

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA 1**

**Faculté de Technologie**  
**Département des Sciences de l'Eau et Environnement**

**MEMOIRE DE MASTER**

**Filière : Hydraulique**

**Spécialité : Ressources Hydrauliques**

**Prévision des précipitations mensuelles à l'aide d'un  
modèle de Réseaux de Neurones Artificiels (RNA)-  
Application au Nord de l'Algérie.**

Présenté par :

**BRIHOUM Aya**

**BELAZREGUE Khireddine**

Devant le jury composé de :

M. BESSENASSE Mohamed	Pr	USD Blida 1	Président
M. KARA OMAR Abdellah	MCB	USD Blida 1	Examineur
M. BOUACH Ahcene	MCB	USD Blida 1	Promoteur

Promotion 2022/2023



## ملخص

شمال الجزائر هي المنطقة الأكثر أمطارًا في البلاد. ومع ذلك، واجهت المنطقة فترات طويلة من الجفاف، مما أثر على إدارة موارد المياه. بهدف التصدي لهذا الوضع، تهدف هذه الدراسة إلى توقع هطول الأمطار الشهرية على المدى المتوسط. تتيح هذه النهج الاستعداد لإدارة الموارد وتجنب المشاكل المتعلقة بالضغط المائي. يعتمد النموذج التنبؤي المستخدم على الذكاء الاصطناعي، على وجه التحديد على الشبكات العصبية الاصطناعية. تم الحصول على نتائج مرضية، مما يدل على فعالية هذا النهج في توقع هطول الأمطار في المنطقة.

**الكلمات الرئيسية:** هطول الأمطار، توقعات، نمذجة، الشبكات العصبية الاصطناعية

## ABSTRACT

The northern region of Algeria is the country's most rainy area. However, the region has experienced prolonged periods of drought, which have affected water resource management. In order to address this situation, this study aims to forecast medium-term monthly precipitation. This approach allows for anticipating resource management and avoiding problems related to water stress. The forecasting model used relies on artificial intelligence, specifically artificial neural networks. The obtained results were satisfactory, thus demonstrating the effectiveness of this approach for precipitation forecasting in the region.

**Keywords:** precipitation, forecasting, modeling, artificial neural networks.

## RESUME

Le nord de l'Algérie est la région la plus pluvieuse du pays. Cependant, la région est confrontée à des périodes prolongées de sécheresse, ce qui a affecté la gestion des ressources en eau. Afin de répondre à cette situation, cette étude vise à prévoir les précipitations mensuelles à moyen terme. Cette approche permet d'anticiper la gestion des ressources et d'éviter les problèmes liés au stress hydrique. Le modèle de prévision utilisé repose sur l'intelligence artificielle, plus précisément sur les réseaux de neurones artificiels. Les résultats obtenus ont été satisfaisants, démontrant ainsi l'efficacité de cette approche pour la prévision des précipitations dans la région.

**Mots clés :** précipitations, prévisions, modélisation, réseaux de neurones artificiels.



## **REMERCIEMENTS**

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur, Mr A. Bouach, pour son soutien, son encouragement et son expertise précieuse tout au long de la réalisation de ce mémoire de master. Sa disponibilité et son engagement sans faille ont grandement contribué à la réussite de ce travail.

Nous tenons à souligner ses encouragements malgré les contraintes de temps, et sa confiance en nos capacités à mener cette étude à bien. Sa collaboration et son accompagnement ont été essentiels pour orienter nos recherches, affiner la méthodologie et améliorer la qualité de ce mémoire.

Nos sincères remerciements aux membres de jury Mr M. Bessenasse et Mr A. Kara Omar.

## **DEDICASES**

Je dédie ce mémoire à mes très chère parents ; à mes frères ; mon petit cousin Anes et mes âmes sœurs Chikhaoui Hadjer Wafa et Kaci Samah.

Dédicace à Messieurs B. Remini, D. Bensafia, M. Bessenasse et A. Geundouz, mes professeurs, Je leur suis profondément reconnaissante pour leur impact positif dans ma réussite.

Mes dédicaces vont également à mes amis qui m'ont soutenu et encouragé; leur soutien moral et leur compréhension ont été une source d'inspiration et de motivation constante.

À ceux qui nous aiment en retour.

***Brihoum Aya.***

## **DEDICASES**

Je dédie ce mémoire à mes chers parents, ma mère et mon père, pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements.

Je tiens également à remercier mes frères, mes amies et mes camarades. Sans oublier tous les professeurs, que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.

***BELAZREGUE khireddine.***

## Table des matières

RESUME.....	3
REMERCIEMENTS .....	5
DEDICASES .....	6
Liste des figures .....	11
Liste des tableaux.....	13
Liste des abréviations .....	14
Liste des notations .....	15
INTRODUCTION GENERALE.....	17
<b><u>CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS</u></b>	
Introduction .....	20
1.1. Définition des précipitations :.....	20
1.2. Mécanismes de formation des précipitations :.....	21
1.3. Les principaux types de précipitation: .....	23
1.4. Différentes formes des précipitations : .....	24
1.4.1. La pluie et la bruine :.....	24
1.4.2. Les précipitations verglaçantes :.....	25
1.4.3. La neige : .....	26
1.4.4. Le grésil : .....	27
1.4.5. La grêle :.....	28
1.5. Différents types de données de précipitations:.....	29
1.5.1. données mesurées : .....	29
1.5.2. Données satellitaires : .....	32
1.6. Analyse spatial des pluies : .....	33
1.6.1. Volume de précipitations tombé sur un bassin :.....	33
1.6.2. Présentation et analyse des données pluviométriques : .....	34
1.6.3. Importance des précipitations:.....	34
Conclusion: .....	35
<b><u>CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS</u></b>	
Introduction :.....	38
2.1. Prévision météorologique : .....	38
2.2. Prévision hydrologique : .....	39
2.3. La prévision des précipitations : .....	40
2.4. Les différents modèles de prévision des précipitations : .....	42

2.4.1. Modèles de prévision numérique du temps (PNT) : .....	42
2.4.2. Modèles de prévision régionale : .....	43
2.4.3. Modèles de prévision statistique : .....	45
2.4.4. Modèles de prévision basés sur l'apprentissage automatique : .....	45
2.5. Revue historique sur les réseaux des neurones : .....	45
2.6. Présentation des réseaux de neurones artificiels : .....	46
2.6.1. Neurone biologique : .....	46
2.6.2. Réseaux des neurones artificiels (RNA) : .....	47
2.7. Les différents types des RNA : .....	50
2.7.1. Le perceptron (réseau à couches) : .....	50
2.7.2. Le modèle de Kohonen : .....	50
2.7.3. Le modèle de Hopfield : .....	50
2.7.4. Le modèle d'Elman : .....	51
2.8. Architecture des réseaux de neurones : .....	51
2.9. Elaboration d'un réseau de neurone : .....	51
2.10. Apprentissage des réseaux de neurones : .....	52
2.10.1. Règles d'apprentissage : .....	53
2.10.2. Algorithme d'apprentissage : .....	53
2.10.3. Calcul de la valeur prédite : .....	53
2.10.4. Validation et Tests : .....	54
2.11. Prévision par réseaux de neurones : .....	54
Conclusion : .....	55
<b><u>CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</u></b>	
Introduction : .....	57
3.1. Les zones climatiques du monde : .....	57
3.2. Climat en Algérie : .....	58
3.3. Ressources en eau et découpage hydrographique en Algérie: .....	60
3.3. Présentation de la zone d'étude : .....	62
3.3.1. Oranie-Chott-Chergui : .....	63
3.3.2. Cheliff-Zahrez : .....	68
3.3.3. La région hydrographique Algérois-Hodna-Soummam : .....	72
3.3.4. La région hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue : .....	74
Conclusion: .....	79

**CHAPITRE IV : “ Préviation des précipitations mensuelles au Nord de l’Algérie à l’aide d’un modèle de RNA”**

<b>Introduction:</b> .....	<b>82</b>
<b>4.1. Description du modèle de prévision :</b> .....	<b>82</b>
<b>4.2. Les indicateurs de qualité de la prévision :</b> .....	<b>84</b>
4.2.1. Le coefficient de corrélation "R" : .....	84
4.2.2. L'erreur absolue moyenne "MAE" : .....	85
4.2.3. La racine carrée de l’erreur quadratique moyenne "RMSE": .....	85
<b>4.3. Base de données des précipitations :</b> .....	<b>86</b>
<b>4.4. Analyse des précipitations annuelles de la région d’études:</b> .....	<b>86</b>
<b>4.5. Résultat de l’entraînement du modèle RNA:</b> .....	<b>89</b>
<b>4.6. Résultat de prévision du modèle RNA :</b> .....	<b>92</b>
4.6.1. Evaluation globale des prévisions des précipitations des quatre bassins hydrographiques : .....	92
4.6.2. Evaluation détaillée des prévisions : .....	93
4.7.2. Analyse des résultats de prévision par les indicateurs de qualité : .....	97
<b>Conclusion :</b> .....	<b>100</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>102</b>
<b>Références Bibliographiques</b> .....	<b>104</b>
<b>Annexe 1</b> .....	<b>107</b>

## Liste des figures

Figure 1.1 : schéma des différents types de précipitation. ....	21
Figure 1.2 : formation des gouttes de pluie. ....	23
Figure 1.3 : schéma pluie verglaçante.....	26
Figure 1.4 : billes glacées 'Grésil'.....	28
Figure 1.5 : la grêle.....	29
Figure 1.6 : pluviomètre.....	30
Figure 1.7 : pluviographe.....	31
Figure 1.8 : nivomètre.....	32
Figure 1.9 : la télédétection.....	33
Figure 2.1 : modèle hydrologique de prévision des précipitations.....	40
Figure 2.2 : le modèle européen CEPMMT carte du 13 janvier 2017.....	42
Figure 2.3 : le modèle américain GFS.....	43
Figure 2.4 : simulation du modèle WRF.....	44
Figure 2.5 : la quantité de pluie attendue sur 3 heures.....	44
Figure 2.6 : modelé de neurone biologique. ....	47
Figure 2.7 : schéma de fonctionnement d'un réseau de neurone. ....	47
Figure 2.8 : Hypothèse biologique de génération d'un comportement intelligent.....	48
Figure 2.9 : Vue simplifiée d'un réseau artificiel de neurones.....	49
Figure 2.10 : Mise en correspondance neurone biologique / neurone artificiel. ....	49
Figure 3.1 : Cartographie des climats dans le monde.....	58
Figure 3.2 : carte des zones climatiques en Algérie.....	60
Figure 3.3 : Les principaux bassins versants de l'Algérie.....	61
Figure 3.4 : Découpage de l'Algérie en régions hydrographiques.....	62
Figure 3.5 : Région hydrographique Oranie. ....	63
Figure 3.6 : situation géographique du bassin hydrographique de Cheliff-Zhrez.....	68
Figure 3.7 : carte pluviométrique et tranches de précipitation moyenne de la région hydrographique Chélif-Zhrez. ....	69
Figure 3.8 : Région hydrographique Cheliff-Zahrez. ....	70
Figure 3.9 : Situation géographique de la zone d'étude (vue en 3D du MNT).....	71
Figure 3.10 : Région hydrographique Algérois-Hodna-Soummam.....	73
Figure 3.11 : Réseau hydrographique du bassin des Côtiers Constantinois. ....	75
Figure 3.12 : Réseau hydrographique des Hauts Plateaux Constantinois.....	76
Figure 3.13 : Réseau hydrographique du bassin du Kebir Rhumel.....	77
Figure 3.14 : Réseau hydrographique du bassin de la Medjerda Mellegue.....	78
Figure 3.15 : Réseau hydrographique du bassin de la Seybouse.....	79
Figure 4.1 : structure du modèle de réseaux de neurones utilisé.....	84
Figure 4.2 : Précipitations annuelles des quatre bassins du nord de l'Algérie.....	87
Figure 4.3 : Evolution des précipitations annuelles des quatre bassins hydrographiques.....	89

Figure 4.4 : Précipitations moyenne annuelles prévues et réelles des quatre bassins hydrographiques.....	92
Figure 4.5 : précipitations mensuelles réelles et prévues pour le bassin de l'Algérois.....	94
Figure 4.6 : précipitations mensuelles réelles et prévues pour le bassin de Cheliff-Zahrez.....	95
Figure 4.7 : Précipitations mensuelles réelles et prévues pour le bassin Constantinois...	96
Figure 4.8 : précipitations mensuelles réelles et prévues pour le bassin de l'Oranie.....	97

## Liste des tableaux

Tableau 1.1 : visibilité d'une bruine.....	24
Tableau 1.2 : intensité de la pluie .....	25
Tableau 1.3 : différents types de flocons de neige en fonction de la température .....	27
Tableau 1.4 : l'intensité des précipitations neigeuses .....	27
Tableau 3.1 : Bassins versants par bassins hydrographiques.....	61
Tableau 4.1 : Caractéristiques statistiques des précipitations annuelles des quatre bassins.....	87
Tableau 4.2 : Résultats d'entraînement du modèle RNA.....	92
Tableau 4.3 : Comparaison entre les précipitations réelles et prévues des quatre bassins hydrographiques.....	93
Tableau 4.4 : Indicateurs de prévision du bassin de l'Algérois-Hodna-Soummam.....	98
Tableau 4.5 : Indicateurs de prévision du bassin de Cheliff-Zahrez.....	98
Tableau 4.6 : Indicateurs de prévision du bassin du Constantinois-Seybousse-Mellegue.....	99
Tableau 4.7 : Indicateurs de prévision du bassin de l'Oranie-Chott-cherghi.....	100

## **Liste des abréviations :**

**SPE** : Système de Prévion d'Ensemble

**PNT** : prévision numérique du temps

**PMC** : perceptrons multicouches

**MAE** : L'erreur absolue moyenne

**RMSE** : racine carrée de l'erreur quadratique moyenne

**RNA**: reseau des neurones artificiels

**ANRH**: agence nationale des ressources en eau

**Liste des notations :**

**R** : Coefficient de corrélation

**$\alpha_{i,0}$  et  $\alpha_{i,j}$**  : Les coefficients de la  $i$  eme combinaison linéaire

**$\Sigma$**  : Somme

*INTRODUCTION GENERALE*

## INTRODUCTION GENERALE

Les précipitations jouent un rôle crucial dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres et ont un impact significatif sur la vie humaine. La capacité de prévoir avec précision les précipitations mensuelles est essentielle pour de nombreuses applications, telles que la gestion des ressources en eau, la planification agricole, la prévision des inondations et la prise de décisions en matière de gestion des risques naturels. Dans ce contexte, l'utilisation de modèles de prévision basés sur les réseaux de neurones artificiels (RNA) s'est avérée prometteuse.

Ce mémoire de master intitulé "Prévision des précipitations mensuelles à l'aide d'un modèle de réseaux de neurones artificiels (RNA) : Application au Nord de l'Algérie" se compose de quatre chapitres qui abordent différents aspects de la prévision des précipitations et de l'utilisation des RNA. Ces chapitres sont organisés de la manière suivante :

- Le premier chapitre présente les généralités sur les précipitations. Il explore les concepts de base liés aux précipitations, tels que les processus de formation des précipitations, les types de précipitations, les facteurs influençant les précipitations et les méthodes de mesure. Ce chapitre vise à fournir une base solide de connaissances sur les précipitations, qui est essentielle pour comprendre les défis liés à leur prévision.
- Le deuxième chapitre examine les modèles de prévision des précipitations existants. Il passe en revue les approches traditionnelles telles que les modèles statistiques et physiques, ainsi que les avancées récentes dans le domaine de l'apprentissage automatique et des RNA. Ce chapitre met en évidence les avantages et les limites de chaque méthode de prévision, soulignant le potentiel des RNA en tant qu'approche prometteuse pour la prévision des précipitations mensuelles.
- Le troisième chapitre se concentre sur la présentation de la zone d'étude, à savoir les quatre grands bassins hydrographiques du nord de l'Algérie. Il décrit les caractéristiques géographiques, climatiques et hydrologiques de cette région, en mettant l'accent sur les défis spécifiques liés à la prévision des précipitations dans ce contexte. Une compréhension approfondie de la

zone d'étude est essentielle pour développer un modèle de prévision efficace.

- Le quatrième chapitre aborde l'utilisation d'un modèle de prévision basé sur les RNA, pour la prévision des précipitations mensuelles. Ce chapitre décrit en détail l'architecture du modèle et les différentes étapes de sa mise en œuvre. Il présente également les données utilisées pour l'entraînement et l'évaluation du modèle, ainsi que les mesures de performance utilisées pour évaluer la précision des prévisions a fin d'interpréter les résultats obtenus.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité des RNA dans la prévision des précipitations dans les bassins du nord de l'Algérie et de proposer un modèle fiable pour cette région. Les réseaux de neurones artificiels offrent une approche prometteuse en raison de leur capacité à traiter des données complexes et à identifier des schémas non linéaires.

Les résultats obtenus dans ce mémoire fournissent des indications sur l'efficacité des RNA dans la prévision des précipitations et démontrent leur potentiel pour améliorer les modèles de prévision climatique dans la région étudiée. Cette recherche contribue à l'avancement des connaissances dans le domaine de la modélisation climatique et ouvre la voie à de futures applications des RNA pour la prévision des précipitations dans d'autres régions.

*CHAPITRE I :*  
*GENERALITES SUR LES*  
*PRECIPITATIONS*

PRECIPITATIONS  
GENERALITES SUR LES  
CHAPITRE I

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS

### **Introduction :**

Dans ce chapitre, nous aborderons les généralités des précipitations, un phénomène naturel essentiel à notre environnement.

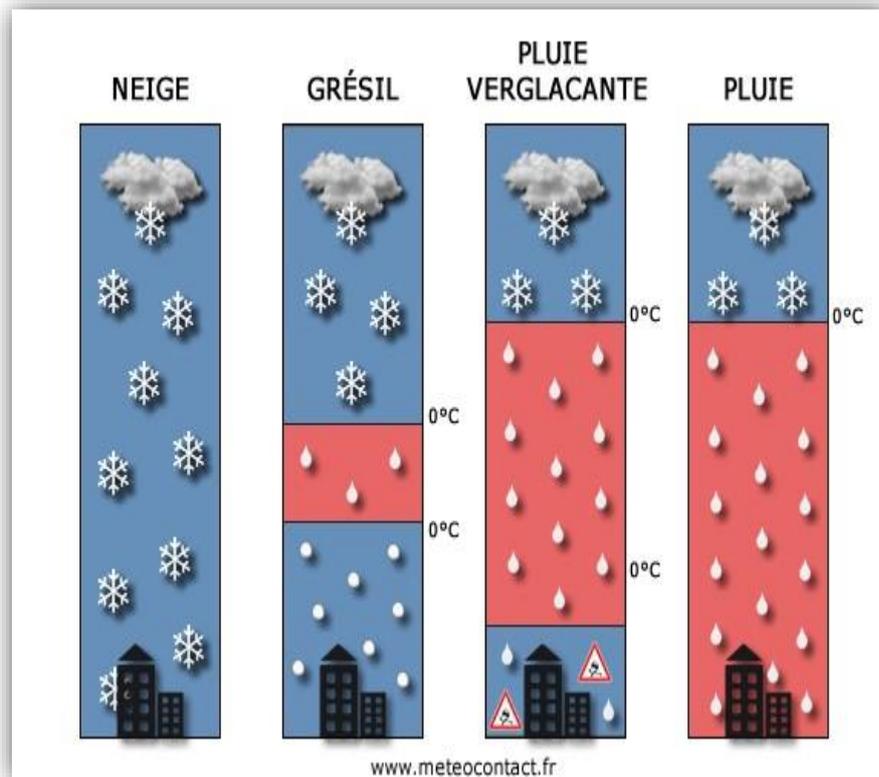
Les précipitations font référence à la chute de l'eau, sous forme liquide ou solide, provenant de l'atmosphère vers la surface de la Terre. Elles comprennent une variété de formes telles que la pluie, la neige, la grêle et la bruine. Les précipitations jouent un rôle important dans le cycle de l'eau, en rechargeant les réserves d'eau douce, en irriguant les terres agricoles et en maintenant l'équilibre des écosystèmes.

Ce chapitre explorera les différentes formes de précipitations, leurs processus de formation et leurs facteurs influents. Comprendre les généralités des précipitations est fondamental pour étudier le climat, la météorologie et les modèles de changement climatique.

### **1.1. Définition des précipitations :**

Les précipitations sont définies comme étant toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la Terre, qu'elles soient liquides (bruine, pluie, averse), solides (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou cachées (rosée, givre, givre, etc.). (Figure 1.1). Elles sont causées par des changements de température ou de pression. Les précipitations sont la seule "entrée" dans les principaux systèmes hydrologiques continentaux (c'est-à-dire les bassins versants). [3]

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS



**Figure 0.1** : schéma des différents types de précipitation (5).

### i. Classification des précipitations :

Les précipitations peuvent être classées en trois principaux types :

- Précipitations de convection,
- Précipitations orographiques,
- Précipitations cyclonique ou de front.

Elles correspondent à différents mécanismes d'ascendance (formation des nuages) et présentent des caractéristiques d'intensité et de durée diverses. [14].

### 1.2. Mécanismes de formation des précipitations :

La pluie est un phénomène lié aux systèmes nuageux, qui dépend de la microphysique des nuages et aussi de mouvements à plus grande échelle.

Les petites gouttelettes d'eau en suspension dans l'atmosphère forment des nuages et sont appelées gouttelettes de nuages (figure 1.2). Les gouttes d'eau suffisamment grosses chutent et forment les gouttes de pluie. La formation

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS

de gouttelettes d'eau dépend du changement d'état de l'eau présente dans l'atmosphère. La quantité d'eau présente et ses changements d'état sont liés aux mouvements verticaux au sein de l'atmosphère. Lorsqu'une particule d'air relativement chaude et humide s'élève, les changements thermodynamiques (dépression, refroidissement) qu'elle subit peuvent conduire à la saturation de l'air et une condensation de vapeur, cela se manifeste par l'apparition de gouttelettes d'eau produites par le dépôt de vapeur d'eau au premier temps autour des micro particules appelées noyau de condensation, puis sur les gouttelettes déjà formées. Le grossissement de ces gouttelettes se fait par deux mécanismes à savoir : [13]

- A haute altitude les gouttelettes liquides cohabitent avec des cristaux, ceux-ci ont une vapeur saturante plus faible et un transfert d'eau s'opère entre les gouttelettes liquides et les cristaux de glace.
- Le mécanisme de coalescence ; c'est le grossissement des gouttelettes par collision c'est-à-dire ; deux gouttelettes s'entre choc pour ne former qu'une seule plus grosse. Ensuite, il y a le phénomène de collection c'est-à-dire ; les plus grosses gouttelettes absorbent les plus petites l'ensemble ainsi formé compose le nuage. Lorsque les gouttelettes deviennent trop volumineuses pour être maintenues sur les courants d'air, elles tombent sous forme de pluie.

