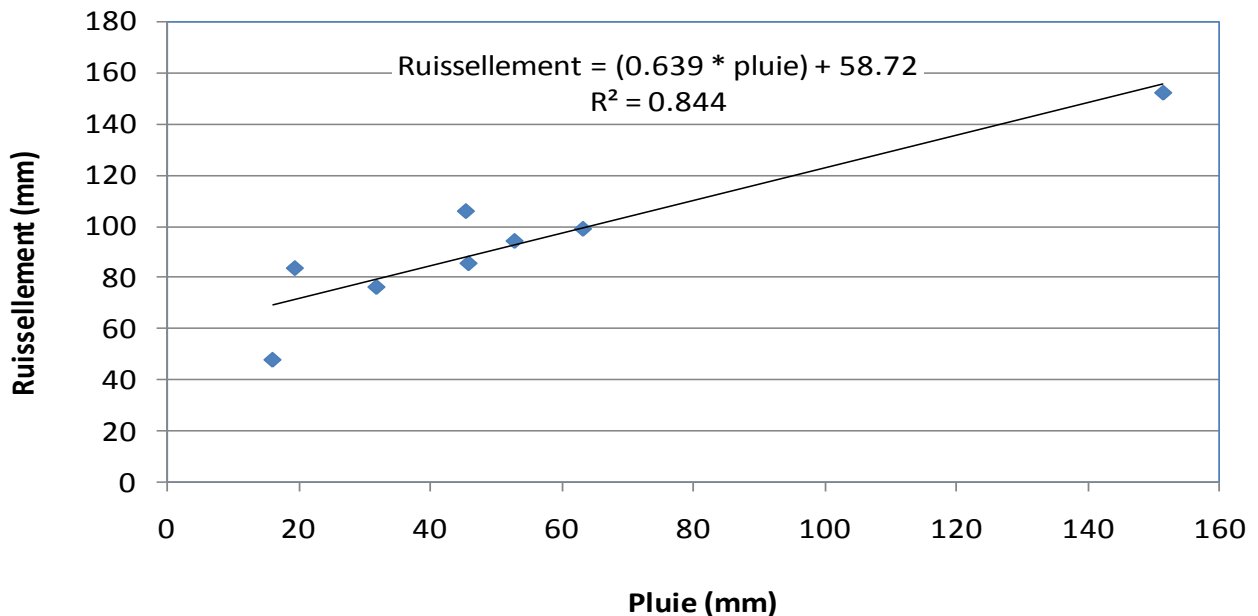
Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 12 : Hauteur d'eau ruisselée lors des épisodes pluvieux**

Fin	Volume cumulé (m <sup>3</sup> )	Superficie du BV (m <sup>2</sup> )	Hauteur d'eau ruisselée (mm)	Pluie cumulée (mm)
20/01/2013	5 077 987	107 000 000	47.46	16.20
06/02/2013	8 926 532		83.43	19.60
11/02/2013	10 066 888		94.08	53.00
17/02/2013	10 576 489		98.85	63.40
28/02/2013	11 320 114		105.80	45.60
22/03/2013	9 129 849		85.33	46.00
30/05/2013	8 133 359		76.01	32.00
10/12/2013	16 291 376		152.26	151.60



La comparaison entre les hauteurs d'eau de pluie et les hauteurs d'eau ruisselées lors des épisodes pluvieux montre des valeurs du ruissellement supérieures à la pluie, cela peut indiquer l'existence d'autres apports d'eau souterraines (sources, suintement...) proviennent du bassin versant de Kissir ou de l'extérieur.



**Figure 33 : corrélation entre la hauteur d'eau ruisselée et la pluie lors les épisodes pluvieux.**

### V.2.5. Comparaison entre le ruissellement calculé par la formule de de Tixéront Berkalouff et par la modélisation expérimentale

L'utilisation de l'équation expérimentale suivante qui relie le ruissellement aux pluies, nous a permis d'obtenir une valeur de 791.48mm soit 69.02 %

$$\text{Ruissellement} = (0.639 * \text{pluie}) + 58.72$$

La comparaison des valeurs du ruissellement obtenu par la modélisation expérimentale et la méthode de Tixéront Berkalouff (502,65mm soit 43.83) montre une différence de 288.83 mm soit 25 (%).

Cette différence est petit peu importante et cela revient au fait des apports d'eau souterraines qui ne sont pas pris en compte par la méthode de Tixéront Berkalouff.

### V.2.6. Conclusion

Cette modélisation expérimentale nous a permis de trouver une relation linéaire pour estimer le ruissellement en fonction des pluies. Elle nous a permis aussi de mettre en évidence l'existence d'autres apports souterrains liés soit à l'existence des sources souterraines ou une connexion du bassin versant hydrologique avec d'autre bassin versants voisins.

La comparaison entre les valeurs de la modélisation expérimentale et celles de la méthode de Tixeront Berkalouff montre l'intérêt de la méthode expérimentale d'intégrer les apports des eaux souterraines qui ne sont pas pris en compte dans la méthode de Tixeront Berkaloff.

### V.3. Modélisation à l'aide du RNA du ruissellement

#### V.3.1. Introduction

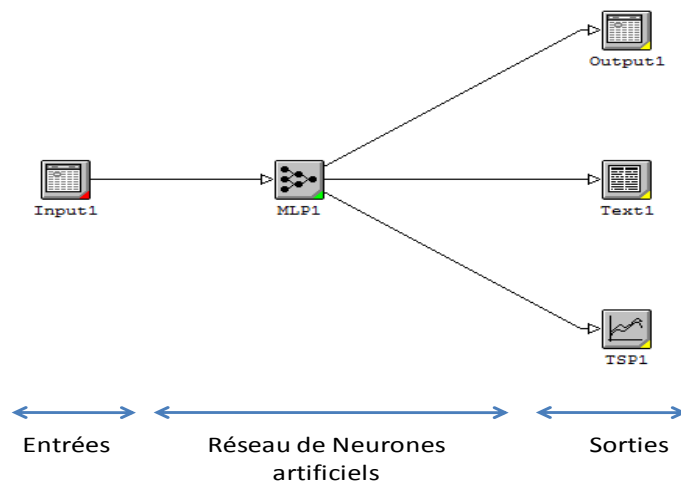
Les réseaux de neurones font partie de la catégorie des modèles « boîtes noires ». Ils ont été bâtis en s'inspirant de systèmes nerveux biologiques mais c'est en s'éloignant de cette inspiration biologique pour prendre une tournure purement mathématique que les réseaux de neurones ont connu un essor.

Ils sont utilisés en hydrologie pour prédire les variations de débits des rivières au sein de leur bassin versant, pour traiter les problèmes de pollution des sols ou encore pour décrire le comportement d'un bassin versant.

C'est un outil efficace pour décrire les relations entrées-sorties d'un bassin versant, mais demeure une boîte noire en ce qui concerne la dynamique du système.

#### V.3.2. Construction d'un réseau de neurones

Pour modéliser les apports d'eau du bassin versant de Kissir, nous avons utilisé le réseau des neurones artificiels (RNA), car plusieurs paramètres physiques et hydrologiques intervenants l'écoulement de l'eau et ne disposent pas de leurs valeurs sur l'ensemble du BV. Par cette modélisation, nous avons utilisé le logiciel Neural Connection (version 2.1.) pour modéliser les sorties en fonction des entrées (figure 34).



**Figure 34 : Schéma conceptuel des fonctions de logiciel Neural Connection 2.1**

Pour construire le réseau de neurones, nous avons passé par 4 étapes principales :

- Choix des variable d'entré et de sortie ;
- Sélection des variables d'entrée pertinentes et la fonction d'activation ;
- Choix du nombre de neurones ;
- Choix du nombre des couches.

### V.3.2.1. Choix les variable d'entré et de sortie

Au début de ce travail de modélisation, nous avons sélectionné tous les variables qui peuvent intervenir dans le calcul des apports d'eau du barrage et qui on peut les classées en deux catégories :

- Variables d'entrés : la pluie, le débit de pompage (irrigation et AEP), l'évaporation, les lâchées d'eaux, le volume évacué et la variation journalière du volume d'eau du barrage (différence des côtes). Tous ces variables entrants dans le calcul des apports d'eau (voir le paragraphe V.2.2 – modélisation expérimentale) ;
- Les variable de sorties sont les apports d'eaux (apports d'eau du barrage).

Un extrait du tableau des données est présenté dans le tableau 13

**Tableau 13 : les variables d'entrées et de sortie utilisées pour la modélisation des apports d'eau du BV de Kissir (2013)**

Float	I	Float	I	Float	I	Float	I	Float	I	Float	I	Float	T
pluie		débit		évaporation		AEP		Lachées		V évacué		Diff de cote	affluent
0.0		1.607876		4000.0		57049.0		0.0		155575.0		121000.0	337624.0
0.0		1.964448		5952.0		45612.0		0.0		154324.41276		31000.0	236888.41276
16.99999		3.608922		1368.0		52981.0		0.0		240769.567842		121000.0	416118.567842
0.2		2.7454		3828.0		56214.0		0.0		274506.67568		-61000.0	273548.67568
1.6		2.7454		2430.0		51365.0		0.0		237202.529159		0.0	290997.529159
7.989744		1.964448		5587.0		50234.0		0.0		203465.421321		-60000.0	199286.421321
0.0		1.607876		6406.0		58043.0		0.0		154324.41276		-31000.0	187773.41276
7.989744		1.275946		6587.0		58058.0		0.0		124581.142725		-30000.0	159226.142725
0.0		0.970645		5311.0		46808.0		0.0		97052.765927		-31000.0	118171.765927
0.0		0.970645		6160.0		50127.0		0.0		83863.758441		0.0	140150.758441
0.0		0.694537		7221.0		54849.0		0.0		71935.889576		-30000.0	104005.889576
0.0		0.694537		5429.0		55149.0		0.0		60008.020711		0.0	120586.020711
0.0		0.694537		5734.0		51886.0		0.0		60008.020711		0.0	117628.020711
0.0		1.964448		6984.0		56712.0		0.0		114868.167097		122000.0	300564.167097
39.00008		15.715585		4394.0		60190.0		0.0		763777.410672		729000.0	1557361.410672
6.399998		18.752506		7942.0		68000.0		0.0		1489021.533536		122000.0	1686963.533536
4.0		11.509742		7590.0		61733.0		0.0		1307329.141048		-304000.0	1072652.141048
10.79999		23.630859		4220.0		64512.0		0.0		1518073.969339		487000.0	2073805.969339
1.4		12.86301		6038.0		62996.0		0.0		1576535.156048		-426000.0	1219569.156048
0.0		7.765163		8798.0		56025.0		0.0		891137.081917		-244000.0	711960.081917
5.199999		6.630012		9129.0		63958.0		0.0		621871.562767		-60000.0	634958.562767
4.0		8.35477		6638.0		57292.0		0.0		647342.606597		91000.0	802272.606597
1.4		6.630012		5234.0		64829.0		0.0		647342.606597		-91000.0	626405.606597
11.19999		18.752506		5559.0		65230.0		0.0		1096524.808607		547000.0	1714313.808607
7.599998		38.348428		7488.0		62150.0		0.0		2466760.359336		675000.0	3211398.359336
10.39999		24.479822		5567.0		62510.0		0.0		2714180.391704		-461000.0	2321257.391704
11.19999		25.338715		5324.0		67839.0		0.0		2152160.802088		31000.0	2256323.802088
0.4		14.265515		6406.0		56637.0		0.0		1710902.738395		-428000.0	1345945.738395
10.79999		17.211707		5862.0		46145.0		0.0		1359815.997686		122000.0	1533822.997686
0.0		11.509742		8350.0		42800.0		0.0		1240766.610849		-243000.0	1048916.610849

I : Entrée (input) ;  
T : Sortie (out put).