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS

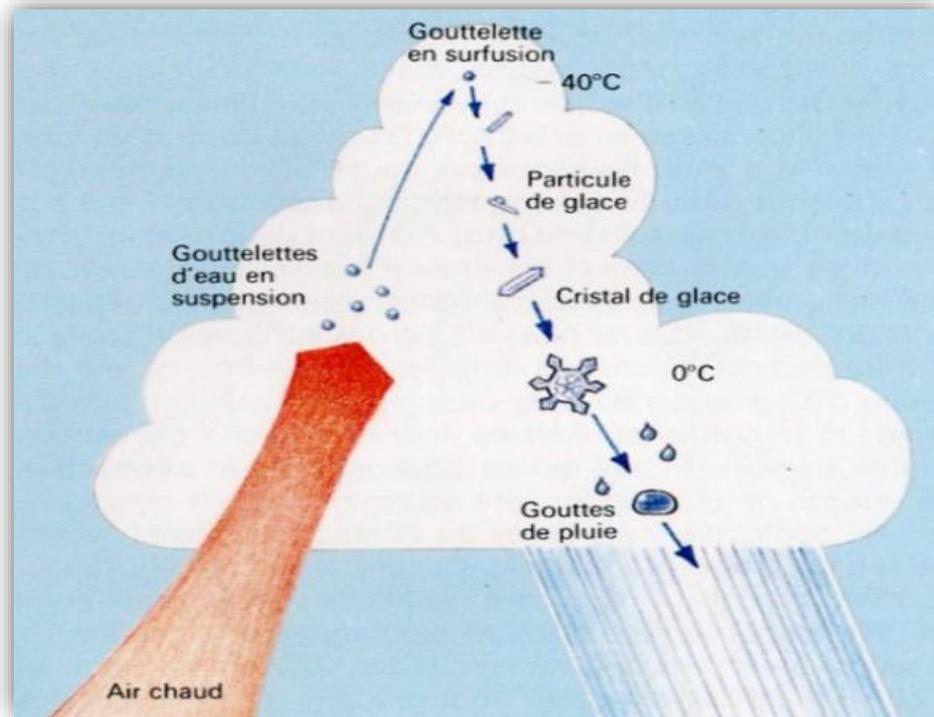


Figure 0.2 : formation des gouttes de pluie (4).

### 1.3. Les principaux types de précipitation:

Il existe principalement deux types de précipitations [5] :

#### i. Les précipitations stratiformes :

Qui sont de faibles intensités, mais qui durent longtemps, car les nuages couvrent une grande surface. Celles-ci se produisent au passage de dépressions qui sont associées à des nuages de types stratus.

#### ii. Les précipitations convectives (ou averses) :

Qui ne durent pas longtemps, mais qui sont d'une forte intensité. Ces précipitations se produisent par " l'instabilité convective de l'air " associée à la formation de nuages de types cumulus ou cumulonimbus (nuages d'orages).

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS

### 1.4. Différentes formes des précipitations :

Les précipitations peuvent tomber sous trois formes en fonction de la température de l'air [5]:

- Liquide : pluie, bruine ;
- Pluie verglaçante, bruine verglaçante ;
- Solide : neige, grésil et grêle.

#### 1.4.1. La pluie et la bruine :

##### i. Formation de la pluie :

Les fines gouttelettes présentes au sein d'un nuage se condensent sur des particules de poussière présentes dans l'air. Plus les nuages montent vers des couches d'air plus froid, plus les gouttelettes grossissent et se rapprochent les unes des autres. Lorsque la taille de la gouttelette atteint plus ou moins 0,02 mm, son poids commence à devenir notable et celle-ci commence à descendre lentement, de l'intérieur du nuage vers sa base. La température de la couche d'air à travers laquelle passent les gouttelettes d'eau doit être supérieure à 0°C en moyenne pour que les précipitations soient sous forme liquide. Comme la majeure partie des nuages se trouvent à une altitude relativement élevée où la température y est basse, il arrive souvent que les gouttelettes passent de l'état solide à liquide pendant leur chute vers le sol, car l'air se réchauffe et oblige les cristaux de glace à fondre [5].

##### ii. Caractéristiques :

Les gouttes de bruine sont assez petites, entre 0,1 et 0,4 mm de diamètre et ne tombent que depuis des nuages situés à très basse altitude. Pour la mesurer, on étudie la visibilité dans l'air par temps de bruine. Donc plus il y a de bruine, plus la visibilité se réduit, en conséquence, on établit les qualifications suivantes [5]:

**Tableau 1.1** : visibilité d'une bruine

<b>Bruine faible</b>	<b>Visibilité supérieure à 800m</b>
<b>Bruine modérée</b>	Visibilité comprise entre 400m et 800m
<b>Bruine forte</b>	Visibilité inférieure à 400m

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS

Les gouttes de pluie font quant à elles 0,5 mm à 3 mm de diamètre. Ainsi, les précipitations se mesurent en accumulations par heure sur une surface donnée.

L'unité de mesure des précipitations est le millimètre (1 mm = 1 litre d'eau/m<sup>2</sup>).

**Tableau 1.2** : intensité de la pluie

<b>Pluie faible</b>	<b>Intensité inférieure à 2.5 mm par heure</b>
<b>Pluie modérée</b>	Intensité comprise entre 2.5 mm et 7.5 mm par heure
<b>Pluie forte</b>	Intensité supérieure à 7.5 mm par heure

Les gouttes d'eau sont d'autant plus grosses que les courants ascendants sont puissants, c'est notamment le cas dans des nuages d'orages ou cumulonimbus où la taille des gouttes d'eau varie en fonction de la puissance de ces courants d'air.

Il arrive parfois que de forts courants descendants soient présents dans les nuages convectifs. Dans ce cas, on assistera à de fortes averses de pluie avec de puissantes rafales de vent : ces phénomènes ont pour nom des "grains".

### **1.4.2. Les précipitations verglaçantes :**

Dans certaines situations l'air est plus froid en basses couches qu'en altitude. Dans le cas de la pluie et de la bruine verglaçante, la température est négative près du sol, mais une couche d'air plus douce (température au-dessus de 0°C) est présente au-dessus ; les précipitations solides dans le nuage fondent au cours de leur chute vers le sol. En arrivant près du sol où la température doit y être inférieure à 0°C, ces pluies gèlent et forment une couche de verglas plus ou moins épaisse en fonction de l'intensité de ces précipitations d'eau surfondue et de la température présente près du sol. Cette situation est particulièrement redoutée car toutes surfaces dures deviennent alors très glissantes, ce qui rend

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS

les conditions de circulation très dangereuses, tandis que fils électriques et arbres cèdent parfois sous le poids de la glace accumulée (figure 1.3) [5].



**Figure 0.3** : schéma pluie verglaçante (5).

### 1.4.3. La neige :

La neige se forme lorsque l'air en altitude est assez humide et que la température est très basse (inférieure à  $-15^{\circ}\text{C}$ ) dans des nuages où l'eau (à l'état solide) vient se réunir autour de noyaux de poussière présents au sein du nuage. Lorsque les cristaux de glace sont assez gros, ils tombent du nuage en s'agglutinant les uns aux autres, on assiste donc à la formation de flocons de neige.

Un millier de cristaux de glace constitue un seul flocon de neige. Toutefois la température doit être inférieure à  $0^{\circ}\text{C}$  dans les basses couches de l'atmosphère pour qu'ils ne fondent pas avant d'atteindre le sol. Plus la distance entre la naissance du flocon de neige et le sol est grande, plus les chances que les flocons soient gros augmentent.

On observe différents types de flocons et donc de neige en fonction de la température et de l'humidité [5].

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS

**Tableau 1.3** : différents types de flocons de neige en fonction de la température

Température	Forme des cristaux de glace
De 0°C à -4°C	Minces plaques hexagonales
De -4°C à -6°C	Aiguilles
De -6°C à -10°C	Colonnes creuses
De -10°C à -12°C	Cristaux à six pointes longues
De -12°C à -16°C	Dendrites filiformes

Lorsque la température est très négative, la neige est alors fine et sèche, car l'air n'est pas assez humide pour qu'elle ait le temps de grossir. Au contraire, lorsque les précipitations rencontrent une zone plus douce en arrivant près du sol, la neige est collante et humide. Ce type de neige est souvent caractéristique des épisodes neigeux qui se produisent en hiver autour du bassin méditerranéen, lorsque l'air humide maritime entre en contact avec l'air froid plus continental.

En moyenne 10mm de pluie correspondent à 10 cm de neige, mais tout dépend du type de neige.

L'intensité des précipitations neigeuses s'établit en fonction de son accumulation au sol par unité de temps :

**Tableau 1.4** : l'intensité des précipitations neigeuses

<b>Neige faible</b>	<b>Intensité inférieure à 0.5cm par heure</b>
<b>Neige modérée</b>	Intensité comprise entre 0.5 et 4cm par heure
<b>Neige forte</b>	Intensité supérieure à 4cm par heure

### 1.4.4. Le grésil :

Le grésil se forme dans les mêmes conditions que pour les pluies verglaçantes. Quand de l'air plus chaud surmonte une couche d'air froid, la neige qui tombe du nuage rencontre tout d'abord de l'air doux au cours de sa descente et va fondre partiellement en gardant toutefois son noyau solide, celui-ci va alors

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS

servir de noyau de congélation (figure 1.4). C'est en arrivant à proximité du sol, où la température y est plus froide, que les particules d'eau autour du noyau solide vont geler avant d'atteindre le sol. On assiste alors à la formation de granules de glace appelées grésil [5].



**Figure 0.4** : billes glacées 'Grésil' (5).

### **1.4.5. La grêle :**

La grêle prend naissance dans des nuages d'orages (ou cumulonimbus) dans lesquels les courants ascendants peuvent être particulièrement puissants. Ces nuages s'élèvent à une altitude atteignant en moyenne 12 000 mètres, ainsi la présence de cristaux de glace à l'intérieur du nuage constitue le premier élément à la formation de grêlons de tailles et poids différents. Ces cristaux de glace subissent d'incessantes turbulences au sein du nuage et sous l'effet des puissants courants ascendants. Ils peuvent gagner de l'altitude ou bien chuter en quelques secondes en fonction de leur poids. Lors de ces turbulences des gouttelettes surfondues entrent en contact avec ces grêlons et gèlent : elles contribuent à augmenter la taille de ces grêlons en formant des couches de glace successives. Ce n'est que lorsque son poids sera suffisamment élevé pour contrer l'effet de ces phénomènes que le grêlon pourra tomber au sol (figure 1.5) [5].



**Figure 0.5 :** la grêle (6).

## **1.5. Différents types de données de précipitations :**

### **1.5.1. Données mesurées :**

Les mesures des précipitations et d'autres paramètres atmosphériques sont généralement effectuées dans une station pluviométrique également appelée station météorologique [13].

Pour un événement de précipitation on peut mesurer

- La quantité d'eau précipitée, elle s'exprime en hauteur d'eau ou bien lame d'eau par unité de surface horizontale.
- L'intensité des précipitations, c'est-à-dire la quantité d'eau en fonction du temps. Ces mesures se font à l'aide de pluviomètres et de pluviographes.

#### **i. Pluviomètre :**

N'importe quel récipient ouvert pourrait servir de pluviomètre, mais pour que les observations soient fiables et précises et surtout comparables, il est indispensable d'utiliser des pluviomètres normalisés ayant des caractéristiques propres [15]:

- L'ouverture du pluviomètre doit être horizontale ;
- L'erreur doit être inférieure à 1% pour chaque degré d'inclinaison ;

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS

A une même station, pour une même hauteur de précipitation, la quantité d'eau recueillie est variable suivant la hauteur de la surface réceptrice du pluviomètre par rapport au sol. Généralement, les pluviomètres sont installés de telle sorte que l'arête de la bague soit à 1 m au-dessus de la surface du sol.

Les pluviomètres doivent être éloignés de chaque obstacle d'une distance au moins égale à 4 fois la hauteur de l'obstacle.

Le pluviomètre est un appareil simple ayant une surface réceptrice limitée par une bague. L'eau qui traverse cette surface est dirigée par un entonnoir vers un seau récepteur (figure 1.6).



**Figure 0.6** : pluviomètre (ANRH via Aidi karim).

### ii. Pluviographe :

Dans les études hydrologiques, il est important de connaître non seulement la lame d'eau précipitée totale pour une période donnée, mais aussi sa variation dans le temps, c'est à dire, son intensité en mm/h ou en mm/mn, surtout lors d'une averse (figure 1.7).

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS

Ces appareils sont destinés à l'enregistrement de la hauteur de pluie cumulée en fonction du temps. Plusieurs types de pluviographe existent : les pluviographes à augets basculeurs, les pluviographes à balance et les pluviographes à siphon. L'appareil le plus utilisé actuellement est le pluviographe à augets basculeurs [15].



**Figure 0.7 :** pluviographe (ANRH via Aidi karim).

### iii. Nivomètres :

Ces appareils sont utilisés en région montagneuse où la neige est prépondérante (figure 1.8). Ils permettent de connaître non seulement l'importance quantitative du manteau neigeux mais aussi son état (prévision d'avalanches, prévision de crues, ... etc.) [15].

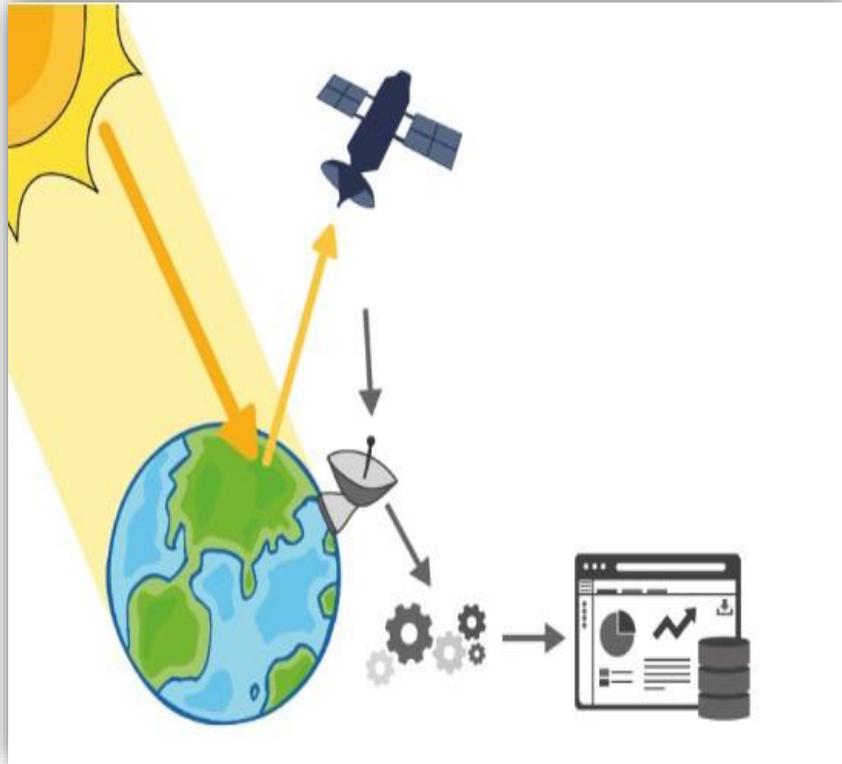


**Figure 0.8 :** nivomètre (7).

### **1.5.2. Données satellitaires :**

Une donnée satellitaire est une donnée de géo-information issue de la télédétection. Est une Donnée obtenue à partir des instruments faisant partie de la charge utile d'un satellite.

Le principe de télédétection peut être schématisé ainsi : la surface de la Terre reçoit un rayonnement (par exemple émis par le soleil) et le réfléchit vers l'espace. Le rayonnement réfléchi est enregistré par un capteur (par exemple à bord d'un satellite), converti en données numériques, renvoyées à une station de réception située sur Terre. Ces données numériques, ou images, sont ensuite analysées et traitées afin d'en extraire des informations utiles (Figure 1.9).



**Figure 0.9** : la télédétection (9).

Ainsi, la télédétection permet d'acquérir des informations sur la surface de la Terre, inédites et complémentaires de celles déjà couramment utilisées (données in situ, données statistiques, etc.). On peut par exemple cartographier et suivre l'évolution de la végétation, des surfaces bâties, des parcelles agricoles, obtenir des informations sur l'humidité des sols, sur la température de surface de la Terre. Autant d'informations utiles pour établir des diagnostics et/ou orienter et évaluer des politiques locales en aménagement du territoire [9].

## **1.6. Analyse spatial des pluies :**

### **1.6.1. Volume de précipitations tombé sur un bassin :**

Malgré la densité d'un réseau 1 pluviométrique pour 900 km<sup>2</sup> dans l'espace étudié, on ne possède qu'une information évidemment très locale que l'on cherche parfois à étendre spatialement, soit pour faire des bilans, soit pour définir des données d'entrée dans des modèles mathématiques. La répartition de la pluie est liée : [15]

- Au climat ;

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS

- Au relief ;
- Au type de perturbation atmosphérique.

### 1.6.2. Présentation et analyse des données pluviométriques :

Selon [15], L'analyse des pluies est basée sur les relevés pluviométriques effectués dans un certain nombre de stations sur une surface topographique considérée. Elle est basée sur l'hypothèse que la pluie tombée à une station est représentative de celle tombée tout autour de cette station sur une étendue plus ou moins large selon la densité du réseau que l'on appelle zone d'influence du pluviomètre.

La détermination de la précipitation moyenne représentative de l'ensemble du bassin versant peut être calculée par diverses méthodes sont :

- Méthode arithmétique ;
- Méthode de Thiessen ;
- Méthode des isohyètes ;
- Méthode graphiques.

### 1.6.3. Importance des précipitations:

L'eau présente sur la Terre est en **circulation constante**, elle opère un **circuit fermé** qui est le même depuis des milliards d'années. L'eau des mers et des lacs s'évapore dans l'atmosphère grâce aux rayons du soleil qui réchauffe la surface de la terre (évapotranspiration). Les précipitations jouent un rôle d'une importance capitale dans de nombreux aspects de notre environnement, l'unes des raisons pour lesquelles les précipitations sont importantes [10]:

- **Cycle de l'eau** : Les précipitations font partie intégrante du cycle de l'eau sur notre planète. L'eau évaporée des océans, des lacs, des rivières et des sols se condense pour former des nuages, puis retombe sous forme de précipitations. Ce processus permet de recharger les sources d'eau douce, de maintenir les niveaux des cours d'eau et de préserver l'équilibre hydrologique.
- **Ressources en eau** : Les précipitations sont une source fondamentale d'eau douce pour la vie sur Terre. Elles alimentent les réserves souterraines, les lacs, les rivières et les glaciers, qui sont

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS

utilisés pour l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation des terres agricoles, la production d'énergie hydroélectrique et d'autres activités humaines.

- **Agriculture** : Les précipitations sont essentielles pour l'agriculture. Une quantité adéquate de précipitations est nécessaire pour la croissance des cultures, l'élevage du bétail et la productivité des sols. Les agriculteurs dépendent des précipitations pour maintenir la fertilité des terres et assurer des récoltes suffisantes.
- **Écosystèmes** : Les précipitations sont vitales pour la santé des écosystèmes terrestres et aquatiques. Elles fournissent de l'eau nécessaire à la survie des plantes, des animaux et des microorganismes. Les écosystèmes dépendent des précipitations pour maintenir la biodiversité, réguler les cycles naturels et fournir des habitats pour les espèces.
- **Climat et météorologie** : Les précipitations jouent un rôle clé dans la régulation du climat et des conditions météorologiques. Elles influencent la température, l'humidité et la pression atmosphérique. Les précipitations abondantes peuvent contribuer à des événements météorologiques extrêmes tels que les inondations, tandis que les déficits de précipitations peuvent entraîner des sécheresses et des pénuries d'eau.
- **Gestion des ressources en eau** : La compréhension des précipitations est essentielle pour la gestion des ressources en eau. La surveillance et la prévision des précipitations permettent de planifier l'utilisation des ressources en eau, de prendre des mesures pour prévenir les catastrophes naturelles liées aux précipitations excessives ou insuffisantes, et d'élaborer des politiques de conservation de l'eau.

### Conclusion:

Ce chapitre a regroupé quelques définitions des termes utilisés en hydrologie tel que les principaux types, formes des précipitations et les méthodes de mesure. Il est important de noter que les précipitations peuvent varier considérablement selon les régions géographiques et les saisons. Les régions

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS

tropicales peuvent connaître des précipitations abondantes tout au long de l'année, tandis que les régions désertiques peuvent connaître des périodes de sécheresse prolongées.

En outre, les précipitations jouent un rôle crucial dans l'équilibre écologique en fournissant de l'eau aux plantes, aux animaux et aux êtres humains. Elles contribuent également à la recharge des nappes phréatiques, à l'alimentation des cours d'eau et à la régulation du climat.

Enfin, cela nous permet de mieux prévoir les conditions météorologiques, d'évaluer les ressources en eau disponibles et de prendre des mesures appropriées pour atténuer les impacts des événements météorologiques extrêmes tels que les inondations ou les sécheresses.

*CHAPITRE II :*  
*MODELES DE PREVISION DES*  
*PRECIPITATIONS*

PRECIPITATIONS  
MODELES DE PREVISION DES

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

### **Introduction :**

Dans ce chapitre, nous explorerons les modèles de prévision des précipitations, un domaine crucial pour la météorologie et les études environnementales. Les précipitations jouent un rôle essentiel dans de nombreux aspects de notre vie, allant de l'agriculture à la gestion des ressources en eau. Comprendre et prévoir les précipitations avec précision est donc d'une importance capitale.

Au fil des années, de nombreuses méthodes ont été développées pour prédire les précipitations, mais l'utilisation de réseaux de neurones artificiels s'est révélée particulièrement prometteuse. Les réseaux de neurones artificiels sont des modèles informatiques inspirés par le fonctionnement du cerveau humain. Ils sont capables d'apprendre à partir de données et de détecter des schémas complexes, ce qui en fait des outils puissants pour la prévision des précipitations.