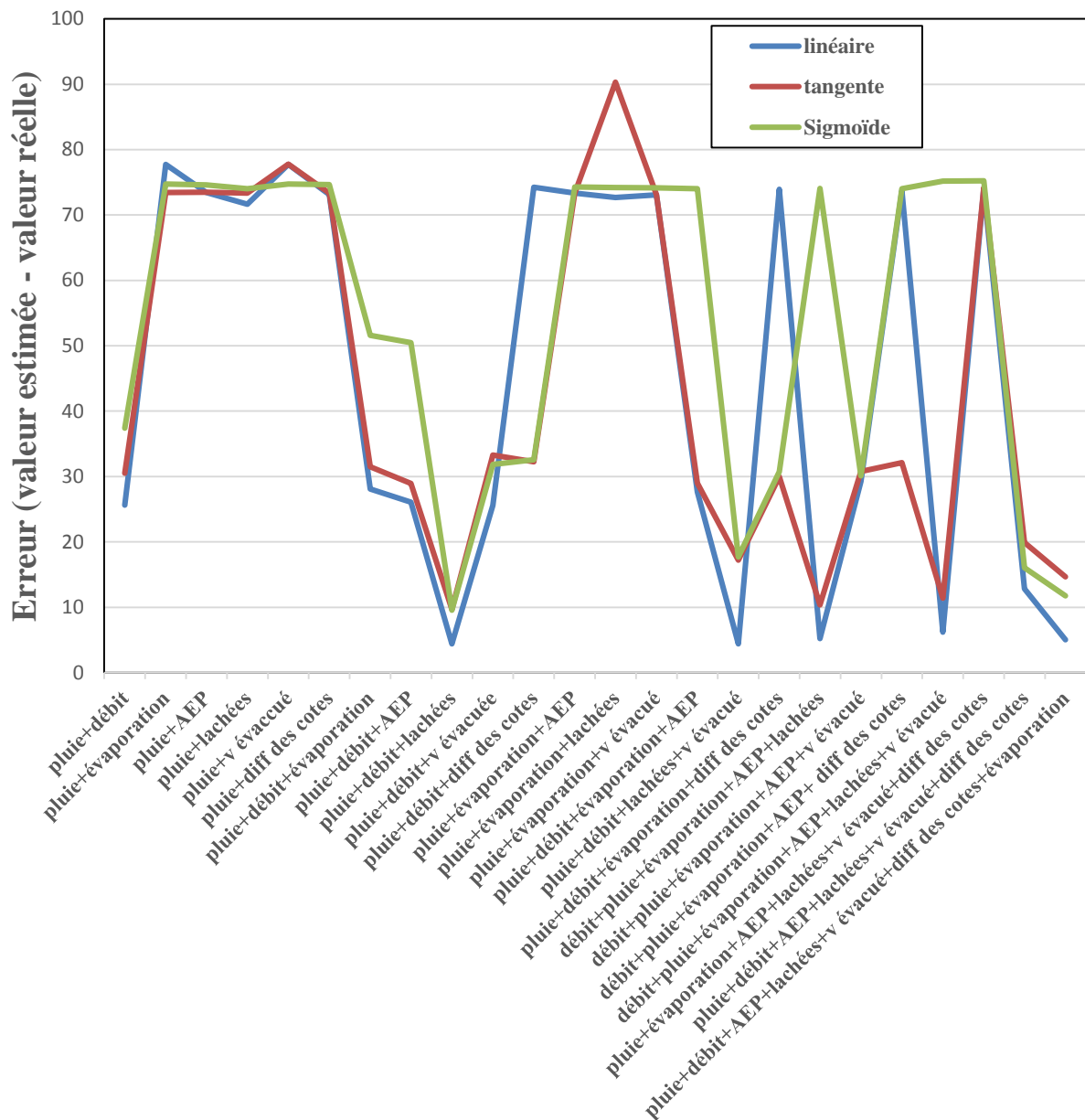
### V.3.2.2. Sélection des variables d'entrée pertinentes et la fonction d'activation

L'efficacité du réseau des neurones dans la prévision des apports d'eau dépend du bon choix des variables d'entrées et qui ont une influence sur la sortie. Beaucoup de variables dans l'entrée influe négativement sur l'estimation ou la prévision de la sortie. Pour cela dans cette partie, nous avons choisis plusieurs combinaisons entre les variables d'entrée et aussi la fonction d'activation (linéaire, tangente, sigmoïde), puis nous avons estimé la sortie (apport d'eau du barrage) pour chaque combinaison (voir tableau 14 et la figure 35). Pour choisir la meilleure combinaison, nous avons calculé l'erreur (valeur estimée – valeur calculé) et on choisit la combinaison qui présente l'erreur la plus faible.

D'après les résultats obtenus (figure 35), on constate que la combinaison des variables qui présente moins d'erreur est celle des variables pluies, débits et les lâchées d'eau et que la fonction d'activation la plus pertinente est linéaire avec une erreur de 4.39.

**Tableau 14 : les calculs d'erreur (en %) selon la fonction d'activation**

Les variables	Fonction d'activation		
	linéaire	tangente	Sigmoïde
Pluie, débit	25.63	30.49	37.38
Pluie, évaporation	77.75	73.46	74.75
Pluie, AEP	73.45	73.50	74.62
Pluie, lâchées	71.65	73.37	74.02
Pluie, volume évacué	77.75	77.77	74.75
Pluie, diff des cotes	73.11	73.34	74.66
Pluie, débit, évaporation	28.07	31.51	51.60
Pluie, débit, AEP	26.07	28.94	50.50
Pluie, débit, lâchées	4.39	9.70	9.54
Pluie, débit, v évacuées	25.57	33.28	31.87
Pluie, débit, diff des cotes	74.23	32.25	32.58
Pluie, évaporation, AEP	73.34	73.37	74.30
Pluie, évaporation, lâchées	72.66	90.30	74.18
Pluie, évaporation, v évacué	73.08	73.14	74.16
Pluie, débit, évaporation, AEP	27.65	28.97	74.00
Pluie, débit, lâchées, v évacué	4.42	17.19	17.70
Pluie, débit, évaporation , diff des cotes	73.93	29.97	30.74
Débit, pluie, évaporation , AEP, lâchées	5.22	10.38	74.05
Débit, pluie, évaporation , AEP, v évacué	29.25	30.79	30.09
Débit, pluie, évaporation , AEP, diff des cotes	73.70	32.14	74.02
Débit, pluie, évaporation, AEP , lâchées, v évacué	6.22	11.39	75.20
Pluie, évaporation, AEP, lâchées , v évacué, diff des cotes	74.08	74.21	75.21
Pluie, débit, AEP, lâchées, v évacué, diff des cotes	12.85	19.90	16.05
Pluie, débit, AEP, lâchées, v évacué, diff des cotes, évaporation	5.03	14.65	11.77



### Combinaison des variables d'entrée

**Figure 35 : Erreur d'estimation de la sortie en fonction des combinaisons des variables d'entrée et des trois fonctions d'activations**

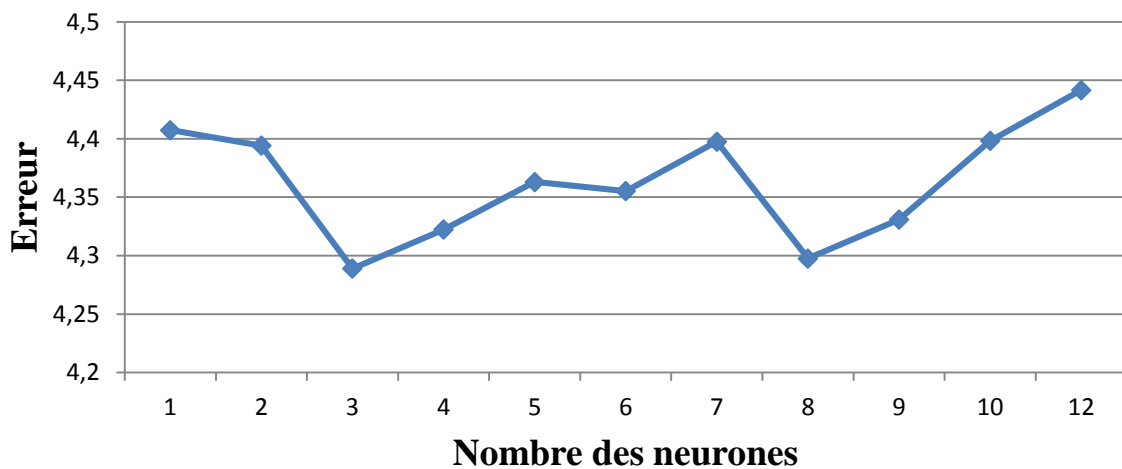
### V.3.2.3. Choix du nombre de neurones

Le choix du nombre de neurones dans la couche est un point très délicat pour l'optimisation de l'architecture neuronale. Il faut en effet trouver le juste milieu avec une faible erreur.

Pour atteindre cet objectif, nous avons pris la combinaison des trois variable d'entrée et la fonction linéaire qui ont présenté moins d'erreur dans l'estimation des apports d'eau puis on a testé le nombre des neurones en les changeant de 1 jusqu'à 12. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 15 et la figure 36.

**Tableau 15 : Erreur de l'estimation de la sortie en fonction du nombre des neurones**

Nom de variable	Fonction d'activation	Nombre de neurones	Erreur
Pluie+débit+lâchées	Linéaire	1	4.41
		2	4.39
		3	4.29
		4	4.32
		5	4.36
		6	4.36
		7	4.40
		8	4.30
		9	4.33
		10	4.40
		12	4.44



**Figure 36 : Evolution de l'erreur d'estimation en fonction du nombre des neurones**

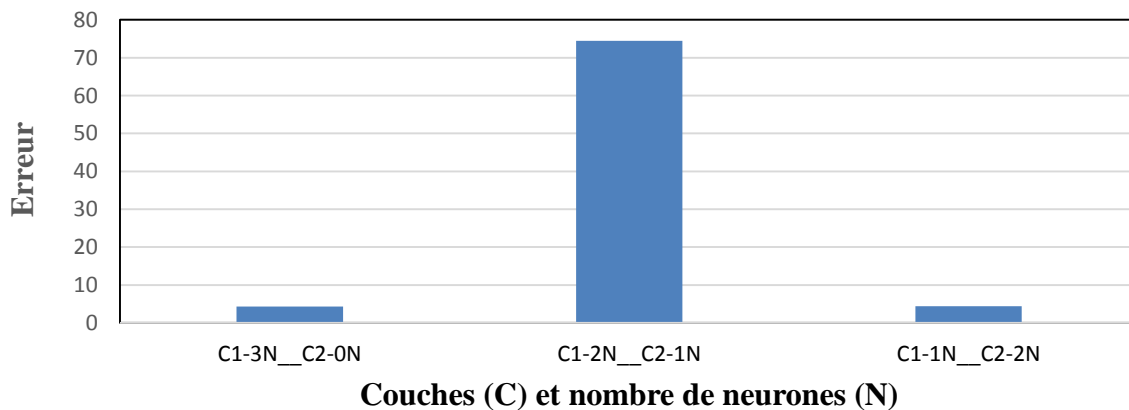
D'après les résultats obtenus, on constate que le nombre optimal des neurones est de 3 avec une erreur de 4.28.

### V.3.2.4. Choix du nombre des couches

Les neurones sont positionnées dans des couches et la manière de les positionnées dans une couche ou plusieurs couches peut influencer sur les valeurs estimées. Pour cela nous avons aussi testé trois variantes possibles (différents On peut décomposer le nombre du neurone en deux couches pour données des bons résultats diminuer l'erreur entre les variable d'entré et les variables de sorties. (Tableau 16 et figure 37)

**Tableau 16 : les calculs des erreurs selon les deux couches**

Couche – Nombre de neurones	Erreur
Couche 1 : 3 neurones	4,288915
Couche 2 : 0 neurones	
Couche 1 : 2 neurones	74,440873
Couche 2 : 1 neurones	
Couche 1 : 1 neurones	4,403025
Couche 2 : 2 neurones	



**Figure37 : Evolution des erreurs en fonction du nombre des couches et des neurones**

D'après les résultats obtenus, on constate que l'erreur la plus faible entre les variables d'entrés et de sorties c'est lorsque on dépose trois neurones dans une seule couche.