### **2.1. Prévision météorologique :**

Une prévision météorologique représente un outil indispensable à la modélisation hydrologique. Celle-ci permet d'alimenter les modèles hydrologiques en leur fournissant principalement les prévisions de précipitations et de température dans le cas de modèles hydrologiques simples (conceptuels). Dans le cas des modèles hydrologiques plus complexes (typiquement à bases physiques), ceux-ci ont généralement recours à un plus grand nombre de variables telles que le vent et l'humidité relative de l'air. La modélisation hydrologique permet ensuite d'obtenir des prévisions de débits, servant notamment à la gestion des réservoirs. La durée des prévisions météorologiques dans ce contexte précis peut s'étendre de quelques minutes à plusieurs mois d'horizon selon l'objectif recherché par le modélisateur.

La prévision météorologique peut être déterministe, soit une seule prévision provenant d'un unique modèle météorologique, ou bien probabiliste (typiquement appelée prévision météorologique d'ensemble ou de l'anglais, numerical weather prediction ensemble), soit plusieurs prévisions provenant d'un ou plusieurs modèles météorologiques. [16]

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

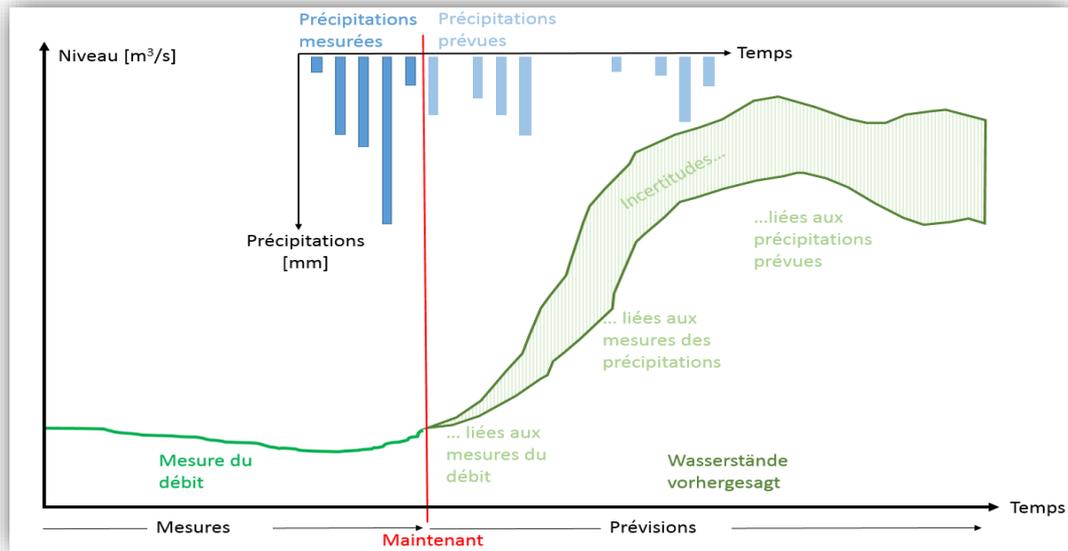
### **2.2. Prévision hydrologique :**

Prévoir revient à considérer que disposer d'une information sur le futur est préférable à l'ignorance. Cette maxime est aujourd'hui appliquée dans de nombreux domaines tels que l'économie (indicateurs économiques, investissement), les transports (trafic routier, essor démographique), la médecine (propagation épidémique) et, évidemment, la météorologie (pollution de l'air, navigation maritime, inondation, avalanche, agriculture). La prévision s'appuie sur un ensemble d'informations disponibles, concernant le passé ou le futur, à l'instant où elle a été effectuée, pour fournir une information sur le comportement futur de l'objet, sur une certaine durée, appelée horizon de prévision ou échéance de prévision. [17]

Les prévisions hydrologiques sont des estimations des conditions futures des cours d'eau, des niveaux des lacs, des débits des rivières et des inondations potentielles. Elles sont essentielles pour la gestion des ressources en eau, la planification des infrastructures et la prévention des catastrophes naturelles. Les prévisions hydrologiques sont basées sur l'analyse de données météorologiques, hydrologiques et topographiques, ainsi que sur l'utilisation de modèles mathématiques et statistiques. Ces modèles prennent en compte des variables telles que les précipitations, l'évaporation, l'infiltration, le ruissellement et la capacité de rétention des sols pour estimer les écoulements futurs.

Ces prévisions peuvent être établies à court terme, à moyen terme ou à long terme, en fonction de l'horizon temporel souhaité. Elles peuvent également être mises à jour en temps réel à mesure que de nouvelles données sont disponibles (Figure 2.1).

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS



**Figure 2.1** : modèle hydrologique de prévision des précipitations (Modèles hydrologiques et qualité des prévisions : Office fédéral de l'environnement OFEV).

### 2.3. La prévision des précipitations :

#### i. Les sources d'incertitudes :

La Prévision Numérique du Temps (PNT - Numerical Weather Prediction, NWP) consiste à prévoir le temps à partir d'un état initial de l'atmosphère grâce à des lois de mécanique des fluides et de thermodynamique régissant l'évolution de l'atmosphère, via un modèle numérique déterministe. Résultant d'interactions thermodynamiques complexes sur de grandes (circulations de moussons, perturbations et structures frontales) à petites échelles (systèmes convectifs et orages, déclenchement orographique), les précipitations demeurent l'une des variables météorologiques les plus difficiles à simuler et donc à prévoir.

L'état initial de l'atmosphère est obtenu à l'aide d'un nombre important d'observations météorologiques provenant des réseaux de mesure au sol ou sur les océans, de radiosondages (pression, vent, humidité, température), voire de radars météorologiques et de satellites. Ces données sont ensuite assimilées selon des techniques mathématiques d'assimilation de données fournissant l'état initial de l'atmosphère, appelé analyse, sur des échelles spatio-temporelles adaptées au modèle numérique. Cette étape est importante du fait de la qualité inégale des observations et de leur distribution hétérogène

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

sur le globe, en particulier sur les océans. Malgré tout, ces conditions initiales sont estimées avec une certaine justesse et demeurent ainsi une source d'incertitudes, appelée incertitudes sur les conditions initiales, pour la prévision météorologique [18,30].

La dynamique et la physique atmosphérique ne peuvent être intégrées analytiquement, du fait de la complexité et de la non-linéarité des équations à résoudre. Il faut alors recourir aux techniques d'analyse numérique élaborant une représentation dynamique des lois à résoudre. Celle-ci nécessite une discrétisation des équations sur un maillage, un couplage pour définir les conditions aux limites. La résolution horizontale, variant aujourd'hui de 15 à 50 km pour les modèles globaux et de 100 à 200 km pour les modèles de circulation générale, résulte du compromis entre le réalisme de la prévision et le temps de calcul induit. Toutefois, ces échelles spatiales ne permettent pas de représenter l'ensemble des phénomènes météorologiques. Une bonne prévision doit également tenir compte de ceux dont les longueurs caractéristiques sont inférieures à la résolution du modèle, phénomènes dits sous-maille (convection, physique des nuages, effets radiatifs, turbulence proche du sol, effets orographiques). La représentation de l'influence moyenne à grande échelle de ces processus sous-maille est réalisée à l'aide de paramètres physiques, d'où le terme para-métrisation. Toutefois, cette étape indispensable ne compense pas les limitations imposées par la résolution trop grossière du modèle, révélant ainsi les incertitudes du modèle [18].

### ii. La prévision d'ensemble :

La prévision d'ensemble élargie l'approche classique déterministe pour prendre en compte les incertitudes sur les conditions initiales et les incertitudes du modèle. Pour des raisons numériques, les modèles utilisés dans un Système de Prévision d'Ensemble (SPE - EPS en anglais) sont généralement dégradés, comparés aux modèles globaux, en réduisant notamment les résolutions horizontale et verticale. Les sorties de modèles intégrant ces incertitudes sont appelées traces et la sortie issue du SPE sans aucune perturbation est appelée contrôle.

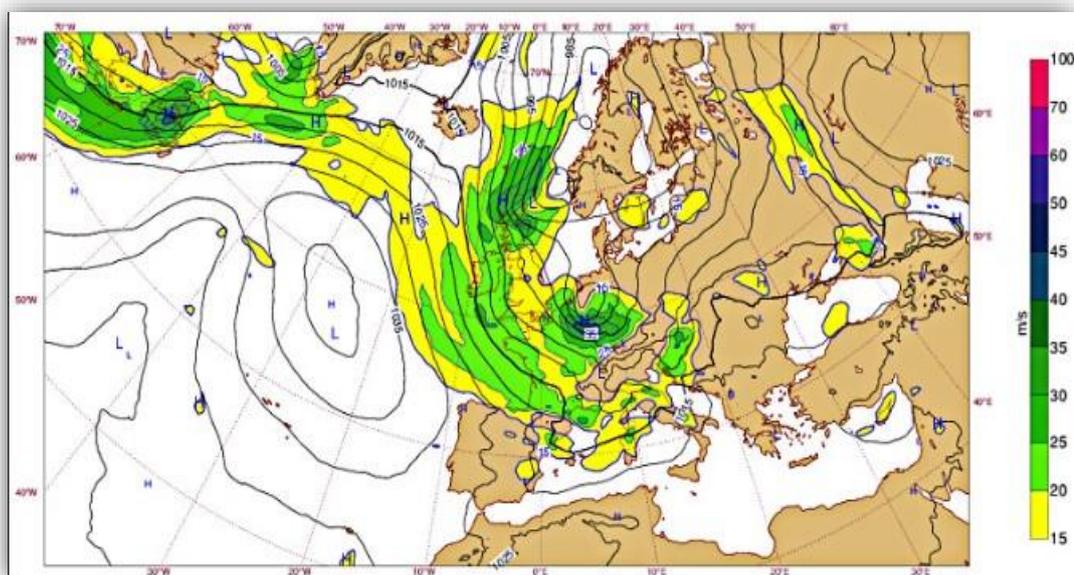
## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

### 2.4. Les différents modèles de prévision des précipitations :

Il existe plusieurs modèles utilisés pour la prévision des précipitations, chacun ayant ses propres caractéristiques et niveaux de précision.

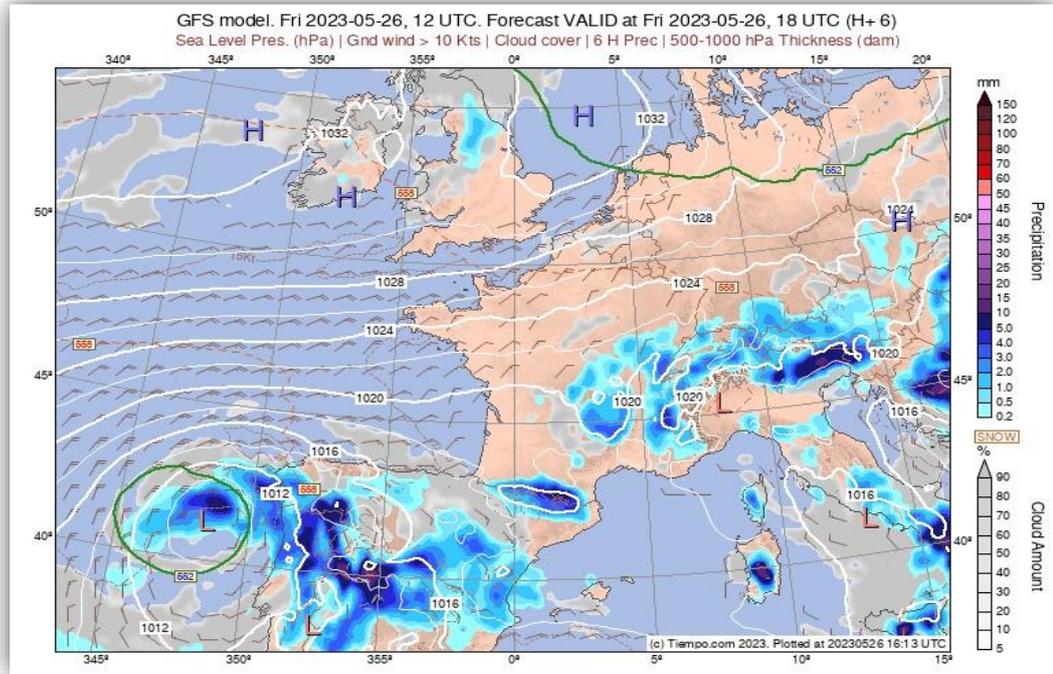
#### 2.4.1. Modèles de prévision numérique du temps (PNT) :

Les modèles numériques simulent l'évolution de l'atmosphère en la découpant en une grille à trois dimensions aux « mailles » plus ou moins larges. Les PNT sont basés sur des simulations informatiques de l'atmosphère à l'aide d'équations physiques. Ils intègrent des données d'observation en temps réel pour produire des prévisions à court et moyen terme. Leur précision dépend de la résolution spatiale et temporelle, de la qualité des données d'entrée et des méthodes de para-métrisation utilisées. Les PNT modernes, tels que le modèle européen (Figure 2.2) CEPMMT 'Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme' et le modèle américain GFS (Figure 2.3), sont généralement fiables à quelques jours d'échéance. Une étape importante de la prévision numérique du temps consiste à concilier le modèle de prévision, qui a besoin d'une couverture globale et uniforme, et des observations, de plus en plus nombreuses, qui sont éparses et de nature souvent complexes et très variées ; c'est l'assimilation de données qui permet de corriger l'état initial du modèle à l'aide des observations.



**Figure 2.2 :** le modèle européen CEPMMT carte du 13 janvier 2017.

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

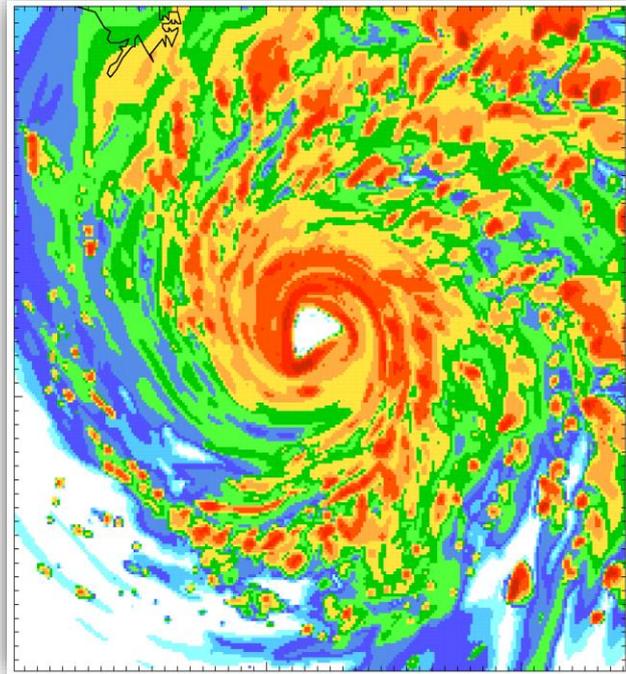


**Figure 2.3 :** le modèle américain GFS (5).

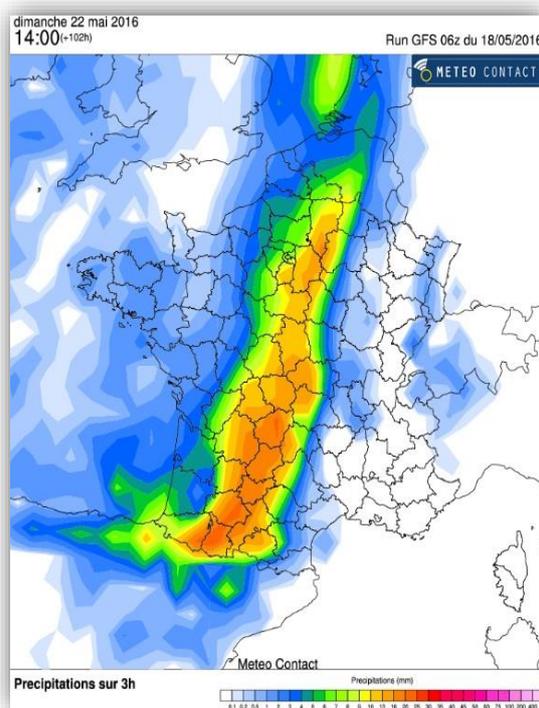
### 2.4.2. Modèles de prévision régionale :

Ces modèles utilisent des résolutions spatiales plus élevées que les PNT (Figure 2.4) pour se concentrer sur des zones géographiques spécifiques. Ils intègrent également des données régionales supplémentaires pour améliorer la précision des prévisions. Les modèles régionaux, tels que WRF (Figure 2.5) (Weather Research and Forecasting) et MM5 (Mesoscale Model 5), sont utilisés pour des prévisions à échelle locale et peuvent fournir des estimations précises des précipitations.

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS



**Figure 2.4** : simulation du modèle WRF.



**Figure 2.5** : la quantité de pluie attendue sur 3 heures (5).

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

**Remarque :** Plus la couleur va vers le bleu, plus la quantité de pluie attendue est faible. Inversement, plus la couleur va vers le jaune, orange, rouge et même violet, plus la quantité de pluie est intense.

### **2.4.3. Modèles de prévision statistique :**

Ces modèles utilisent des techniques statistiques pour analyser les relations entre les variables météorologiques historiques et les précipitations passées. Ils sont utiles pour les prévisions à plus long terme, comme les prévisions saisonnières. La précision des modèles statistiques dépend de la qualité et de la représentativité des données historiques utilisées, ainsi que de la stabilité des relations statistiques dans le temps.

### **2.4.4. Modèles de prévision basés sur l'apprentissage automatique :**

Les techniques d'apprentissage automatique, telles que **les réseaux de neurones artificiels**, les arbres de décision, sont de plus en plus utilisées pour la prévision des précipitations. Ces modèles apprennent à partir de grandes quantités de données historiques et sont capables de détecter des modèles complexes. Leur précision peut varier en fonction de la qualité des données d'entraînement et de la capacité du modèle à généraliser les schémas.

Il est important de noter que la précision des prévisions de précipitations dépend de nombreux facteurs, tels que la région géographique, la saison, la durée de prévision et la rareté des événements météorologiques extrêmes. La météorologie est une science complexe, et même les modèles les plus avancés peuvent rencontrer des difficultés à prédire avec précision les précipitations, en particulier à long terme et pour des événements rares ou localisés. Les utilisateurs de prévisions météorologiques doivent donc prendre en compte les incertitudes et consulter plusieurs sources pour obtenir une évaluation globale de la situation.

## **2.5. Revue historique sur les réseaux des neurones :**

- 1890 : W. James, célèbre psychologue américain introduit le concept de mémoire associative, et propose ce qui deviendra une loi de fonctionnement pour l'apprentissage sur les réseaux de neurones connue plus tard sous le nom de loi de Hebb.
- 1943 : J. Mc Culloch et W. Pitts laissent leurs noms à une modélisation du neurone biologique (un neurone au comportement binaire). Ceux sont les

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

premiers à montrer que des réseaux de neurones formels simples peuvent réaliser des fonctions logiques, arithmétiques et symboliques complexes (tout au moins au niveau théorique).

- 1949 : D. Hebb, physiologiste américain explique le conditionnement chez l'animal par les propriétés des neurones eux-mêmes. Ainsi, un conditionnement de type pavlovien tel que, nourrir tous les jours à la même heure un chien, entraîne chez cet animal la sécrétion de salive à 7 cette heure précise même en l'absence de nourriture. La loi de modification des propriétés des connexions entre neurones qu'il propose explique en partie ce type de résultats expérimentaux. [19]

Actuellement de nos jours, l'utilisation des réseaux de neurones dans divers domaines ne cesse de croître. Les applications en sont multiples et variées.

### **2.6. Présentation des réseaux de neurones artificiels :**

#### **2.6.1. Neurone biologique :**

Les cellules nerveuses, appelées neurones, sont les éléments de base du système nerveux central. Celui-ci en posséderait environ cent milliards. Les neurones possèdent de nombreux points communs dans leur organisation générale et leur système biochimique avec les autres cellules. Ils présentent cependant des caractéristiques qui leur sont propres et se retrouvent au niveau des cinq fonctions spécialisées qu'ils assurent :

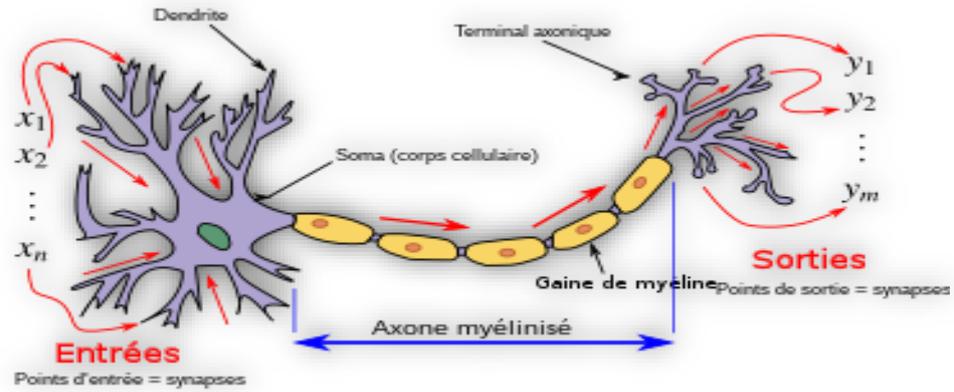
- Recevoir des signaux en provenance de neurones voisins ;
- Intégrer ces signaux;
- Engendrer un influx nerveux ;
- Le conduire ;
- Le transmettre à un autre neurone capable de recevoir.

#### **i. Structure du neurone biologique :**

Le neurone est constitué de trois parties (Figure 2.6) :

- Le corps cellulaire (soma ou péricaryon) ;
- Les dendrites ;
- L'axone.