## V.3.3. Configuration du logiciel

### V.3.3.1. Allocation et traitement des données

Pour réaliser cette modélisation, nous avons utilisé l'allocation standard du logiciel pour les données, c'est-à-dire 80 % des données pour l'apprentissage, 10 % pour la validation et 10% pour le test (figure 38). Le traitement des données est fait selon un ordre séquentiel.

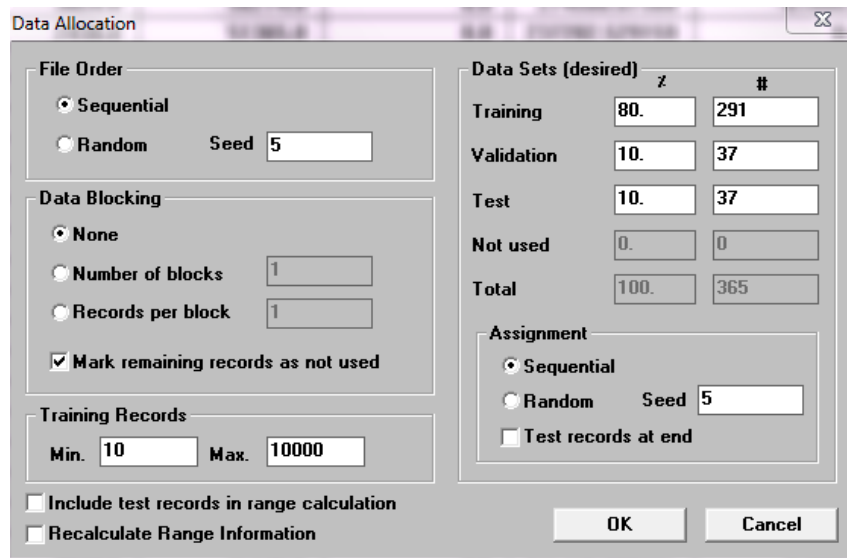


Figure 38 : allocation et traitement des données

### V.3.3.2. Apprentissage et calcul

L'algorithme utilisé pour l'apprentissage est la méthode du gradient conjugué. L'erreur considérée acceptable pour arrêter le calcul est de 0.001, c'est-à-dire qu'il y a 95% des valeurs juste.

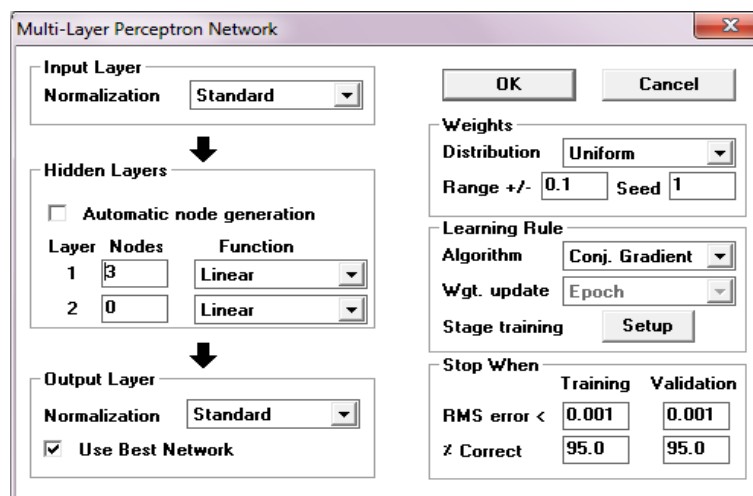


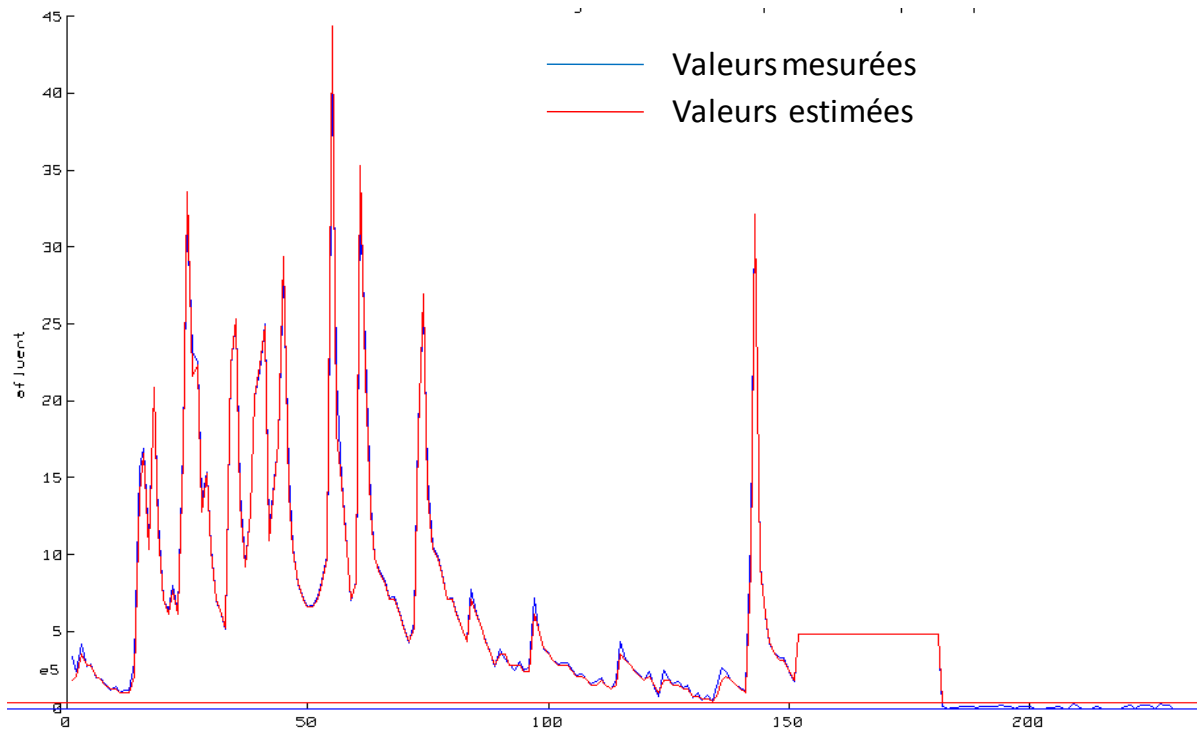
Figure 39 : Apprentissage et erreur du calcul