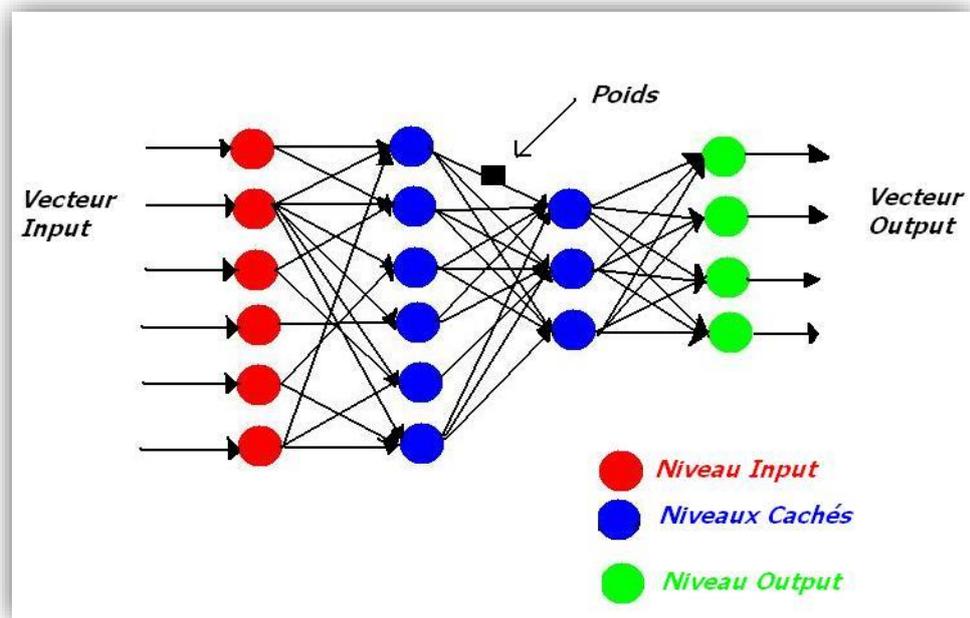
## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS



**Figure 2.6 :** modèle de neurone biologique (modèle de neurone biologique : Wikipédia).

### 2.6.2. Réseaux des neurones artificiels (RNA) :

Un réseau de neurones artificiels (RNA) est un modèle informatique inspiré du fonctionnement des neurones biologiques dans le cerveau humain (Figure 2.7).

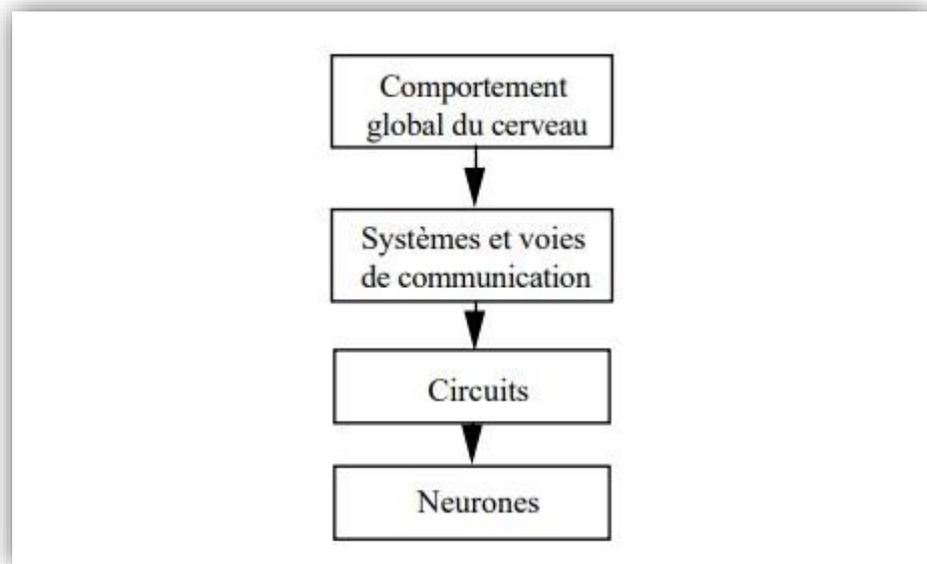


**Figure 2.7 :** schéma de fonctionnement d'un réseau de neurone (Différents types de réseaux neuronaux: université Gustave Eiffel).

Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle. Il est utilisé pour résoudre des problèmes complexes chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau (figure 2.8). [19]

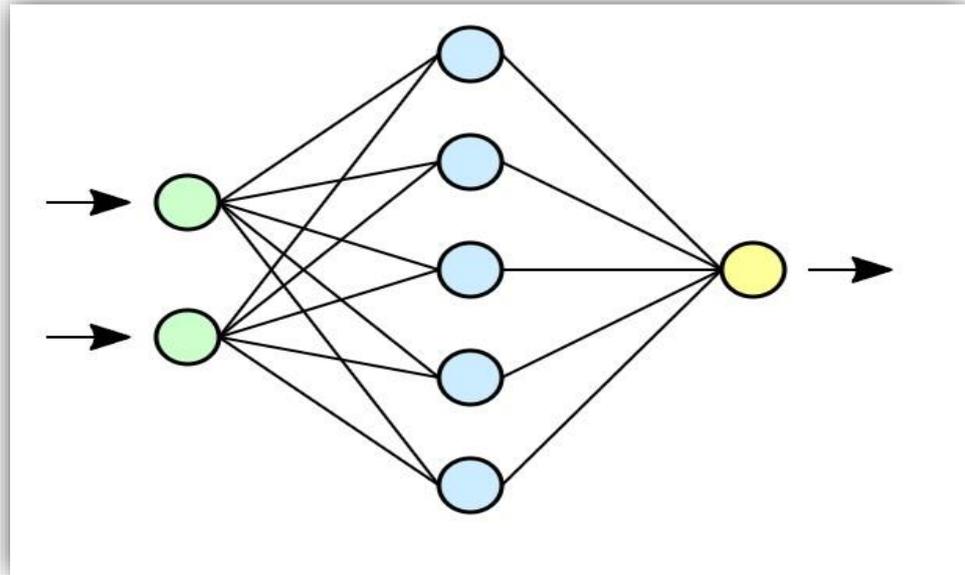
## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

Le fonctionnement d'un réseau de neurones artificiels repose sur une structure en couches composée de neurones artificiels interconnectés. Chaque neurone reçoit des entrées pondérées provenant d'autres neurones et applique une fonction d'activation pour produire une sortie. Les connexions entre les neurones sont renforcées ou affaiblies par un processus d'apprentissage, généralement réalisé grâce à un algorithme d'apprentissage supervisé tel que la rétro-propagation du gradient (figure 2.9).



**Figure 2.8** : Hypothèse biologique de génération d'un comportement intelligent.

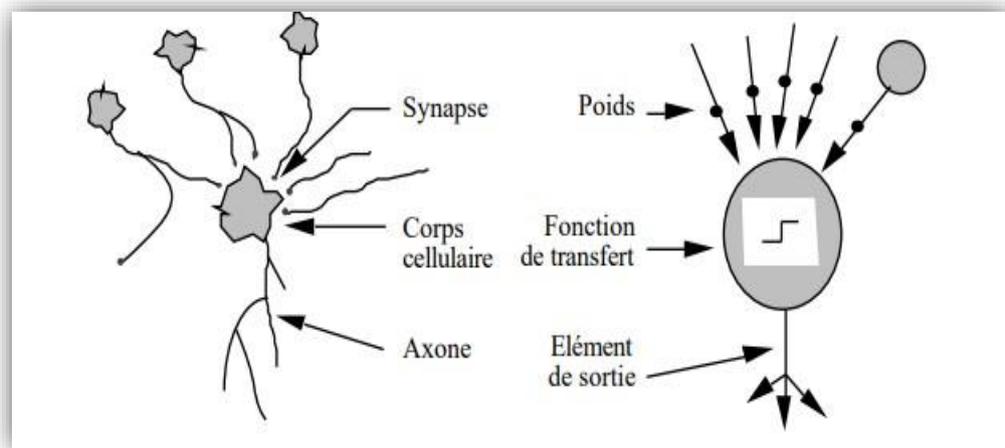
## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS



**Figure 2.9** : Vue simplifiée d'un réseau artificiel de neurones.

### i. La structure des neurones artificiels :

La (figure 2.10) montre la structure d'un neurone artificiel. Chaque neurone artificiel est un processeur élémentaire. Il reçoit un nombre variable d'entrées en provenance de neurones amonts. A chacune de ces entrées est associée un poids  $w$  abréviation de weight (poids en anglais) représentatif de la force de la connexion. Chaque processeur élémentaire est doté d'une sortie unique, qui se ramifie ensuite pour alimenter un nombre variable de neurones avals. A chaque connexion est associée un poids. [19]



**Figure 2.10** : Mise en correspondance neurone biologique / neurone artificiel.

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

### **2.7. Les différents types des RNA :**

Il existe de nombreux types de réseaux neuronaux, on peut les diviser en deux grandes catégories selon la nature de leur algorithme d'apprentissage. En effet, les premiers sont dits supervisés car, lors de l'apprentissage, ils doivent disposer d'un professeur capable de leur indiquer ce qui devrait être produit en sortie pour chacune des informations fournies en entrées. Les seconds sont dits non supervisés car ils arrivent à s'auto-organiser.

#### **2.7.1. Le perceptron (réseau à couches) :**

Le perceptron multicouche, également connu sous le nom de réseau de neurones à couches multiples, est une extension du perceptron simple qui permet de modéliser des problèmes plus complexes en utilisant plusieurs couches de neurones. Dans un perceptron multicouche, les neurones sont organisés en couches, avec une couche d'entrée, une ou plusieurs couches cachées et une couche de sortie. Chaque neurone dans une couche est connecté à tous les neurones de la couche précédente et de la couche suivante.

L'avantage d'un perceptron multicouche réside dans sa capacité à modéliser des problèmes non linéaires et à apprendre des représentations hiérarchiques des données. En utilisant des couches cachées, le réseau peut capturer des relations complexes entre les caractéristiques d'entrée et produire des prédictions plus précises.

#### **2.7.2. Le modèle de Kohonen :**

Ce réseau de neurones peut être considéré comme dynamique, des neurones peuvent être détruits et créés, le réseau n'a pas de taille fixe. Généralement ce réseau est appelée carte de kohonen, en effet ce réseau est représenté à plat comme une grille rectangulaire à 1, 2, 3 ou 4 dimensions. Les applications sont multiples ; sélection de données représentatives dans une grande base de cas, compression d'images, diagnostic de pannes, optimisation combinatoire.

#### **2.7.3. Le modèle de Hopfield :**

Représente un réseau sans structure de couches, ni de sens de propagation, composé de N cellules. Ce réseau se rapproche le plus du fonctionnement du cerveau humain.

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

### **2.7.4. Le modèle d'Elman :**

Dans un réseau de neurones récurrents d'Elman, chaque unité de neurone a une connexion récurrente avec elle-même, ce qui lui permet de conserver une mémoire des états précédents. Ainsi, le réseau peut prendre en compte les informations contextuelles des instants de temps précédents lors de la prédiction du prochain instant de temps.

### **2.8. Architecture des réseaux de neurones :**

L'architecture est un concept très important qui joue un rôle déterminant dans la classification des RNA. Dans la littérature on utilise souvent le mot structure comme synonyme d'architecture. [20]

Chaque architecture a sa propre organisation qui est adaptée à des applications bien spécifiques.

On distingue deux structures de réseau :

- Les réseaux «Feedforward» (ou non bouclés, ou statiques, ou acycliques).
- Les réseaux «Feedback» (ou Récurrents ou bouclés, ou dynamiques, ou cycliques).

### **2.9. Elaboration d'un réseau de neurone :**

Les réseaux de neurones réalisent des fonctions non linéaires paramétrées.

La mise en œuvre d'un réseau de neurones nécessite donc : [20]

- De déterminer les entrées pertinentes, c'est à dire les grandeurs qui ont une influence significative sur le phénomène que l'on cherche à modéliser;
- La collecte des données nécessaires à l'apprentissage et à l'évaluation des performances du réseau de neurones;
- La détermination du nombre de neurones cachés nécessaires pour obtenir une approximation satisfaisante;
- La réalisation de l'apprentissage;
- L'évaluation des performances du réseau de neurones à l'issue de l'apprentissage ;

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

- Utilisation du réseau pour la prévision.

### **2.10. Apprentissage des réseaux de neurones :**

Selon [20] L'apprentissage est une étape très importante du développement d'un réseau de neurones durant laquelle le comportement du réseau est modifié itérativement jusqu'à l'obtention du comportement désiré, et ce par l'ajustement des poids (connexion ou synapse) des neurones à une source d'information bien défini.

Dans la majorité des algorithmes actuels, les variables modifiées pendant l'apprentissage sont les poids des connexions. L'apprentissage est la modification des poids du réseau dans l'optique d'accorder la réponse du réseau aux exemples et à l'expérience. Les poids sont initialisés avec des valeurs aléatoires. Puis des exemples expérimentaux représentatifs du fonctionnement du procédé dans un domaine donné, sont présentés au réseau de neurones. Ces exemples sont constitués de couples expérimentaux de vecteurs d'entrée et de sortie. Une méthode d'optimisation modifie les poids au fur et à mesure des itérations pendant lesquelles on présente la totalité des exemples, afin de minimiser l'écart entre les sorties calculées et les sorties expérimentales.

On distingue trois types d'apprentissages : [21]

#### **i. L'apprentissage supervisé :**

Les poids sont évalués en minimisant l'erreur (entre sortie souhaitée et sortie obtenue) sur une base d'apprentissage.

Si  $y = (y_1, \dots, y_n)$  est la sortie désirée et  $\hat{y} = (\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_n)$  la sortie estimée.

Les poids seront actualisés si l'erreur quadratique n'est pas minimale.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.1)$$

#### **ii. L'apprentissage semi supervisé :**

Cet apprentissage est identique au précédent dans la mesure où il se base sur la présence d'une sortie binaire.

#### **iii. L'apprentissage non supervisé :**

On ne dispose pas de base d'apprentissage.

L'apprentissage repose alors sur un « critère interne » de conformité du comportement du réseau par rapport à des spécifications générales et non sur des observations.

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

### 2.10.1. Règles d'apprentissage :

L'apprentissage d'un réseau de neurones artificiels se base sur des règles d'apprentissage.

Nous citons ci-après les règles les plus répandues :

- La règle de Hebb
- La règle Delta
- La règle de correction d'erreurs
- La règle de retro-propagation.

### 2.10.2. Algorithme d'apprentissage :

L'algorithme d'apprentissage est la méthode mathématique qui va modifier les poids de connexions afin de converger vers une solution qui permettra au réseau d'accomplir la tâche désirée. L'apprentissage est une méthode d'identification paramétrique qui permet d'optimiser les valeurs des poids du réseau.

### 2.10.3. Calcul de la valeur prédite :

Le calcul de la valeur prédite par un réseau de neurones se compose de quelques étapes simples.

- Premièrement, on calcule une série de combinaison linéaire des variables explicatives.

$$v_i = \alpha_{i,0} + \sum_{j=0}^n \alpha_{i,j} x_j \quad (2.2)$$

Où:  $x_j$  est la  $j$  eme de  $n$  variables explicatives et  $\alpha_{i,0}$  et  $\alpha_{i,j}$  sont les coefficients de la  $i$  eme combinaison linéaire. Le résultat de combinaison linéaire  $v_i$ , représente une projection dans une direction de l'espace des variables explicatives. Chacune de ces projections combine de l'information provenant potentiellement de plusieurs variables.

- La seconde étape consiste à appliquer une transformation non linéaire à chacune des combinaisons linéaires afin d'obtenir les valeurs de ce que l'on appelle les unités cachées ou neurones qui forment l'ensemble de la couche cachée, et pour cela on utilise une fonction de transfert avec une expansion infinie dans ses termes joue un rôle fondamental dans la capacité d'un réseau de neurones de capter les dépendances de haut niveau entre les variables explicatives. [22]

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

### **2.10.4. 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.

Une fois le réseau de neurones est développé, des tests s'imposent afin de vérifier la qualité des prévisions du modèle neuronal. Cette dernière étape doit permettre d'estimer la qualité du réseau obtenu en lui présentant des exemples qui ne font pas partie de l'ensemble d'apprentissage.

Une validation rigoureuse du modèle développé se traduit par une proportion importante de prédictions exactes sur l'ensemble de la validation. Si les performances du réseau ne sont pas satisfaisantes, il faudra, soit modifier l'architecture du réseau, soit modifier la base d'apprentissage. [23].

### **2.11. Prévision par réseaux de neurones :**

Grâce aux propriétés énoncées dans ce chapitre, les réseaux de neurones ont été très utilisés en hydrologie. La relation pluie-débit, et généralement les phénomènes hydrologiques sont considérés comme dynamiques, non linéaires et souvent difficiles à modéliser ; l'application de l'apprentissage statistique à ce champ scientifique est donc logique [24].

Plus particulièrement en ce qui concerne la prévision, celle-ci n'étant pas la vocation première des modèles hydrologiques, il apparaît cohérent d'utiliser des méthodes de type boîtes noires qui peuvent intégrer d'autres phénomènes que les phénomènes purement hydrologiques, (comme par exemple l'absence de données météorologiques futures ou des relations statistiques) en intégrant même une certaine anticipation sur ces données.

Enfin, du fait même du manque de connaissance sur les processus engagés dans le fonctionnement de certains systèmes hydrologiques, l'utilisation de modèles de type boîte noire peut être envisagée très logiquement.

La prévision peut être définie comme l'estimation de la sortie d'un processus physique à un instant postérieur à l'instant présent discret, L'horizon de prévision est le laps de temps entre l'instant de prévision et l'instant de cette estimation. Dans le cas d'un modèle discret, l'horizon de prévision est un multiple de la période d'échantillonnage.

## CHAPITRE II : MODELES DE PREVISION DES PRECIPITATIONS

[25] proposent une synthèse de la méthode de conception d'un prédicteur neuronal :

- Le préalable en est l'établissement d'un modèle postulé du comportement du processus non-linéaire pour lequel on souhaite obtenir des prévisions en fonction de la connaissance du mode d'action des perturbations non mesurables.
- La sélection de variables appropriées pour les entrées et les sorties.
- Le choix de la représentation du modèle : soit état (modélisation des conditions dans le système) soit entrée-sortie (modélisation de la sortie à partir des entrées).
- Le choix de l'horizon de prévision souhaité en fonction des variables d'entrée futures disponibles, et l'ordre du modèle s'il est récurrent et sa complexité.

### **Conclusion :**

Les prévisions hydrologiques sont des outils importants pour la gestion des ressources en eau et la prévention des inondations. Elles reposent sur l'analyse de données et l'utilisation de modèles mathématiques pour estimer les conditions futures des cours d'eau et des rivières. Ce chapitre nous a permis de mieux comprendre les modèles de prévision des précipitations et l'utilisation des réseaux de neurones artificiels dans ce domaine. Ces outils peuvent apporter des améliorations significatives dans la précision des prévisions météorologiques, ce qui est essentiel pour la prise de décisions éclairées dans de nombreux secteurs d'activité.

Les réseaux de neurones artificiels se révèlent extrêmement utiles dans la prévision des précipitations. Ces modèles d'apprentissage automatique sont capables de traiter de grandes quantités de données météorologiques, d'identifier des schémas complexes et de générer des prévisions précises.

*CHAPITRE III :*  
*PRESENTATION DE LA ZONE*  
*D'ETUDE*

*D'ETUDE*  
*PRESENTATION DE LA ZONE*  
*D'ETUDE*

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### **Introduction :**

L'Algérie s'étend entre les latitudes 18° et 38° Nord et entre les longitudes 9° Ouest et 12° Est. Par sa superficie (2 381 741 kilomètres carrés), l'Algérie est le premier plus grand pays d'Afrique. Elle s'étend du Nord au Sud sur une distance d'environ 2 000 km, de la côte méditerranéenne au massif du Hoggar, et de l'Est à l'Ouest sur une distance de 1 800 km, d'In Amenas jusqu' à Tindouf. Le méridien d'origine (Greenwich) passe à proximité de Mostaganem.

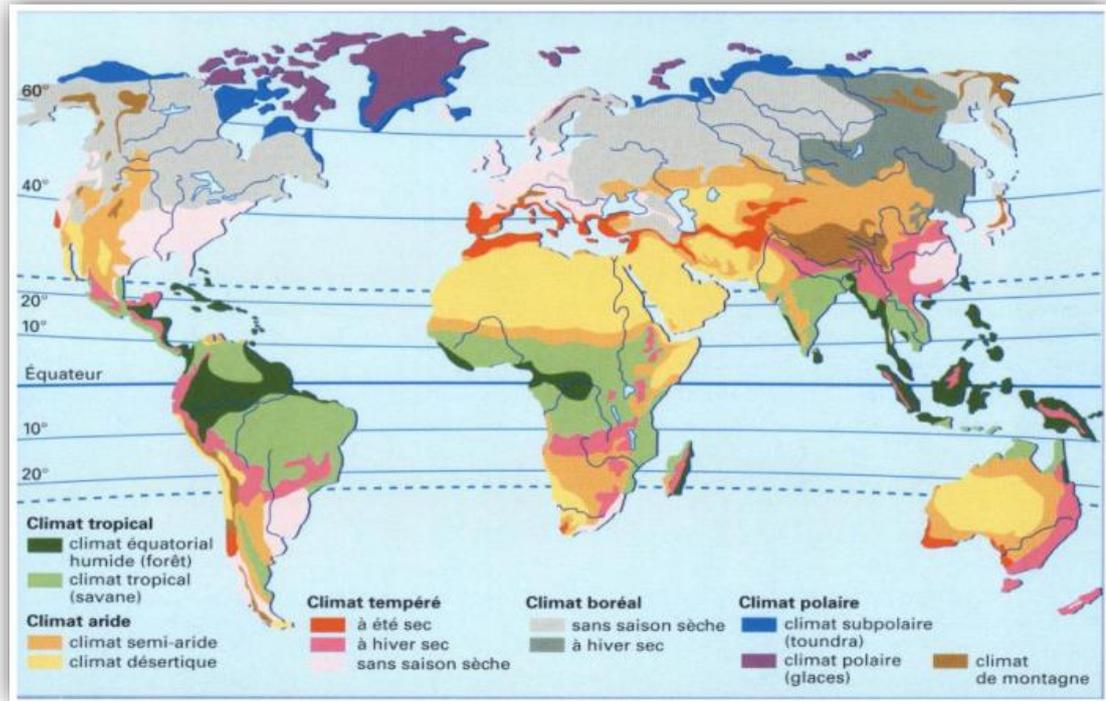
La partie nord de l'Algérie, qui a fait l'objet de cette étude, vue l'importance des phénomènes hydrologiques qui s'y rencontrent, couvre une superficie d'environ 365 000 Km<sup>2</sup>. Elle est limitée au Nord par la Mer Méditerranéenne sur une distance de 1 280 kilomètres, à l'Est par la Tunisie, à l'Ouest par le Maroc et au Sud par le Sahara Algérien.

Dans ce chapitre nous allons décrire la zone hydrographique du nord Algérien qui est divisée en quatre grands bassins hydrographiques.