## V.3.4. Résultats

Les résultats obtenus sont illustrés dans les deux figures suivantes :

### V.3.4.1. Apprentissage et validation des données

Les valeurs estimées des deux sous bases de données (apprentissage et validation) sont présentées dans la figure suivante.

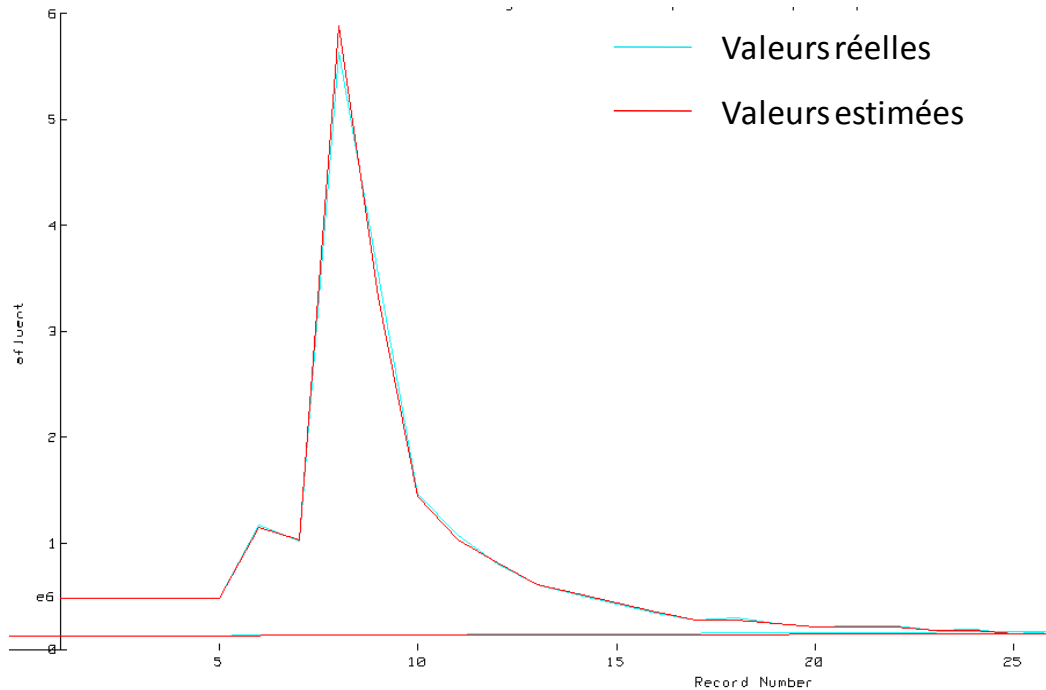


**Figure 40 : Comparaison de la courbe estimée et réelle des sous bases de données (apprentissage et validation)**

Cette figure montre un bon calage entre les valeurs mesurées et estimées dans la base de données de l'apprentissage et de validation.

### V.3.4.2. Test

Les résultats de la simulation de la sous base de données de test sont présentés dans la figure suivante.



**Figure 41 : Comparaison de la courbe estimée et réelle de la sous base de données de test**

Cette figure montre une bonne simulation des apports d'eau du bassin versant. Cela indiquera la capacité du réseau de neurones sur la prédiction des données.

### V.3.5. Conclusion

Cette modélisation par le réseau de neurones artificiels a montré que les variables d'entrée les plus pertinentes sont les pluies, les débits et les lâchées d'eau du barrage. La fonction d'activation la plus adoptée à nos données est la fonction linéaire et le nombre de neurones le plus optimal pour cette estimation est de 3.

La comparaison des données estimées et mesurées pour les trois sous bases de données (apprentissage, validation, test) montre une bonne corrélation.

# Conclusion générale

La wilaya de Jijel est caractérisée par une pluviométrie élevée (1200 mm/an), un climat de type méditerranéen (doux en hiver, chaud et sec en été) et une richesse en eaux surface. Le réseau hydrographique est très dense (oued Kissir, oued El Kébir, oued Nil, oued Djen-Djen, oued Mencha...) sur l'ensemble de la région.

Le bassin versant de Kissir a été choisi pour étudier et modéliser le fonctionnement hydrologique des eaux de surface.

L'étude hydroclimatologique du bassin versant de l'oued Kissir montre une précipitation d'environ 1 146,73 mm et une température moyenne mensuelle de 18.38 °C. Le calcul du bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite montre 506.98 mm des eaux de pluie partent sous forme d'évapotranspiration, 502,65 mm de ruissèlement soit 43,83% des précipitations et 137,10 mm d'infiltration soit 11.96% des précipitations.

L'analyse de l'évolution des apports d'eau du barrage et des précipitations lors des épisodes pluvieux montre un pas temps de retard qui ne dépasse pas 1 jour.

L'estimation des apports d'eau des oueds est faite en utilisant la lame d'eau ruisselée. Cette dernière est souvent estimée par des formules empiriques qui ne prennent pas en compte les particularités de chaque bassin versant. Pour vérifier leur exactitude ce travail de modélisation a été mené ;

- La modélisation expérimentale du ruissellement en fonction des précipitations montre l'existence d'une relation linéaire entre les deux sur l'échelle des épisodes pluvieux ;

La comparaison entre les valeurs estimées par la modélisation expérimentale (791,48mm) et la méthode de Tixeront Berkalouff (502,65mm) montre une différence de 288,83mm. Cela indique une sous-estimation du ruissellement par la méthode de Tixeront Berkalouff, due au fait que cette dernière ne prend pas en compte les apports des eaux souterraines. De ce fait on conclut l'efficacité de la modélisation expérimentale.

- La modélisation stochastique de ruissellement en utilisation le réseau de neurones artificiels montre des bons résultats et une superposition des valeurs estimés et mesurées. Cela indique la capacité de la modélisation statistique à prévoir le

ruissellement en utilisant seulement les précipitations, le débit de pompage et les lâchées d'eau.

Cette étude est très utile pour prévoir les apports d'eau du barrage et elle à plusieurs applications socio-économiques : Dimensionnement des infrastructures (barrage, pont, ...), prévision des inondations etc.

# *Références bibliographiques*

## *A*

**Abdi I., Meddi M. (2015) :** Modélisation pluie-débit distribuée dans deux bassins versants de l'EST de l'Algérie, Blida, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, pp. 7-22.

**Ambroise B. (1991).** Hydrologie des petits bassins versants ruraux en milieu tempéré-Processus et modèles. Séminaire « Les Flux dans les Volumes Pédologiques et à leurs Limites : Approches à l'Échelle Spatiale du Bassin Versant » du Conseil Scientifique du département « Science du Sol» de l'INRA, Dijon, 26-27/03/1991. CEREG, Strasbourg, 53 p.

**Ambroise B. (1998) :** Genèse des débits dans les petits bassins versants ruraux en milieu tempéré.2 : modélisation systémique et dynamique. Rev. Sci. Eau, 12 (1), 123-153.

**Ambroise B. (1999) :** La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant, processus, facteurs, Modèles-H\*G\*A, Bucarest, 200 p.

## *B*

**Baléo J.N, Bourges B, Courcoux Ph, Faur-Brasquet C et Le Cloirec P. (2003) :** Méthodologie expérimentale : méthodes et outils pour les expérimentations scientifiques, Paris, 294p.

**Bouanani R. (2010) :** Modélisation de la fonction pluie - débit. Application au bassin versant de la Tafna (NW - Algérien), Mémoire pour l'obtention du diplôme du magister de ressources en eau dans leur environnement, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, faculté des sciences de la nature de la vie et des sciences de la terre et de l'univers, laboratoire ressources hydriques, minières et pédologiques, 12, 26,27p.

**Boukerroum M, Ghemit Y. (2016) :** Potentialités et qualité des eaux de surface de la wilaya de Jijel (NE algérien), En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en Géologie, Université Mohamed Seddik Ben Yahia –Jijel, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, département des Sciences de la Terre et de l'Univers.

**Boulkhiout F, Bouchemella W. (2006) :** Contribution à l'étude hydrogéologique et géotechnique du barrage de Kissir, Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en géologie, Université Mohamed Seddik Ben Yahia –Jijel, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, département des Sciences de la Terre et de l'Univers.

**Branly N.N. (2011) :** Contribution à l'étude de variation du débit du fleuve Congo. Cas du bassin versant du Kassaà , Université de Kinshasa ,Département de gestion des ressources naturelles,chap1.

## D

**Debieche T.H, Boukarroum M et Ghemit Y. (2016) :** Estimation du ruissellement à partir des apports d'eau des barrage. Application au barrage de Kissir (wilaya de jijel, NE algérien), 2<sup>nd</sup> International Conference on Water Rousources (ICWR), Exploitation and valorisation. Université Kasdi Merbeh, Ouargla, 1-4 p.

**Djellit H. (1987) :** évaluation tectono-métamorphique du socle kabyle polarité de mise en place des nappes de flysch en petite Kabylie occidentale (Algérie), thèse pour obtenir le titre de docteur en sciences de l'université paris XI, spécialité sciences de la terre, 9-10-12-13p.

**Durand-Delga M. (1969) :** mise au point sur la structure du Nord- Est de la berbérie. Bul.Serv. Carte Géol. Algérie, N.S., 39 ,89-131p.

## E

**Ehramann M.F. (1926) :** carte géologique El Milia feuille N°=29.

## G

**Gaume E. (2002) :** Un parcours dans l'étude des phénomènes extrêmes en hydrologies. *Mém. H.D.R.*, Ecole National des Ponts et Chaussées. 269 p.

**Gnouma A. (2006) :** aide à la calibration d'un modèle hydrologique distribué au moyen d'une analyse des processus hydrologique : application au bassin versant de l'Yzeron, Génie civil, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, 29p.

## L

**Ledoux E, Rouquet S. (2010) :** Etat des lieux sur la modélisation hydrologique et hydrogéologique et applicabilité dans le cadre de projets européens, Centre de Géosciences, École des Mines de Paris, 7p.

## M

**Maidment D.R. (1992):** Hydrology. *In: Applied Hydrology*, D. R. Maidment *Ed.*, McGraw Hill, New York, 1412 p.

**Mourad M. (2005) :** Modélisation de la qualité des rejets urbains de temps de pluie : Sensibilité aux données expérimentales et adéquation aux besoins opérationnels. Thèse : Formation doctorale, Génie civile ; Ecole doctorale : MEGA-Mécanique, Energétique, Génie civile, Acoustique, 32 p.

**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, Cemagref, ENGREF, 323 p.

**Musy A. (2005) :** Hydrologie générale, Section GREM et GC, Teaching doucement EPFL, Lausanne.

## *N*

**Nigrin A. (1993):** «*Neural Networks for Pattern Recognition*», Cambridge, MA: The MIT Press, 11 p.

## *P*

**Palacio M. (2008) :** Modélisation hydrologique distribuée des espaces périurbains basés sur l'analyse des données géographiques vectorielles. Application au bassin versant de la chézine. Master's thesis, Ecole Centrale de Nantes, 154 p.