### **3.1. Les zones climatiques du monde :**

Il existe plusieurs classifications du climat dans le monde. La plus ancienne et la plus universellement reconnue en climatologie est la classification de Koppen. Elle tient compte du couvert végétal (bioclimatologie). Cinq groupes climatiques étant subdivisé en sous classes sont proposés par cette classification (figure 3.1) [26]

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE



**Figure 3.1** : Cartographie des climats dans le monde (MERLE, 2006).

Les cinq principales zones climatiques de la classification de Köppen sont :

- Climat tropicale ;
- Climat aride ;
- Climat tempéré ;
- Climat polaire ;
- Climat boréal.

### **3.2. Climat en Algérie :**

L'Algérie est un pays de la zone subtropicale du Nord-africain. Son climat est très différent entre les régions (Nord-Sud, Est-Ouest). Il est de type méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'atlas tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais), semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays (entre l'Atlas tellien et l'atlas saharien), et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'atlas saharien [1]. L'influence du nord-ouest apporte des courants froids et humides, et celle du sud est beaucoup plus liée à des courants chauds et secs [27]. Les précipitations sont caractérisées par une variabilité très marquée entre le Nord et le Sud et entre l'Est et l'Ouest. A la décroissance des

### CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

pluies du Nord au Sud se superpose une décroissance de l'Est à l'Ouest. La tranche de pluie annuelle décroît à mesure que l'on avance aussi vers le Sud et l'Ouest. Au Sud de l'atlas saharien, les précipitations annuelles tombent à moins de 100 mm, cette valeur étant habituellement considérée comme marquant le début du désert [2]. Le caractère aride et semi-aride du pays s'explique en grande partie par le climat à travers la circulation générale atmosphérique [28]. D'après la récente classification de Rivas-Martinez (2005), elle fait partie intégrante du macroclimat méditerranéen.

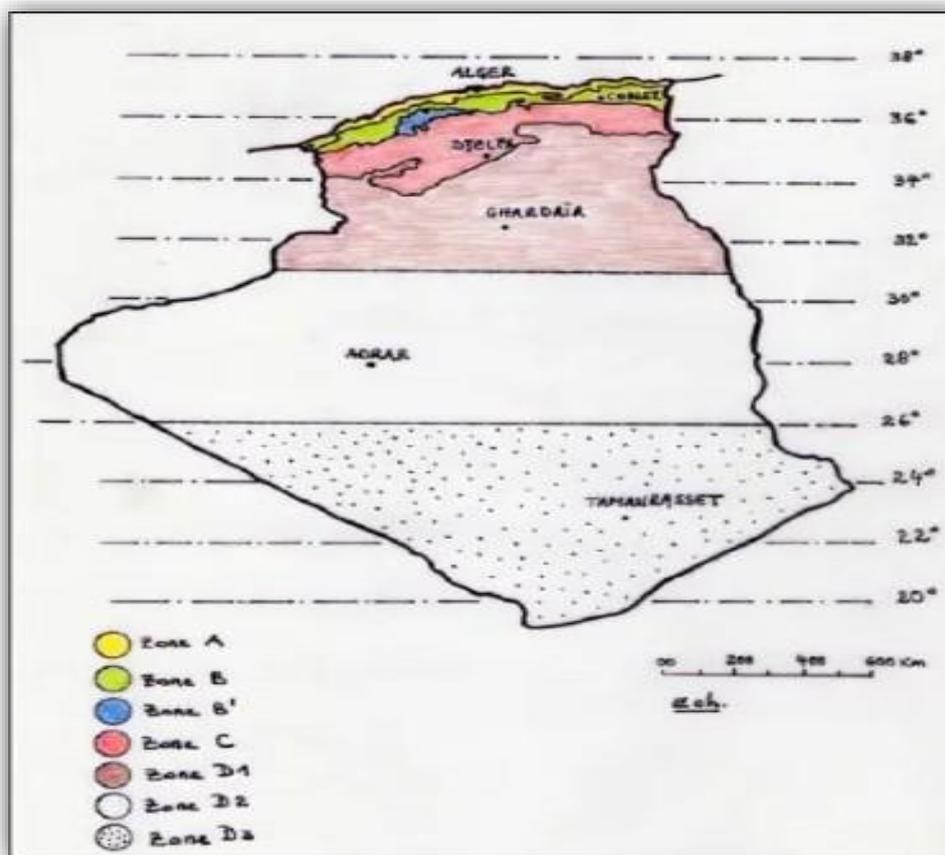
On définit pour l'Algérie les zones suivantes (figure 3.2) :

- 4 zones climatiques et une sous zone au Nord
- 3 zones climatiques au Sud.

Pour chaque zone, on distingue les sites d'altitude inférieure à 500 m, comprise entre 500 et 1000 m et supérieure à 1000 m.

- **La zone A:** Elle comprend le littoral et une partie du versant Nord des chaînes côtières (climat méditerranéen maritime).
- **La zone B:** Elle comprend la plaine et les vallées comprises entre les chaînes côtières et l'Atlas Tellien, autre que celle de Chleff (climat méditerranéen continental).
- **La zone B':** C'est une sous-zone de la zone B. Elle comprend la vallée de Chleff, comprise entre la chaîne de l'Ouarsenis et les montagnes du Dahra et des Braz.
- **La zone C:** Elle comprend les hauts plateaux entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien, avec des altitudes supérieures à 500 m (climat méditerranéen de montagne).
- **La zone D1 :** Elle comprend le Sahara au-delà de l'Atlas Saharien jusqu'à la latitude 31°.
- **La zone D2 :** Elle comprend le Sahara au-delà de la latitude 31° jusqu'à la latitude 26°.
- **La zone D3 :** Elle comprend le Sahara au-delà de la latitude 26° jusqu'aux frontières Sud.

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE



**Figure 3.2** : carte des zones climatiques en Algérie (B. Belgaid).

L'Algérie, a toujours été confrontée à des phénomènes extrêmes ; des sécheresses périodiques parfois sévères et persistantes, et des crues avec des inondations qui se manifestent, le plus souvent, de façon catastrophique.

### **3.3. Ressources en eau et découpage hydrographique en Algérie:**

Le pays est divisé en cinq bassins hydrographiques regroupant les 19 bassins versants du pays (figure 3.3) ; (tableau 3.1). Les ressources en eau superficielle renouvelables internes totalisent environ  $9.8 \text{ km}^3$  /an pour l'ensemble du pays dont le Sahara, bassin le plus important par la surface, ne renferme que  $0.6 \text{ km}^3$ . Les ressources en eau souterraine renouvelables contenues dans les nappes du nord du pays sont estimées à près de  $1.5 \text{ km}^3$  /an. Ces nappes sont alimentées essentiellement par les précipitations dont la répartition demeure irrégulière à la fois dans le temps et dans l'espace. Le sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraines très importantes provenant des nappes du continental intercalaire et du complexe terminal. Si l'on considère qu'il

### CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

n'existe pas de partie commune entre eaux de surface et eaux souterraines, les ressources totales renouvelables internes s'élèvent à 11.3 km<sup>3</sup>/an. Les ressources exploitables sont évaluées à 7.9 km<sup>3</sup> /an [29].

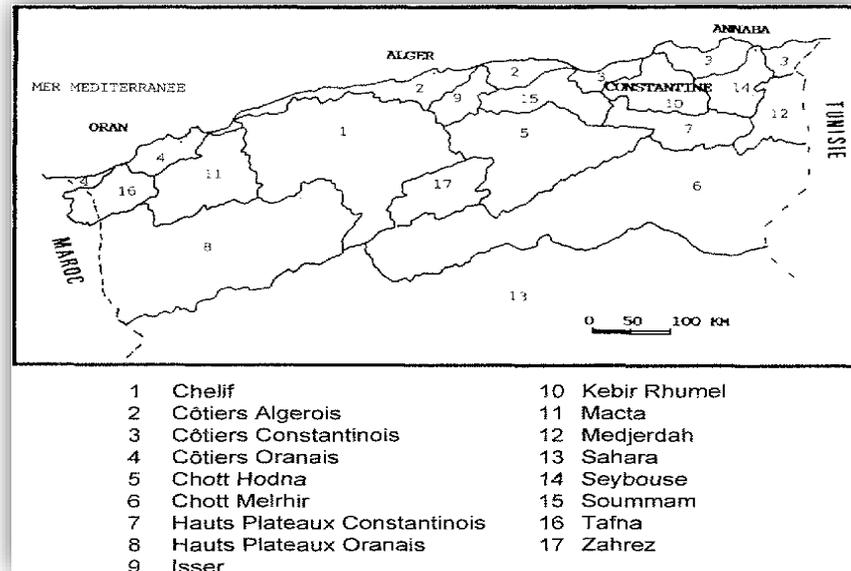


Figure 3.3 : Les principaux bassins versants de l'Algérie.

Tableau 3.1 : Bassins versants par bassins hydrographiques

Bassins hydrographiques	Superficie en Km <sup>2</sup>	Bassins versants
<b>Oranie-Chott Chergui</b>	77 169	Côtiers oranais Macta Tafna Chott Chergui
<b>Chélif-Zahrez</b>	56 227	Côtiers Dahra Chélif Chott Zahrez
<b>Algérois-Hodna-Soummam</b>	47 431	Côtiers algérois Sébaou Isser Soummam Chott Hogna
<b>Constantinois-Seybousse-Mellegue</b>	44 348	Côtiers constantinois Kébir Rhumel Medjerdah Mellegue

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

		Seybousse Hauts Plateaux Constantinois
<b>Sahara</b>	2 018 054	Sahara Chott Melghi

### **3.3. Présentation de la zone d'étude :**

Afin de promouvoir une meilleure gestion de la ressource en eau, dès 1996 le territoire algérien a été découpé en cinq (05) régions.

L'étude s'est intéressée aux bassins du nord Algérien qui se subdivise en quatre grands bassins hydrographiques (figure3.4) :

- Oranie-Chott Chergui ;
- Chélif-Zahrez ;
- Algérois-Hodna-Soummam ;
- Constantinois-Seybousse-Mellegue.

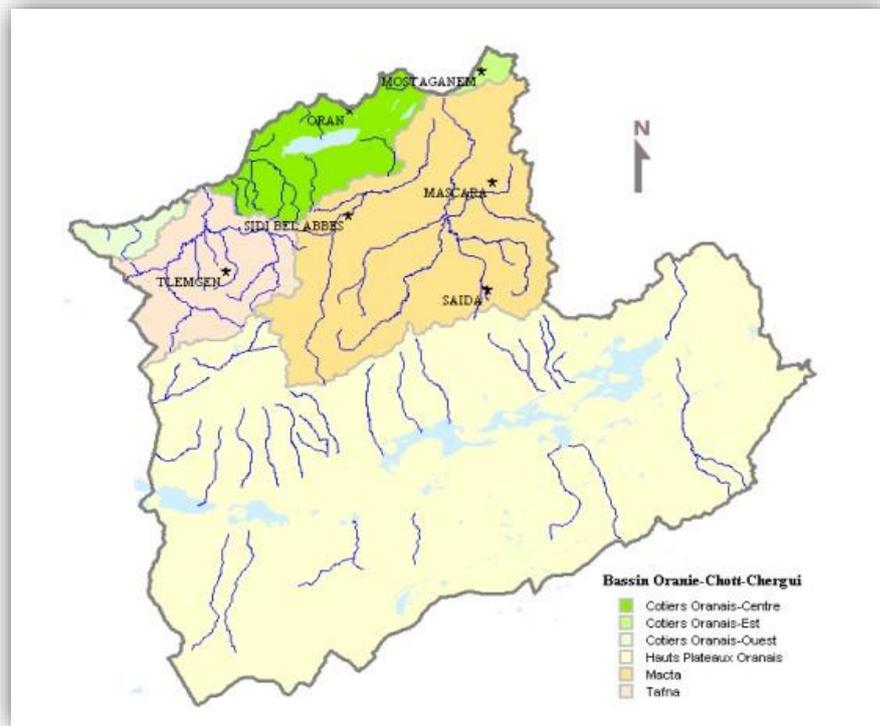


**Figure 3.4 :** Découpage de l'Algérie en régions hydrographiques (AGIRE, 2018).

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### 3.3.1. Oranie-Chott-Chergui :

La région hydrographique Oranie-Chott-Chergui couvre une superficie d'environ 77 169 km<sup>2</sup>, soit le tiers de l'Algérie du Nord. Elle se localise à l'Ouest de l'Algérie et est limitée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par la région Chélif Zahrez, à l'Ouest par le Maroc et au Sud par le bassin du Sahara (figure 3.5).



**Figure 3.5 :** Région hydrographique Oranie (Rezak Salima, 2014).

La population de cette région a atteint 4.5 millions d'habitants en 1995 dont 2.9 millions en milieu aggloméré et 1.7 millions en milieu éparse. L'activité de la région porte sur différents domaines, qui sont l'industrie, l'agriculture et le tourisme. La pluviométrie moyenne de la région Oranie-Chott-Chergui est évaluée à 318 mm ce qui est traduit par un volume d'eau précipitée de 24.600 millions de m<sup>3</sup> ; quant aux écoulements annuels en eau de surface, ils sont estimés à environ à 971 millions de m<sup>3</sup> « ANRH, 1999 ».

Le relief est caractérisé par des plaines intercalées entre quelques petits massifs [31] :

- plaine de Maghnia, limitée au Nord par les Monts des Traras, à l'Ouest par la frontière marocaine, à l'Est par la vallée de la Tafna et

### CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

par les Monts de Tlemcen au Sud. Le substratum de cette plaine est constitué par les marnes du Miocène considérées imperméables. Ce substratum a été atteint par des forages à des profondeurs variant entre 20 à 120 mètres ;

- massif du Murdjadjo qui est limité au Nord par la plaine côtière de Ain Türk, à l'Est, par le plateau des Hassis, à l'Ouest, par la plaine de M'Leta et par la Sebkha d'Oran, au Sud ;
- plaine de Brédeah qui est limitée au Nord par le massif de Murdjadjo, à l'Ouest, par la plaine de M'Leta, à l'Est, par le plateau de Hassis et par la Sebkha d'Oran, au Sud. Elle est constituée par les alluvions rouges à galets très étendus dans la plaine bordière de la Sebkha d'Oran. Elle est exploitée par des puits. Son niveau est à faible profondeur.
- plaine côtière d'Ain Türk, limitée au Nord par la mer Méditerranée et par le massif de Murdjadjo au Sud-Ouest ;
- plateau de Mostaganem, qui occupe une superficie de 500 km<sup>2</sup> ; il est limité au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par les Monts des Beni Chougrane, à l'Est par la plaine du Chélif et à l'Ouest par la plaine de Habra-Sig. Le plateau de Mostaganem est constitué par des rides anticlinales SW-NE, pliocènes et post-pliocènes recouvertes, soit par la lumachelle calabrienne, soit par des dunes. Pendant le Quaternaire, les fleuves ont contourné cette région par l'W (Hillil-Mina) et par le N (Chélif), et la prédominance de l'infiltration sur le ruissellement dans des terrains très perméables a été la cause de la formation de nombreux bassins fermés. Par ailleurs, les phénomènes de surcreusement n'ont pas eu lieu en l'absence de formations salifères. Enfin, les matériaux très sableux ont été remis en mouvement par le vent à différentes époques ;
- les Monts de Tlemcen, limités au Nord par les Monts des Traras, à l'Ouest par la frontière marocaine, à l'Est par la plaine de Sidi-Bel-Abbès et par le bassin du Chott Chergui.

### CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Cette région comprend quatre bassins versants qui se jettent dans la mer et un grand bassin versant endoréique (Haut plateau Oranais). Ces bassins versants sont comme suit: [31]

#### i. **Bassin versant de la Macta :**

Appartenant à un ensemble géographique assez homogène, le bassin de la Macta s'étend sur une superficie de 14389 km<sup>2</sup>, et est composé de 16 sous bassins versants. Il est limité au Nord-Ouest par les chaînes montagneuses du Tessala, au Sud par les Hauts plateaux de Maalif, à l'Ouest par les plateaux de Télagh et à l'Est par les monts de Saida. Le relief est caractérisé par des plaines et des montagnes :

- plateau de Saida, limité par la plaine d'Eghriss au Nord, les Monts de Tiaret à l'Est, les Monts des Daïa à l'Ouest et le bassin du Chott Chergui au Sud ;
- plaine d'Eghriss, d'une superficie de 472 km<sup>2</sup> et qui est limitée au Nord par les Monts des Beni Chougrane, au Sud par les Monts de Saida, à l'Ouest par la vallée de l'Oued Melghir ;
- plaine de Sidi Bel Abbes est une cuvette couvrant une superficie de 480 km<sup>2</sup>, limitée au Nord par les Monts de Tessala, au Sud par les Monts de Tlemcen-Saïda, à l'Ouest par la vallée de l'Oued Isser et à l'Est par la chaîne des Beni Chougrane. Cette plaine correspond au bassin versant de la moyenne Mekerra, entre la cluse de Sidi Ali Benyoub et le seuil du Rocher, en aval de la ville de Sidi Bel Abbes.

Tel qu'il se présente, de par son réseau hydrographique très dense à l'amont et allongé en aval, le bassin, situé dans le versant des hautes plaines oranaises, peut être classé parmi les régions semi-arides. Les crêtes montagneuses se relayent du Sud-Ouest au Nord-Est, pouvant atteindre localement les 1700 m d'altitude. Les cotes maximales, formant les limites du bassin au Sud, constituent un véritable seuil naturel climatique séparant ainsi deux régimes pluviométriques opposés : Continental Saharien, pour les flancs Sud et Méditerranéen humides, pour les flancs Nord.

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### a) Pluviométrie du bassin de la Macta :

La pluviométrie annuelle décroît du Nord vers le Sud, et varie en moyenne de 300 à 550 mm. Localement, elle peut atteindre 600 mm, voire 700 mm sur les crêtes des Monts de Saïda, à Aouf.

### ii. Bassin versant de la Tafna :

Le bassin versant de la Tafna s'étend sur la totalité de la Wilaya de Tlemcen (77% de la superficie totale) et déborde sur le royaume du Maroc. Le principal Oued du bassin versant est l'Oued Tafna. Ce dernier prend sa source dans la grotte de Ghar Boumaâza dans les monts de Tlemcen avec une longueur qui atteint 150 kilomètres. Le bassin hydrographique de la Tafna a une superficie de 7 250 km<sup>2</sup> et regroupe cinq barrages qui sont du plus ancien au plus récent Beni Bahdel (66 Hm<sup>3</sup>), Meffrouch (15 Hm<sup>3</sup>), Sidi Abdelli (110 Hm<sup>3</sup>), Hammam Bouhrara (177 Hm<sup>3</sup>) et le barrage de Sikkak (27 Hm<sup>3</sup>). La Tafna a deux affluents importants, l'Oued Isser et l'Oued Mouilah; plusieurs affluents forment un réseau hydrographique discontinu dans le temps et dans l'espace. Certains sont permanents et ne tarissent jamais en amont. Ils sont représentés par les Oueds Khemis, Mouilah, Isser, Sikkak, et Chouly. D'autres sont temporaires car ils ne sont pas alimentés par des sources et dépendent donc des précipitations.

Du point de vue de l'apport liquide, la haute Tafna reçoit annuellement 29.63 Hm<sup>3</sup>, un volume proche de celui reçu par Oued Isser (29.53 Hm<sup>3</sup>) malgré que la superficie du premier ne représente que 22.4% de celle du second. Le bassin d'Oued Mouilah reçoit quant à lui 64.13 Hm<sup>3</sup> [32].

### iii. Bassin versant Haut-plateau Oranais :

Ce bassin versant est l'un des plus grands bassins de l'Algérie et de la région hydrographique Oranais Chott Ech chergui, d'une superficie d'environ 49.580 km<sup>2</sup> soit 64,4% de la superficie totale de la région hydrographique. Il se caractérise par la présence de plusieurs zones endoréiques dont on peut citer, Chott Ech Chergui et Chott Dahrani.

Le Chott Ech Chergui est situé sur les Hautes plaines oranaises dans une région steppique, aride, où l'eau est souvent temporaire ; Il se localise à 80 km au Sud-Est de la wilaya de Saïda et à 530 km au Sud-Ouest d'Alger, couvrant une superficie de 855 500 hectares avec une altitude maximale de 1000 m.

### CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Administrativement, il appartient à la wilaya de Saïda, Daïra de Hassasna et Commune de Aïn Skhouna.

Cette zone endoréique est une vaste dépression fermée permanente qui est considérée comme la plus grande en Afrique du Nord, elle contient de nombreux milieux d'eau douce, salée et saumâtre, voire thermale, de dimension largement internationale au vue de la biodiversité qu'elle renferme. Le Bassin du Haut-plateau Oranais est caractérisé par le chevelu hydrographique très peu développé (La densité de drainage du bassin de 0,33 Km/ Km<sup>2</sup> est très faible). Le plus grand nombre des Oueds situant au Nord prennent leurs origines dans les crêtes de l'Atlas Tellien au Nord et se déversent dans le Chott Ech Chergui au Sud. Les Oueds situant au Sud prennent leurs origines du flanc Nord de l'Atlas Saharien au Sud et s'écoulent en direction du Nord. Le régime des cours d'eau est très irrégulier et le débit d'étiage est nul ou insignifiant durant la période sèche [33]. Les principaux Oueds du bassin Haut-plateau Oranais sont : Oued Nasser, totalisant une longueur plus de 75 km, Oued Falette et Oued Hamaimat, présentant une longueur plus de 60 km.

Les Oueds tributaires du bassin n'ont pas d'écoulement engendrant des torrents mais quelques irrégularités de débits, parfois importantes. Ce bassin ne présente pas le caractère d'érosion intensif. Le transport solide est faible et de texture fine car les pentes sont faibles [33]. Son humidité moyenne varie entre 37% et 74,5% et sa température moyenne annuelle est de 14,8 °C. Ce bassin est essentiellement caractérisé par des vents qui viennent de l'Ouest et du Nord, quant aux vents qui viennent du Sud, ils sont relativement faibles et provoquent souvent des siroccos.