**Penman H.L. (1961):**"Weather, plant and soil factors in hydrology." *Weather*, 16: 207-219.

**Payraudeau S. (2002) :** Modélisation distribuée des flux d'azote sur des petits bassins versants méditerranéens. Thèse ENGREF de Montpellier, Spécialité science de l'eau, 255p.

## *S*

**Singh V.P. (1995):** Watershed modeling. In: Singh P., ed. *Computer models of watershed hydrology*, Colorado, USA: Water Resources Publications, Highlands Ranch, 1-22 p.

## *T*

**Todini E. (1988):** Rainfall-runoff modeling: past, present and future, *J. Hydrol.*, Vol. 100, Issues 1-3, 341-352 p.

## **Rapport**

**Enhyd (Serbie) . (1995) :**Avant-projet détaillé du barrage de kissir, rapport de synthèses.

## **Site web**

**Site web 1:**<http://systemes-meca-actifs.pagesperso-orange.fr/5-RN/2-IntroRN/IntroRN.xhtml>.

**Site web 2:** <http://informatique.coursgratuits.net/methodes-numeriques/reseaux-de-neurones-formels.ph>.

**Site web 3:** <http://slideplayer.fr/slide/5489483>.

**Site web 4 :**( Google Earth, 2017).

**Site web 5 :** [Jijel –echo.com/La géologie-de-la-region-de-Jijel.html](http://Jijel-echo.com/La_géologie-de-la-region-de-Jijel.html).



## Résumé

Le ruissellement est un paramètre très important pour déterminer le bilan hydrologique et estimer les apports d'eau des oueds. Jusqu'à l'heure actuelle aucune formule expérimentale n'a été proposée pour estimer le débit des oueds, d'où l'intérêt de cette étude.

La wilaya de Jijel (Nord-est Algérien) est caractérisée par un réseau hydrographique très dense (oued Kissir, oued El Kébir, oued Nil, oued Djen-Djen, oued Mencha).

Le bassin versant de l'Oued kissir (107 Km<sup>2</sup>) a fait l'objet d'une étude et modélisation du fonctionnement hydrologique.

L'analyse hydrologique de l'évolution des pluies et des apports d'eau du BV de oued kissir montre un temps de retard qui ne dépasse pas une journée et une similitude entre leur évolution au niveau des épisodes pluvieux. La modélisation expérimentale des apports d'eau en fonction des pluies lors des épisodes pluvieux montre une bonne corrélation entre eux et avec un bon coefficient de corrélation ( $r^2 = 0.84$ ).

La modélisation statistique (réseau de neurones artificiels) des apports d'eau en fonction des pluies, du débit de pompage et du volume d'eau évacué à l'échelle journalière montre une bonne relation et même une superposition des valeurs estimées et mesurées. Indiquant l'efficacité de cette approche statistique à trouver la relation entre ces paramètres hydrologiques.

Pour des performances meilleures, d'autres approches de modélisation sont souhaitable, tel que la modélisation déterministe.

Mots clés : ruissellement, pluie, modélisation, barrage, Kissir, Jijel, RNA

## المخلص

الجريان السطحي هو معيار مهم لتحديد توازن الماء وتدفقات الأودية. حتى الآن لم يتم اقتراح الصيغة التجريبية لتقدير تدفق الأودية، ومن هنا تأتي أهمية هذه الدراسة.

ولاية جيجل (شرق الجزائر) تتميز بنظام نهر كثيف جداً، (وادي كسير، وادي الكبير، ونهر النيل، ووادي جين-جين، وادي منتشا).

مستجمعات المياه في وادي كسير (107 كم<sup>2</sup>) هو موضوع دراسة ونمذجة الأداء الهيدرولوجية. التحليل الهيدرولوجي لتطور هطول الأمطار والتدفقات لمستجمعات المياه لوادي كسير يظهر تأخير الوقت لا يزيد عن يوم واحد والتشابه بين تطورها في الفترات الممطرة.

النمذجة التجريبية لإمدادات المياه اعتماداً على مياه الأمطار خلال الفترات الممطرة يظهر وجود علاقة جيدة بينهما مع وجود معامل ارتباط جيد ( $r^2 = 0.84$ )

النمذجة الإحصائية (الشبكة العصبية الاصطناعية) للتدفقات بناء على هطول الأمطار، ومعدل الضخ وحجم المياه المستهلكة للجدول اليومي يظهر علاقة جيدة وحتى تراكم القيم المقدره وقياسها. مما يدل على فعالية هذا المنهج الإحصائي للعثور على العلاقة بين هذه المعايير الهيدرولوجية.

للحصول على أفضل أداء، ونهج النمذجة أخرى مرغوبة، مثل النمذجة القطعية. الكلمات الرئيسية: الجريان السطحي، المطر، والنمذجة، السد، كسير، جيجل، ش ع.ا.

## Abstract

The runoff is a very important parameter for determining the water balance and estimate the supply of water of wadis. To date no experimental formula has been proposed to estimate flow of wadis, where the interest of this study.

The wilaya of Jijel (Northeast Algerian) is characterized by a very dense River system, (Wadi Kissir, oued El Kebir, River Nile, Wadi Djen-Djen, Wadi Mencha).

The watershed of Wadi kissir (107 Km<sup>2</sup>) is the object of study and modelling of the hydrological functioning.

Hydrological analysis of evolution of rainfall and water supply shows a delay time, which does not exceed a day and a similarity between their evolution at the level of the rainy episodes.

Experimental modeling of water supply based on rainfall during the rainy episodes shows a good correlation between them and with a good correlation coefficient ( $r^2 = 0.84$ ).

Statistical modeling water supplies depending on the rains flow of pumping and the evacuated across the daily volume of water (artificial neural network) shows a good relationship and even a superposition of the estimated and measured values. Indicating the effectiveness of this statistical approach to find the relationship between these hydrological parameters.

For best performance, other modelling approaches are desirable, such as deterministic modelling.

**Key words:** runoff, rain, modeling, dam, Kissir, Jijel, ANN