#### iv. Côtier Oranais :

Le Côtier Oranais regroupe trois bassins versants (Côtier Oranais Est, Côtier Oranais Centre et Côtier Oranais Ouest), il s'étend sur une superficie de 5 887.4 km ; Le plus grand est celui du Côtier Oranais Centre avec une superficie d'environ 4 621 km<sup>2</sup>. Ce dernier abrite la sebkha d'Oran qui est une dépression salée de type endoréique et les salines d'Arzew (5.778 ha) Il est composé de :

- **Sous Bassin Côtier Occidental** : est caractérisé par plusieurs affluents qui dévalent des monts des Traras (1021 m d'altitude) et

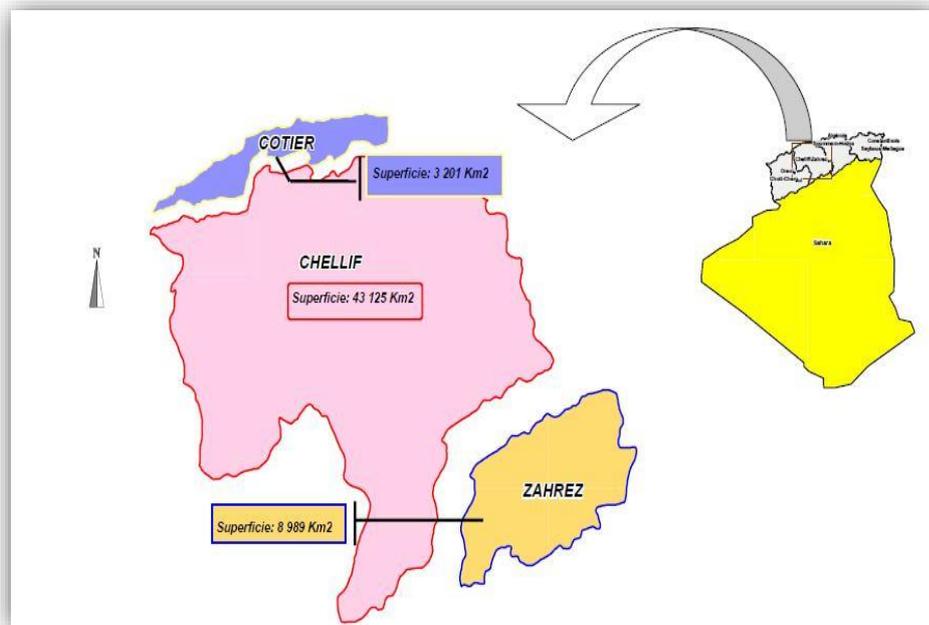
## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

débouchent directement dans la mer. Parmi ses principaux oueds :  
Oued Marsa.

- **Sous Bassin Côtier Central** : occupant la plus grande partie de la superficie totale de l'ensemble du bassin des Côtiers Oranais avec un pourcentage de 80% ; il est caractérisé par la présence de dépressions sublittorales endoréiques (Sebkha d'Oran, saline d'Arzew). L'Oued le plus important est celui d'El Maleh, qui prend son origine des hauteurs des monts des Tessala avec deux principaux affluents : Oued Meteguer et Oued Senane.
- Les principaux Oueds du **Sous Bassin Côtier Oriental** sont: Oued Tine qui prend son origine de Sirat dans un terrain argileux jusqu'aux marais de la Macta et Oued Ain Sefra qui prend naissance dans la zone Est de la ville de Mostaganem.

### 3.3.2. Cheliff-Zahrez :

Couvrant une superficie de 56 000 km<sup>2</sup> (soit plus de 22 % de la superficie de l'Algérie du Nord ; elle est limitée à l'Ouest par Oranie-Chott-Chergui, à l'Est par Algérois-Hodna-Soummam, au Nord par la méditerranée sur un littoral d'environ 200 kilomètres et au Sud par le Sahara (figure 3.6).

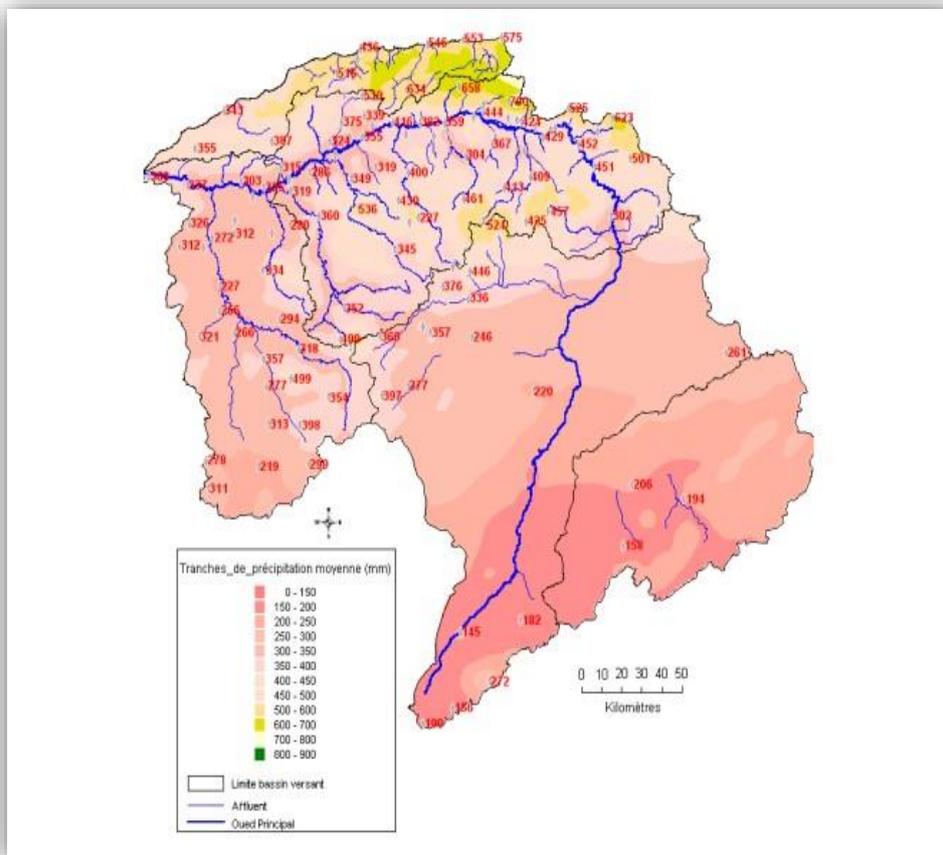


**Figure 3.6** : situation géographique du bassin hydrographique de Cheliff-Zhrez (AGIRE, 2016).

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### b) Pluviométrie des deux bassins Cheliff-Zahrez:

La pluviométrie moyenne annuelle atteint 418 millimètres, correspondant à un volume d'eau précipité de 23 500 Millions de m<sup>3</sup>. Cela constitue des écoulements superficiels de 1947 millions de m<sup>3</sup> (figure 3.7).



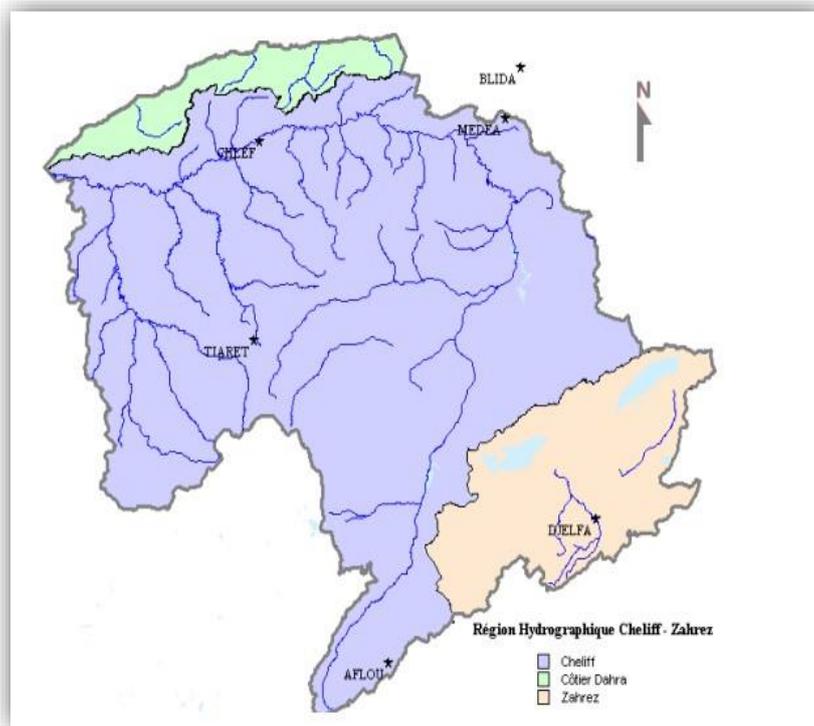
**Figure 3.7 :** carte pluviométrique et tranches de précipitation moyenne de la région hydrographique Chélif-Zhrez (Mehaiguene, 2005).

Cette région comporte deux bassins versants : bassin versant du Cheliff et le bassin versant de Zahrez : [31]

#### v. Bassin versant du Cheliff :

Situé au Nord-Ouest de l'Algérie du Nord, le bassin versant du Cheliff s'étend sur une superficie de 43 816.41 km<sup>2</sup> ; Dans le centre à l'amont du barrage Oued Fodda, le bassin versant de Cheliff atteint une altitude maximale de 1950 mètres, la longueur de son thalweg principal est de 759 m. La plupart des sols sont de nature alluviale, constitués essentiellement d'éléments fins, dérivés de marne ou d'argile (figure 3.8).

### CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE



**Figure 3.8** : Région hydrographique Cheliff-Zahrez (Rezak Salima, 2014).

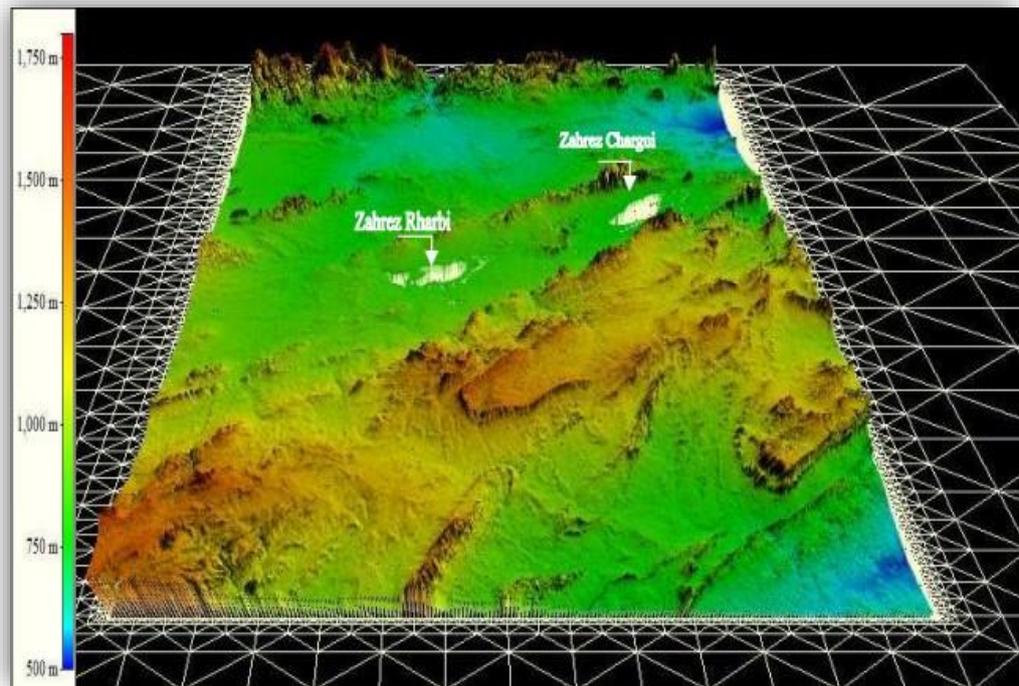
Le bassin versant du Chélif est drainé par l'Oued le plus important de l'Algérie sur une longueur de 750 km, qui coule d'Est en Ouest depuis le barrage de Boughezoul jusqu'à la mer. Le bassin versant de Cheliff jouit d'un climat méditerranéen caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers frais et pluvieux ; comprend trois sous bassins versants (Cheliff Aval de Boughzoul, Haut et moyen Cheliff et Cheliff Amont de Boughzoul).

**vi. Bassin versant de Zahrez :**

Le bassin de Zahrez est décomposé en 06 sous bassin. Il compte 02 oueds principaux, l'oued Malah et l'oued El Medjdel.

Il s'étale sur une superficie d'environ 9 147 km<sup>2</sup> ; il abrite plusieurs zones endoréiques, notamment Zahrez Gharbi (52.500 ha) et Zahrez Chergui (50.985 ha) [31], (figure 3.9).

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE



**Figure 3.9 :** Situation géographique de la zone d'étude (vue en 3D du MNT) (ANRH).

Les Zahrez, Gharbi et Chergui, situés sur le même bassin versant font partie du système des grands Chotts des Hautes plaines, ils sont compris entre deux ensembles analogues mais plus grands, Chott Chergui à l'Ouest et le Chott El Hodna à l'Est. Le bassin, d'orientation Sud-Ouest vers le Nord-Est, se développe en périphérie Nord de l'Atlas Saharien. La partie centrale de la dépression est représentée par la sebkha caractérisée par un niveau plat et dénudé de toute végétation éliminée par la forte concentration de sel, et tout autour, la présence d'une nappe phréatique inégalement salée. Au sud du chott se trouve un cordon dunaire qui par son étendue, constitue la formation la plus typique de l'ensemble des hautes plaines steppiques. Le nord du chott est représenté par une frange de terrain datant du quaternaire, très influencé par des apports éoliens et hydriques, c'est la zone d'épandage réunissant les deux conditions essentielles pour la mise en place d'une agriculture steppique [ANRH].

### c) Pluviométrie du bassin de Zahrez :

Le bassin du Zahrez est équipé d'un réseau pluviométrique de 10 postes pluviométriques, sont en service appartenant à l'ANRH.

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Dans cette région, le climat semi-aride est particulièrement développé et l'espacement des isohyètes est très important. C'est là où l'effet de la latitude est très sensible ; les perturbations cycloniques arrivent appauvrie en vapeur d'eau. Suite à leur passage sur l'écran montagneux du tell. La principale remarque qui découle a trait à la diminution générale des précipitations ; 128.7 mm à la station de Ain Mouilah (17 02 16) commune de Dar Chioukh wilaya de Djelfa et 121.5 mm à la station de Goutaya (17 04 01) commune de Guernini wilaya de Djelfa. [15]

### **3.3.3. La région hydrographique Algérois-Hodna-Soummam :**

Le bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam couvre une superficie de 47 588 Km<sup>2</sup>. il se situe dans la partie centrale de l'Algérie du Nord, il est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par le bassin Chellif-Zahrez, à l'Est par le bassin Constantinois-Seybouse-Mellègue et enfin au Sud par le bassin du Sahara. [31]

La capacité des barrages en exploitation est de 473.8 Hm<sup>3</sup> avec un volume régularisé de 334.4 Hm<sup>3</sup>.

Cette région regroupe trois grands bassins versant.

#### **i. L'Algérois :**

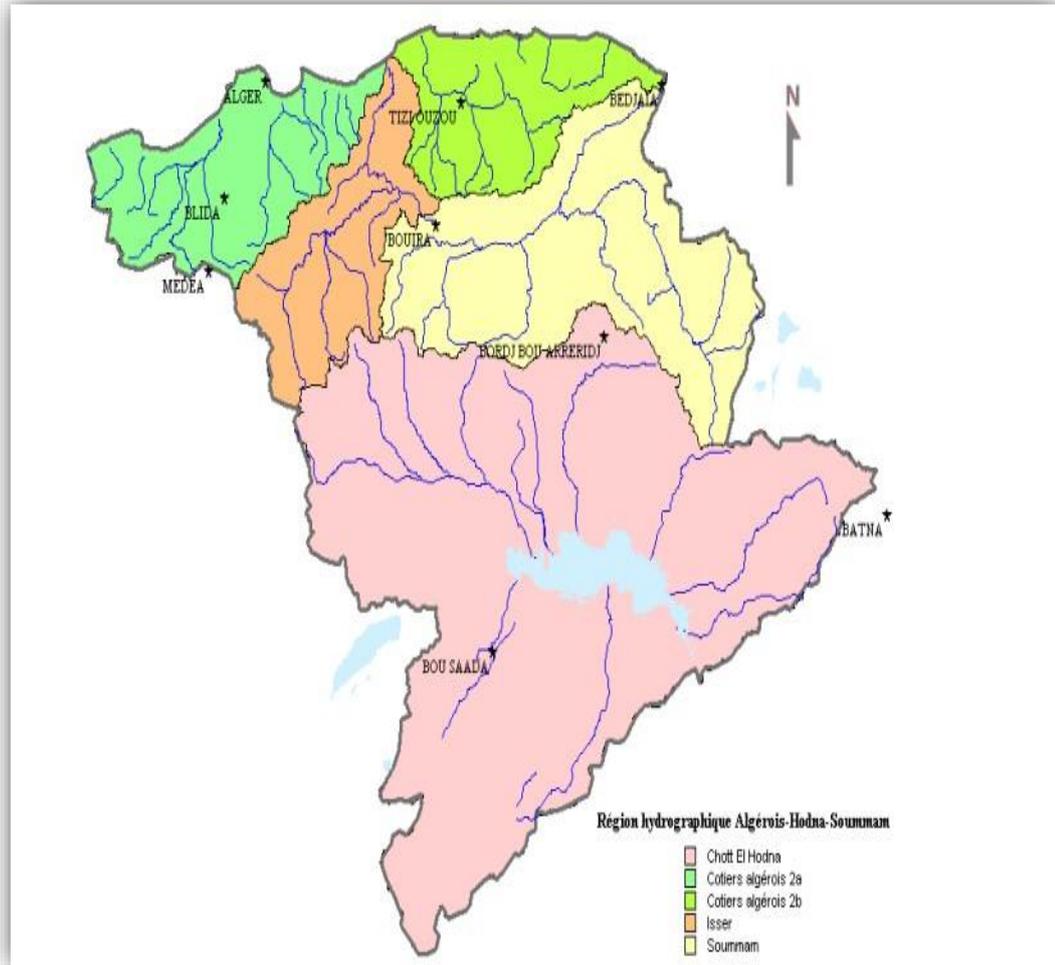
Il s'étend sur une superficie de 12.147 kilomètres carrés, son réseau hydrographique compte 22 Oueds principaux totalisant une longueur de 818 kilomètres, variant entre 13 et 97 kilomètres.

#### **a) Pluviométrie du bassin de l'Algérois :**

La pluviométrie moyenne annuelle du bassin de l'Algérois varie entre 600 et 800 mm dans les régions côtières, et entre 500 et 1000 mm dans les régions intérieures ; les écoulements annuels de surface sont estimés à 3 489 millions de m<sup>3</sup>. L'ensemble du bassin englobe 52 stations pluviométriques et 43 stations hydrométriques. [31]

Et est composé de trois bassins (figure 3.10) :

- Isser (09) : 4 149 km<sup>2</sup>
- Côtier-Algérois (02a) : 3 886 km<sup>2</sup> Présentation de la zone d'étude 15
- Côtier-Algérois (02b) : 4 585 k



**Figure 3.10 :** Région hydrographique Algérois-Hodna-Soummam.

Le bassin de l'Algérois compte 7 barrages en exploitation, d'une capacité totale de 474 Hm<sup>3</sup> (1 barrage en cours de construction d'une capacité de 640 Hm<sup>3</sup>, 1 barrage réceptionné en 2001 /le Taksebt / d'une capacité de 175 Hm<sup>3</sup>) et 171 retenues collinaires de capacité totale de 22.6 Hm<sup>3</sup>. [31]

## ii. La Soummam :

Le bassin versant de la Soummam s'étend sur une superficie de 9 125 km<sup>2</sup>. Il couvre une région essentiellement montagneuse dont les montagnes s'arrêtent à quelques kilomètres de la mer.

Il est caractérisé par un réseau hydrographique très marqué et bien alimenté, ayant provoqué des érosions profondes. Il reçoit une quantité importante d'eau, estimée à environ 700 millions de mètres cubes par an. On y retrouve des cours d'eau permanents et temporaires dont le plus important est l'Oued Soummam. Il est formé de la confluence de l'Oued Sahel qui descend

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

des montagnes du Djurdjura et du plateau de Bouira, et de l'Oued Bou Sellam qui descend du plateau Sétifien. Cet oued parcourt toute la vallée de la Soummam sur environ 90 km orienté Sud-Ouest – Nord-Est et débouche en mer à Bejaia. Le bassin versant de la Soummam est drainé par un réseau dense d'affluents temporaires. [31]

### iii. Le Hodna :

Il couvre une superficie de 25 843 km<sup>2</sup>. Le bassin versant du Hodna est un bassin endoréique sous forme d'une vaste dépression allongée Est-Ouest.

Le chevelu hydrographique est moins dense, il est représenté par plusieurs petits oueds qui prennent leur naissance des monts du Hodna, situés au Nord. Les oueds qui existent dans toute la région sont des oueds temporaires et il n'y a écoulement superficiel que pendant les fortes et rares chutes de pluies. Ces oueds trouvent leurs exutoires dans le Chott El Hodna. Ce dernier est une vaste dépression endoréique salée avec une superficie de 362.000 ha. Cette zone humide chevauchant deux wilaya, M'sila sur 1000 km<sup>2</sup> et Batna sur 100 km<sup>2</sup>, est située au Sud-Est de l'Algérie. [31]

### b) Pluviométrie de la Hodna :

Le Chott El Hodna est considéré parmi les zones humides représentatives au niveau de la Méditerranée, du point de vue superficie et bassin versant. Ce dernier se situe à l'extrême Est des Hauts Plateaux, orienté ONO-ESE, et s'étend sur 220 km de long et 90 km de large.

L'alimentation du Chott El Hodna est assurée par au moins 22 cours d'eau principaux, à cela se rajoute des ressources d'eau douce. Le chott se met en eau uniquement en hiver ; en été il se trouve à sec et couvert par des croûtes de sel. [31]

### 3.3.4. La région hydrographique Constantinois-Seybousse-Melleque :

Située au Nord-Est de l'Algérie. Elle est limitée au Nord par la mer méditerranée, au Sud par la région hydrographique du Sahara (spécifiquement par le bassin du Chott Melrhir), à l'Est par la frontière tunisienne et à l'Ouest par la région hydrographique des Côtiers Algérois-Soummam-Hodna.

Elle s'étend sur une superficie de 43 796 Km<sup>2</sup>, et englobe 14 wilayas. Neuf wilayas en totalité : Jijel, Mila, Skikda, Guelma, Annaba, El-Tarf, Souk Ahras et

### CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

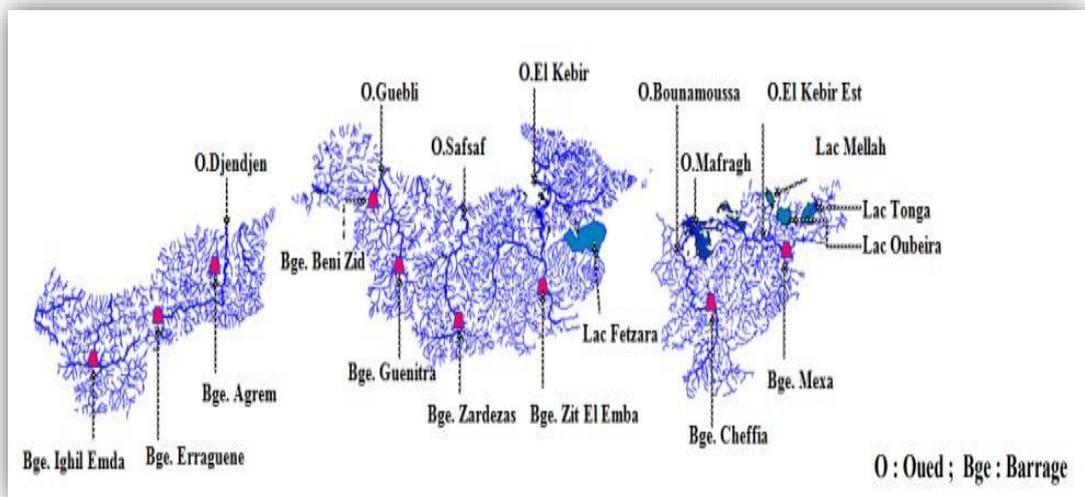
Oum El Bouaghi. Cinq wilayas partiellement : Bejaia, Sétif, Batna, Khenchela et Tebessa.

Cette région est constituée de cinq grands bassins versants: Côtiers Constantinois Est, Centre et Ouest, Hauts Plateaux Constantinois, Kebir-Rhumel, Medjerda-Mellegue et Seybousse. [31]

#### i. Bassin des Côtiers Constantinois :

Le bassin hydrographique Côtiers Constantinois est situé dans le littoral Nord de l'Est Algérien, limité au Nord par la Méditerranée, à l'Est par la frontière Tunisienne, à l'Ouest par la région hydrographique Algérois-Hodna-Soummam et au Sud par les bassins Kebir Rhumel, Seybousse et Medjerda. Il couvre une superficie totale de 11119 Km<sup>2</sup>. Le bassin des Côtiers Constantinois couvre dix wilayas : Bejaia, Jijel, Skikda, Annaba, El Tarf, Setif, Mila, Constantine, Guelma et Souk Ahras. «Abdeddaim, 2018»

En allant de la frontière Tunisienne vers l'Ouest, les principaux cours d'eau rencontrés sont l'Oued Mafragh, formé de la conjonction des Oueds Kebir-Est et Bounamoussa, l'Oued Kebir Ouest, l'Oued Saf-Saf, l'Oued Guebli, l'Oued Djendjen et l'Oued Agrioun (figure 3.11). L'exutoire de ces oueds est la mer méditerranée (un bassin septentrional de type exoréique).



**Figure 3.11 :** Réseau hydrographique du bassin des Côtiers Constantinois (Abdeddaim, 2018).

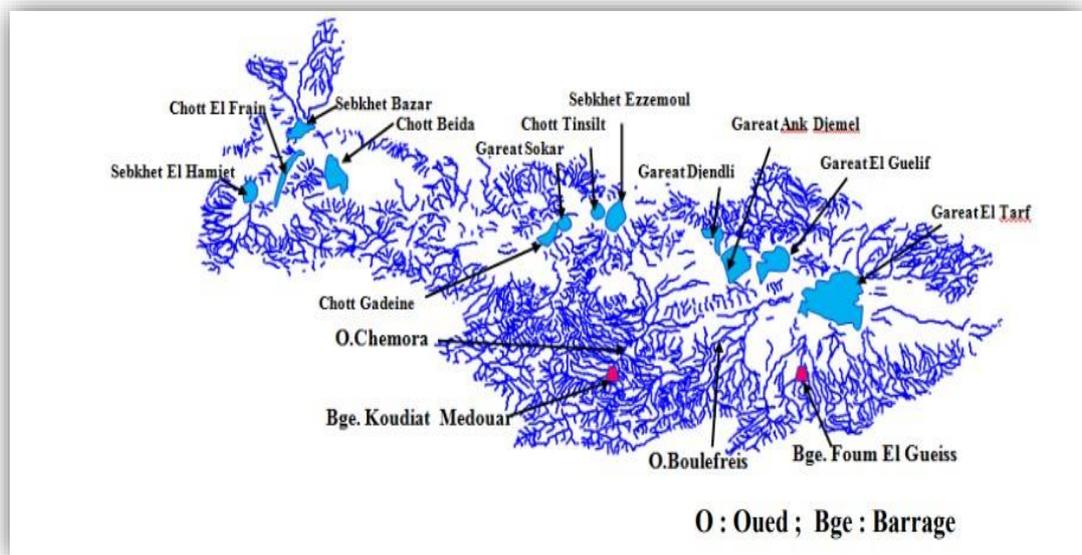
#### ii. Bassin des Hauts Plateaux Constantinois:

### CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant des Hauts Plateaux Constantinois s'étend sur une superficie de 9615 Km<sup>2</sup>, le bassin est limité au Nord par le bassin du Kébir Rhumel et la Seybouse, au Sud par le bassin du Chott Melrhir, à l'Ouest par celui de la Soummam, et de Hodna et à l'Est par le bassin de la Medjerda. Le bassin des hauts plateaux constantinois couvre cinq wilayas (Oum El Bouaghi - Khenchela - Mila - Sétif - Batna). [34]

Le territoire de ce bassin comprend les plaines d'Ain M'lila au Nord du bassin et les plaines d'Ain Touta et Batna au Sud, aussi les hautes plaines Sétifiennes et les plaines de Bellezma à l'Ouest et les plaines de Remila à l'Est. [34]

Le bassin des hauts plateaux constantinois remembre sept sous bassins versants. (Figure 3.12)



**Figure 3.12** : Réseau hydrographique des Hauts Plateaux Constantinois (Abdeddaim, 2018).

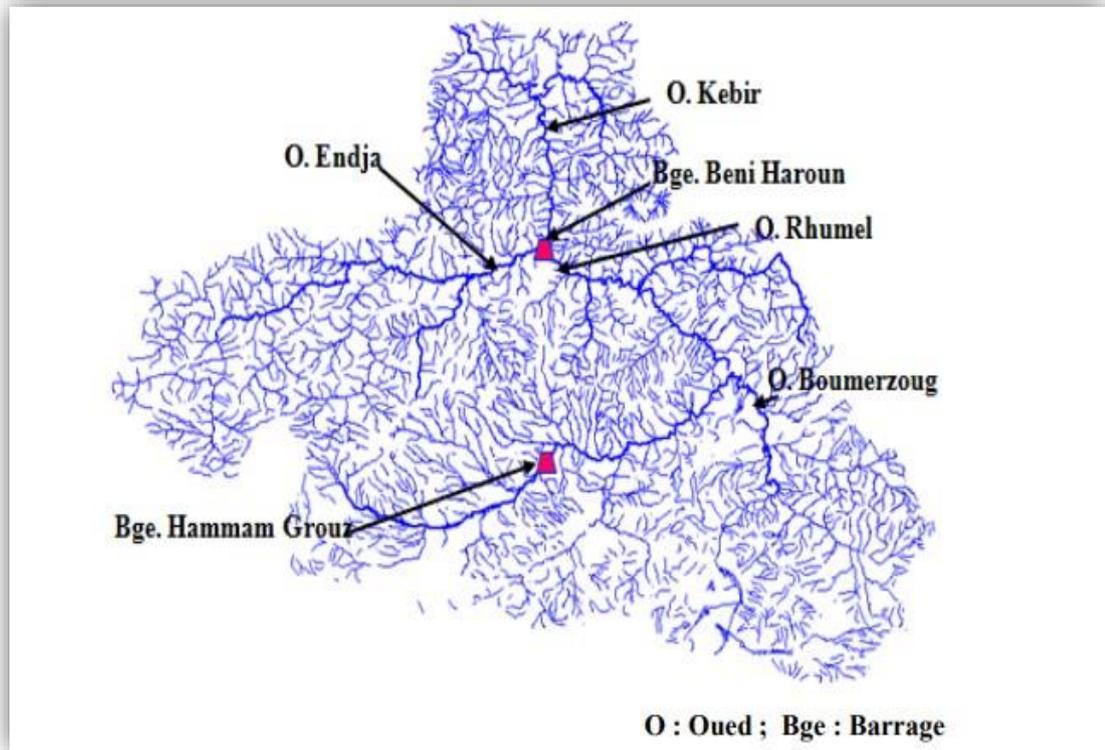
#### iii. Bassin du Kebir Rhumel :

Le bassin versant du Kebir-Rhumel s'étend sur une superficie de 8825Km<sup>2</sup>. Le bassin est limité au Nord par le bassin des Côtiers Constantinois Centre et Ouest, et possède une façade maritime d'environ 07 Km, au Sud par le bassin des Hauts Plateaux Constantinois, à l'Ouest par le bassin de la Soummam, et à l'Est par le bassin de la Seybouse.

Le bassin du Kebir-Rhumel couvre six wilayas (Oum El Bouaghi - Skikda- Constantine-Mila-Sétif- Jijel) (figure 3.13).

### CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le territoire de ce bassin comprend les plaines de Fadj M'zala, Ain M'lila et celles d'El Khroub au niveau du côté Sud du bassin, et les massifs « de Skikda-Jijel » au Nord du bassin. Le bassin du Kebir-Rhumel remembre sept sous bassins versants présentant un chevelu hydrographique très ramifié et très dense totalisant plus de 8000 Km. [34]



**Figure 3.13** : Réseau hydrographique du bassin du Kebir Rhumel (Abdeddaim, 2018).

#### iv. Bassin de la Medjerda Melleque :

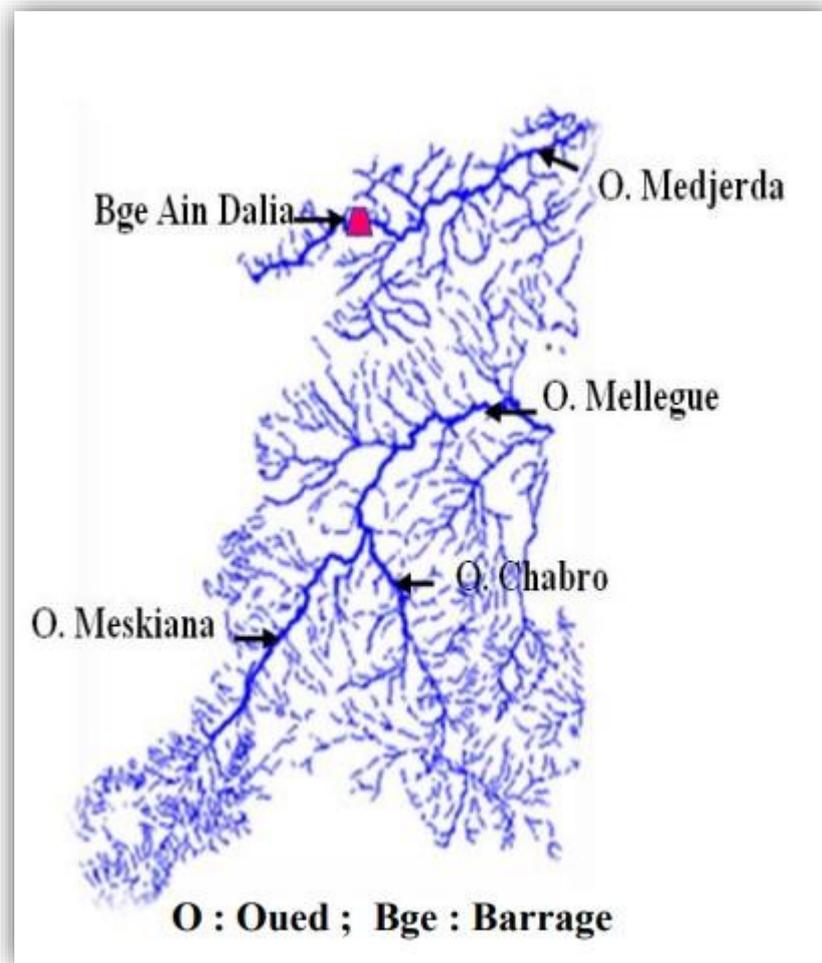
Situé aux confins Algéro-Tunisiens, d'une superficie de 7758 km<sup>2</sup> (partie Algérienne), le bassin Medjerda-Melleque est limité au Nord par le bassin du Côtier Constantinois Est, à l'Est par la Tunisie, à l'Ouest par le bassin de la Seybouse et des Hauts Plateaux Constantinois et au Sud par le bassin du Sahara.

Le bassin de la Medjerda couvre cinq wilayas : Souk Ahras, Tebessa, Khenchela, Oum El Bouaghi et Guelma.

Le bassin de la Medjerda Melleque englobe cinq sous bassins versants, présentant un chevelu hydrographique moins développé, moins dense et exoréique. [34]

### CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Il comprend quatre grands oueds : Medjerda, Chabro, Meskiana et Mellegue (figure 3.14).



**Figure 3.14** : Réseau hydrographique du bassin de la Medjerda Mellegue (Abdeddaim, 2018).

v. **Bassin de la Seybouse :**

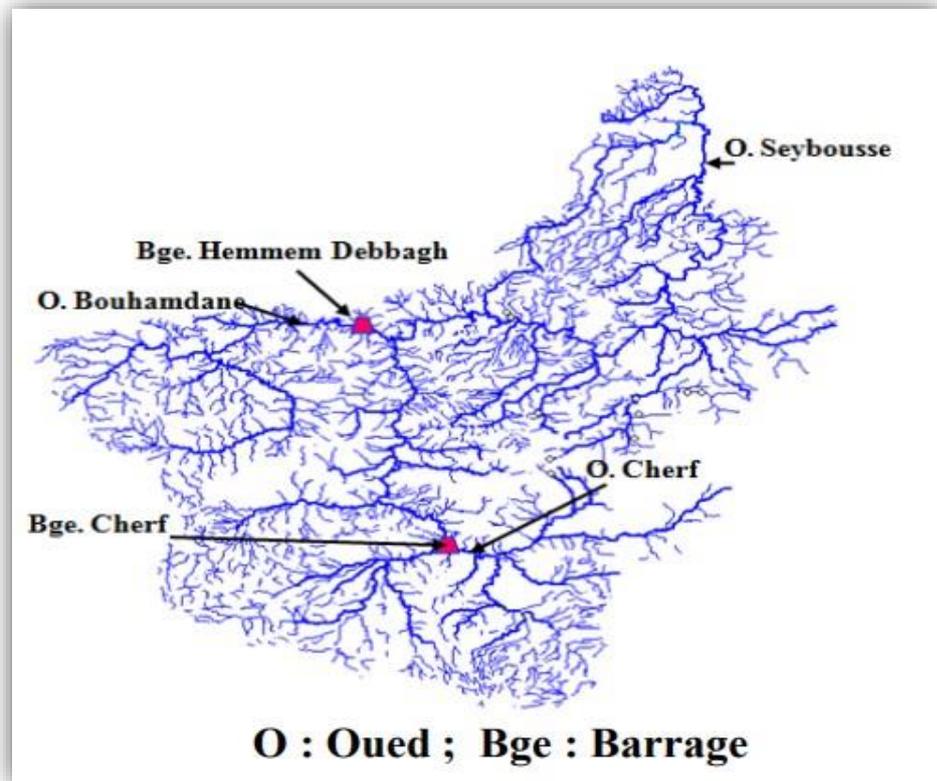
Le bassin versant de la Seybouse est situé au Nord-Est de l'Algérie. Il s'étend sur une superficie de 6452Km<sup>2</sup>.

Le bassin est limité au Nord par le bassin versant des Côtiers Constantinois Centre et Est, au Sud par le bassin des hauts plateaux Constantinois, à l'Ouest par le bassin de Kebir-Rhumel, et à l'Est par le bassin de la Medjerda. Le bassin de la Seybouse couvre sept wilayas (Oum El Bouaghi - Skikda-Annaba –El Tarf-Constantine-Guelma-Souk Ahras).

### CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin de la Seybouse remembre six sous bassins versants présentant un chevelu hydrographique très ramifié et dense, il comprend trois grands oueds (Cherf-Bouhamdane –Seybouse). [34]

C'est un bassin septentrional, à écoulement relativement fourni, de type exoréique (figure 3.15).



**Figure 3.15** : Réseau hydrographique du bassin de la Seybouse (Abdeddaim, 2018).

#### **Conclusion:**

En conclusion, ce chapitre nous a permis de comprendre l'importance des quatre grands bassins hydrographiques du nord de l'Algérie : l'Oranie-Chott Chergui, le Chélif-Zahrez, l'Algérois-Hodna-Soummam et le Constantinois-Seybousse-Mellegue.

Chacun de ces bassins joue un rôle important dans le cycle de l'eau et la gestion des ressources hydriques de la région. Ils sont caractérisés par des régimes hydrologiques distincts, des précipitations variables et des écosystèmes spécifiques.

### CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

- L'Oranie-Chott Chergui est situé à l'ouest de l'Algérie et comprend les bassins du Tafna, de la Macta et de l'Oued Righ. Il est marqué par des précipitations relativement faibles et une variabilité saisonnière importante. Les ressources hydriques de cette région sont principalement utilisées pour l'agriculture et l'approvisionnement en eau potable.
- Le Chélif-Zahrez, centré autour du fleuve Chélif, est l'un des plus importants bassins versants du pays. Il bénéficie de précipitations plus élevées, ce qui en fait une zone agricole fertile. Cependant, la gestion de l'eau dans cette région est un défi en raison de la demande croissante et de la disponibilité limitée des ressources.
- L'Algérois-Hodna-Soummam, qui englobe les bassins de l'oued Boumerdès, de l'oued Isser et de l'oued Soummam, est situé dans la partie centrale de l'Algérie. Cette région connaît des précipitations modérées et abrite des villes importantes telles qu'Alger et Constantine. La gestion efficace de l'eau dans cette zone est essentielle pour répondre aux besoins urbains et agricoles.
- Le Constantinois-Seybousse-Mellegue, situé à l'est du pays, est marqué par des précipitations plus élevées et des cours d'eau importants tels que le Seybousse et le Mellegue.

Une compréhension approfondie de ces bassins hydrographiques est nécessaire pour une planification et une gestion durable des ressources hydriques, afin de répondre aux besoins croissants de la population et de préserver l'environnement.

**CHAPITRE IV :**

*“ Prévission des précipitations  
mensuelles au Nord de l’Algérie  
à l’aide d’un modèle de RNA ”*

à l'aide d'un modèle de RNA ..

mensuelles au Nord de l'Algérie

“ Prévission des précipitations

CHAPITRE IV :

## **CHAPITRE IV : Prévision des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA**

### **Introduction:**

Le nord de l'Algérie, bien que soumis à un climat semi-aride, est réputé pour être la région la plus arrosée du pays, avec des précipitations annuelles variant généralement entre 300 et 700 mm. Cette région abrite la quasi-totalité des barrages et joue un rôle crucial dans la gestion des ressources en eau en Algérie. De plus, elle se caractérise par une importante superficie de terres agricoles qui dépendent principalement de la pluviométrie pour leurs cultures, notamment les céréales.

Dans ce chapitre, nous allons appliquer un modèle de réseaux de neurones artificiels (RNA) pour étudier les précipitations dans les quatre bassins hydrographiques du nord de l'Algérie. Pour cela, nous utiliserons les données fournies par le terraclimate, avec 91,67% de ces données utilisées pour l'entraînement du modèle et 8,33% pour sa validation. Cette validation portera sur une période de cinq années de prévision, soit 60 mois.

L'évaluation des résultats de prévision sera réalisée à l'aide de trois indicateurs de qualité : le coefficient de corrélation R, le MAE (Mean Absolute Error) et le RMSE (Root Mean Square Error). Ces indicateurs nous permettront d'évaluer la performance du modèle et d'analyser la précision des prévisions de précipitations pour les bassins hydrographiques étudiés.

À travers cette approche basée sur les réseaux de neurones artificiels, nous visons à contribuer à améliorer notre compréhension des schémas de précipitations dans le nord de l'Algérie, et à fournir des informations utiles pour la gestion des ressources en eau.

### **4.1. Description du modèle de prévision :**

Pour notre étude nous allons utiliser un réseau de neurones artificiels à couches ou il est appelé aussi réseau multicouches ou bien perceptron multicouche.

Les perceptrons multicouches (PMC) sont l'un des types de réseaux de neurones artificiels les plus appliqués dans le domaine de la prévision hydrologique. Ils permettent une transformation des seuils d'activation en réponse de type non-linéaire reflétant donc la complexité de la relation pluie-débit. Ces

## CHAPITRE IV : Prévision des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA

réseaux, avec un seul type de liaison « inter-couches », réduisent la propagation des erreurs entre les neurones ainsi que le temps de calcul. En effet, les PMC englobent successivement une couche d'entrée, une ou plusieurs couches cachées et une couche de sortie, ces couches sont interconnectées au travers des poids de leurs neurones ; (Les neurones de la même couche ne sont pas connectés) [35].

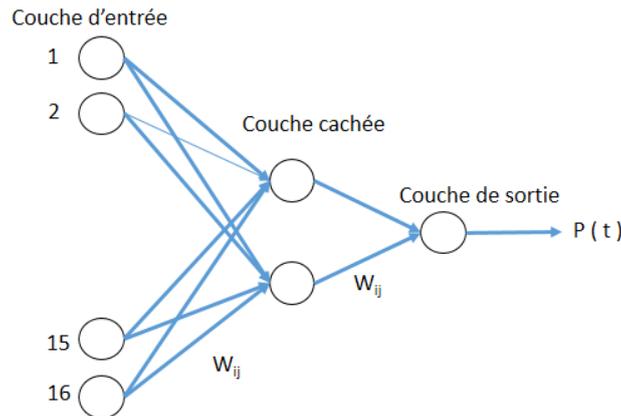
La première couche reçoit les variables d'entrées ( $X_i$ ) à travers les neurones d'entrées  $i$ , les transforme avec la fonction d'activation  $f$  sur le neurone d'entrée et les envoie aux neurones  $j$  de la première couche cachée. Généralement, les fonctions d'activation des neurones d'entrées sont de type identique, c'est-à-dire que les signaux d'entrées restent inchangés. La couche cachée se compose des neurones de traitement qui reçoivent les sommes pondérées  $S_j$  issues de la couche d'entrée, puis effectuent leurs transformations (avec la fonction d'activation) et finalement les transfèrent à la couche suivante (cachée ou sortie selon l'architecture RNA déterminée) [35].

Le réseau de neurones artificiels utilisé a été développé par [36] pour prévoir la demande en eau potable, puis il a été modifié en 2022 [37] pour prévoir les précipitations mensuelles. Le modèle permet de prédire les précipitations mensuelles sur un horizon de 12 mois. Il est constitué de trois couches :

- une couche d'entrée, composée de 16 neurones. Dont 12 neurones pour les mois, trois (3) neurones pour les précipitations annuelles précédentes, et un (1) neurone pour les précipitations du moi précèdent.
- une couche cachée, elle est composée de deux (2) neurones.
- une couche de sortie contenant un seul neurone qui donne la valeur de précipitation mensuelle prévue.

Dans la couche cachée, la fonction d'activation utilisée est de type logistique, tandis que dans la couche de sortie, la fonction d'activation est de type identité (figure 4.1).

## CHAPITRE IV : Prédiction des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA



**Figure 4.1 :** structure du modèle de réseaux de neurones utilisé (Bouach & Benmamar 2022).

### 4.2. Les indicateurs de qualité de la prédiction :

Dans le but de faciliter l'analyse des résultats, nous avons employé des indicateurs permettant d'évaluer la qualité des prévisions de précipitations réalisées par le modèle RNA. Ces indicateurs visent à quantifier la variation des précipitations, tels que le coefficient de corrélation  $R$ , et à mesurer l'erreur de prédiction, tel que l'indicateur MAE, ainsi que sa dispersion, représentée par l'indicateur RMSE.

#### 4.2.1. Le coefficient de corrélation "R" :

Le coefficient de corrélation "R" (aussi appelé coefficient de corrélation de Pearson) est une mesure statistique utilisée pour évaluer la relation linéaire entre deux variables. Il indique à quel point les valeurs des deux variables sont liées. Le coefficient de corrélation varie de -1 à 1, où 1 représente une corrélation positive parfaite, -1 une corrélation négative parfaite et 0 une absence de corrélation linéaire.

Dans notre cas, le coefficient de corrélation est utilisé pour mesurer la corrélation linéaire entre la demande réelle et la demande prévue [36] Il est donné par la relation :

$$R = \frac{\sum(y_r(t) - \overline{y_r(t)})(y(t) - \overline{y(t)})}{\sqrt{\sum(y_r(t) - \overline{y_r(t)})^2 \sum(y(t) - \overline{y(t)})^2}} \quad (4.1)$$

## CHAPITRE IV : Prédiction des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA

### 4.2.2. L'erreur absolue moyenne "MAE" :

L'erreur absolue moyenne (MAE, Mean Absolute Error) est une métrique d'évaluation utilisée pour mesurer la différence moyenne entre les valeurs réelles et les valeurs prédites. Elle est calculée en prenant la moyenne des valeurs absolues des écarts entre les prédictions et les valeurs réelles. L'erreur absolue moyenne est utile lorsque les erreurs doivent être interprétées dans les unités originales de la variable, La MAE, ou erreur absolue moyenne, est la moyenne des valeurs absolues des erreurs, définie par la formule :

$$MAE = \frac{1}{T} \sum |e(t)| \quad (4.2)$$

Avec :

$$e(t) = y(t) - y_r(t) \quad (4.3)$$

La MAE est dans la même unité que la variable à prédire. Par conséquent, elle est facile à interpréter. Cette métrique quantifie l'erreur réalisée par le modèle. Plus elle est élevée, moins le modèle est performant [11].

### 4.2.3. La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne "RMSE":

La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE, Root Mean Squared Error) est une autre métrique couramment utilisée pour évaluer la précision d'un modèle de prédiction. Elle mesure la dispersion des écarts entre les valeurs prédites et les valeurs réelles, en prenant la racine carrée de la moyenne des carrés de ces écarts. Le RMSE est également une mesure dans les unités originales de la variable et il donne plus de poids aux grosses erreurs que l'erreur absolue moyenne.

La RMSE, ou racine de l'erreur quadratique moyenne, est comme son nom l'indique la racine carrée de la MSE. Mathématiquement [11], elle est définie par:

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (4.4)$$

Avec :

$$MSE = \frac{1}{T} \sum e(t)^2 \quad (4.5)$$

## CHAPITRE IV : Prévion des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA

### **4.3. Base de données des précipitations :**

L'étude de prévision a été effectuée sur la région du nord de l'Algérie qui englobe les quatre grands bassins hydrographique (chapitre 3). Les données de précipitations utilisées dans cette étude ont été téléchargées à partir du site "Climate Engine". Ce site permet de télécharger plusieurs types de données climatiques, dont les données "terraclimate" que nous avons utilisé.

TerraClimate est un ensemble de données sur le climat mensuel et le bilan hydrique climatique pour les surfaces terrestres mondiales de 1958 à nos jours. [12]

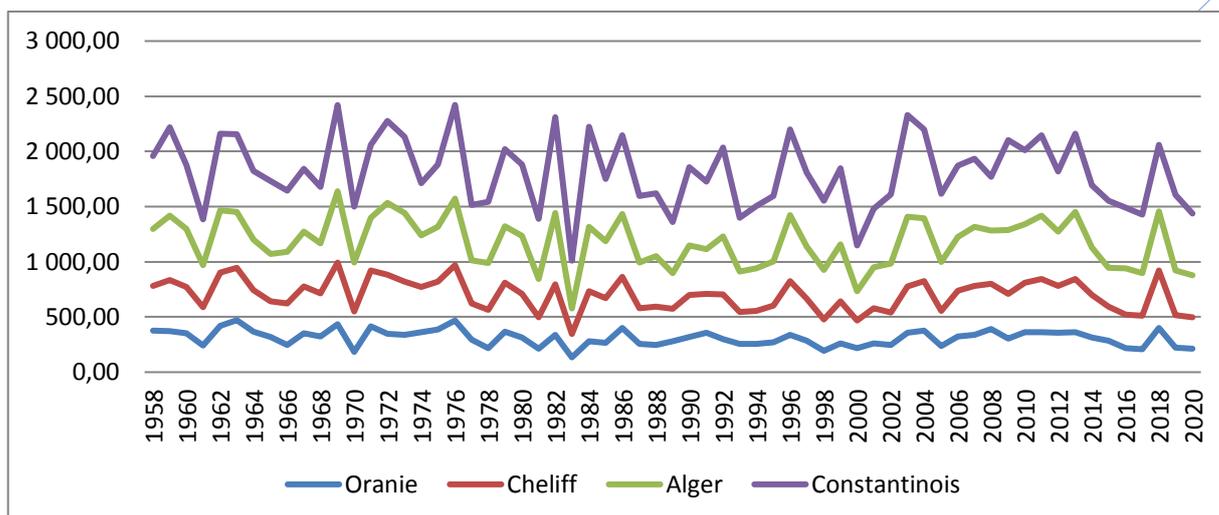
Ces données fournissent des informations essentielles pour les études écologiques et hydrologiques à l'échelle mondiale avec une résolution spatiale et temporelle élevée, En effet, toutes les données ont une résolution temporelle mensuelle et une résolution spatiale d'environ 4 km (1/24<sup>ème</sup> de degré). [12]

Les données couvrent la période de 1958 à 2020. Ils prévoient de mettre à jour ces données périodiquement (annexe 1).

### **4.4. Analyse des précipitations annuelles de la région d'études:**

La (figure 4.2) illustre les précipitations annuelles en fonction des années de 1958 à 2020. L'interprétation des données révèle une répartition des précipitations plus élevée dans l'est par rapport à l'ouest du pays. Des valeurs notables ont été enregistrées en 1982 et 1984, où l'est du pays a reçu des précipitations annuelles importantes, atteignant même jusqu'à 909.06 mm, tandis que l'ouest a enregistré des précipitations dépassant les 300 mm.

## CHAPITRE IV : Prédiction des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA



**Figure 0.2 :** Précipitations annuelles des quatre bassins du nord de l'Algérie.

En 1983, l'ouest du pays a connu sa saison la plus sèche dans la période de 1958 à 2020, avec une précipitation annuelle de seulement 133.96 mm.

Quant au centre du pays, il a connu des précipitations moyennes à moyennement faibles durant la période de 1972 jusqu'à 1983, allant de 651.50 mm à 231.43 mm, cette dernière étant la plus faible enregistrée comme le montre le (tableau 4.1).

**Tableau 0.1 :** Caractéristiques statistiques des précipitations annuelles des quatre bassins.

Bassin	Oranie	Cheliff	Alger	Constantinois
<b>Moyenne</b>	310.55	390.27	479.51	632.67
<b>Écart-type</b>	73.09	76.96	92.73	118.58
<b>CV</b>	0.24	0.20	0.19	0.19
<b>Max</b>	470.86	557.38	651.50	923.67
<b>Min</b>	133.96	211.97	231.43	411.62

L'analyse des résultats de l'étude montre également une diminution des précipitations à mesure que l'on se déplace vers l'ouest. Cela est illustré par la moyenne interannuelle des précipitations (Tableau 4.1), où le bassin du Constantinois présente la valeur la plus élevée avec une moyenne interannuelle de 632.67 mm, suivi du bassin de l'Algérois avec 479.51 mm, puis du Cheliff avec 390.27 mm, et enfin de l'Oranie avec 310.55 mm. En ce qui concerne les fluctuations interannuelles, les régions Est et Centre se révèlent relativement stables, comme en témoigne le coefficient de variation de 0.19 pour les bassins du

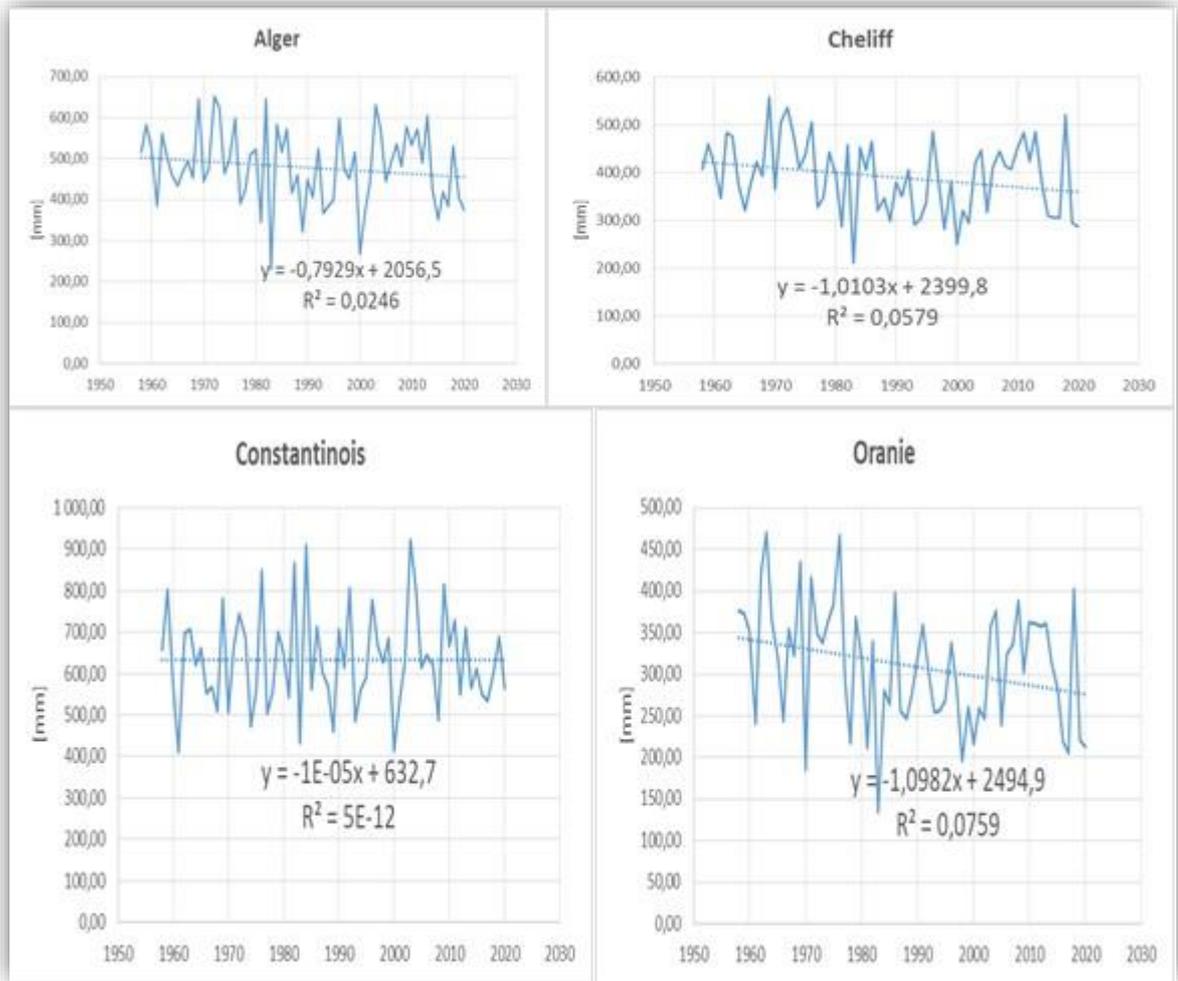
## CHAPITRE IV : Préviation des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA

Constantinois et de l'Algérois. En revanche, la région Ouest se caractérise par les fluctuations les plus élevées, avec un coefficient de variation de 0.24.

L'analyse temporelle des résultats révèle une tendance à la baisse des précipitations, comme le montrent les droites de corrélation des quatre bassins hydrographiques (Figure 4.3). Cependant, cette tendance est plus prononcée à l'ouest, où la pente de la droite de régression est de 1.1 pour l'Oranie, tandis qu'elle est plus faible à l'est, avec une pente de 10-5 pour l'Algérois. Ce constat est en accord avec les théories des changements climatiques qui ont un impact sur la région.

Cependant, le faible coefficient de corrélation observé pour les quatre bassins (Figure 4.3) indique que les variations interannuelles des précipitations ne sont pas entièrement attribuables à la variable temporelle. Il est évident que d'autres facteurs entrent en jeu et influencent ces précipitations.

## CHAPITRE IV : Prédiction des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA



**Figure 0.3 :** Evolution des précipitations annuelles des quatre bassins hydrographiques.

### **4.5. Résultat de l'entraînement du modèle RNA:**

L'entraînement du modèle RNA est le processus par lequel le modèle est ajusté pour apprendre une tâche spécifique. Cela implique l'utilisation d'un ensemble de données d'entraînement qui contient des exemples avec des entrées et des sorties. Pendant cette étape, le modèle passe par plusieurs itérations. A chaque itération le modèle reçoit une entrée, effectue des calculs à travers ses neurones, et génère une sortie. En comparant cette sortie avec la sortie attendue, le modèle ajuste des paramètres (poids synaptiques) pour réduire l'erreur de prévision.

## CHAPITRE IV : Prédiction des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA

Dans cette étude, l'apprentissage du modèle de prévision a été réalisé sur une période s'étendant de 1958 à 2016. Cela correspond à un total de 660 vecteurs d'entrée, chaque vecteur d'entrée étant composé de seize composantes.

L'analyse de l'apprentissage du modèle RNA, à travers les indicateurs de qualité de prévision, s'est révélée satisfaisante. En effet :

- En ce qui concerne la corrélation, les quatre bassins hydrographiques ont présenté des coefficients de corrélation supérieurs à 0,5. Ces valeurs indiquent une corrélation positive modérée pour toutes les régions. Cependant, le bassin du Constantinois présente le coefficient de corrélation le plus élevé, suggérant une meilleure capacité du modèle à capturer les variations des précipitations dans cette région.

- En ce qui concerne les erreurs, les valeurs de l'erreur absolue moyenne (MAE) et de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) reflètent les performances de prévision du modèle. Dans l'ensemble, les valeurs de MAE et de RMSE diminuent en se déplaçant de l'ouest vers l'est, ce qui suggère une performance supérieure du modèle dans les régions de l'ouest. Cela peut indiquer que le modèle rencontre plus de difficultés à prévoir les précipitations dans le bassin du Constantinois.

L'analyse détaillée des résultats d'apprentissage est la suivante :

### i. L'Oranie-Chott-cherqui :

Pour cette région, le coefficient de corrélation R de 0.55 indique une corrélation positive modérée entre les précipitations prévues et réelles. Cependant, la région a présenté le coefficient de corrélation le plus, ce qui indique que la prédiction pourrait être moins précise dans cette région.

Le MAE de 13.29 indique que, en moyenne, les prévisions diffèrent de 13.29 mm par rapport aux valeurs réelles de précipitations.

Le RMSE de 17.46 mesure l'erreur quadratique moyenne entre les valeurs prévues et réelle. Cette valeur représente la valeur la plus faible des quatre bassins. Ceci indique une faible dispersion des erreurs de prévision.

## CHAPITRE IV : Prédiction des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA

### ii. Le Cheliff-Zahrez :

Le coefficient de corrélation est de 0.63 indique une corrélation positive modérée meilleure à celle de la région de l'Oranie. Ceci suggère que le modèle capture une partie des variations des précipitations dans cette région.

Le MAE de 14.85 indique que les prévisions diffèrent de 14.85 mm par rapport aux valeurs réelles. Comparé à l'Oranie, Le chelif présente un MAE plus élevé, ce qui indique généralement une faible performance de prévision.

Le RMSE de 19.45 est supérieur à celui de l'Orani, ce qui suggère une dispersion relativement importante des erreurs de prévision.

### iii. L'Algérois-Hodna-Soummam :

Le coefficient de corrélation R de 0.67 indique une corrélation positive modérée mais supérieure aux régions précédentes. Ceci confirme que le modèle parvient à capturer une partie des variations des précipitations dans cette région.

Le MAE de 18.21 indique que les prévisions diffèrent de 18.21 mm par rapport aux valeurs réelles des précipitations. Cette valeur est relativement supérieure à celles de régions précédentes.

Le RMSE de 24.15 montre également une dispersion des erreurs de prévision relativement importante par rapport aux régions précédentes.

### iv. Le constantinois-Seybousse-Melleque :

La région présente le coefficient de corrélation le plus élevé ( $R=0.70$ ), ce qui suggère une bonne corrélation entre les précipitations prévues et réelles. Cela indique le modèle est capable de capturer une bonne partie des variations des précipitations de la région.

Le MAE de 23.26 indique que, les précipitations prévues diffèrent en moyenne de 23.26 mm des valeurs réelles. Cette région présente l'erreur la plus élevée des régions étudiée.

## CHAPITRE IV : Prédiction des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA

Pour le RMSE, la région présente un RMSE égal à 30.88, le plus élevé des régions étudiées, ceci indique que la dispersion de l'erreur de prédiction est plus importante par rapport aux autres régions.

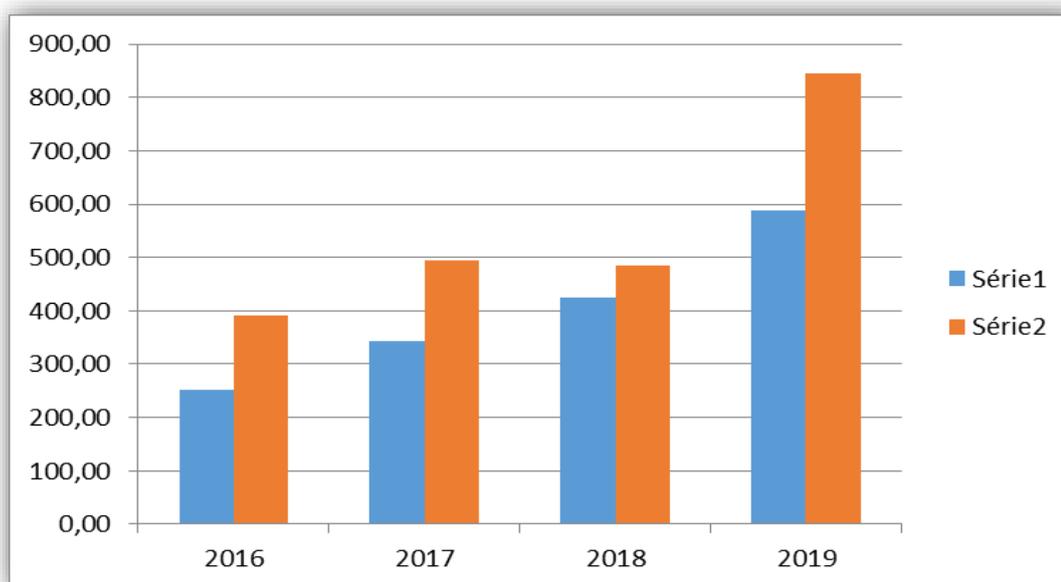
**Tableau 4.2 :** Résultats d'entraînement du modèle RNA

Bassin	Oranie	Cheliff	Algérois	Constantinois
R	0.5481	0.6296	0.6676	0.6986
MAE	13.2882	14.8534	18.2155	23.2574
RMSE	17.4477	19.4549	24.1534	30.8787

### 4.6. Résultat de prédiction du modèle RNA :

#### 4.6.1. Evaluation globale des prévisions des précipitations des quatre bassins hydrographiques :

Les résultats obtenus montrent que le modèle a réussi à fournir des résultats de qualité moyenne à bonne sur l'échelle quantitative. La (figure 4.4) indique que les quantités de précipitations moyennes réelles et prévues sont relativement différentes, en particulier pour l'année 2019.



**Figure 4.4 :** Précipitations moyenne annuelles prévues et réelles des quatre bassins hydrographiques.

De plus, le (tableau 4.3) nous montre le pourcentage proportionnel de l'écart entre la quantité de précipitations réelle et celle prévue, qui est considéré

## CHAPITRE IV : Prédiction des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA

comme élevé. Cependant, il convient de noter que cette différence peut être attribuée au fait que la prévision a été effectuée sur une période assez longue et sur une région étendue.

**Tableau 4.3 :** Comparaison entre les précipitations réelles et prévues des quatre bassins hydrographiques.

<b>Bassin</b>	<b>Oranie</b>	<b>Cheliff</b>	<b>Alger</b>	<b>Constantinois</b>
<b>Précipitations moyenne annuelles Réelles [mm]</b>	252.08	342.04	423.54	587.95
<b>Précipitations moyenne annuelles Prévues [mm]</b>	391.30151	493.25679	485.47444	845.39332
<b>Différence %</b>	55.2261791	44.211555	14.62311965	43.78616559

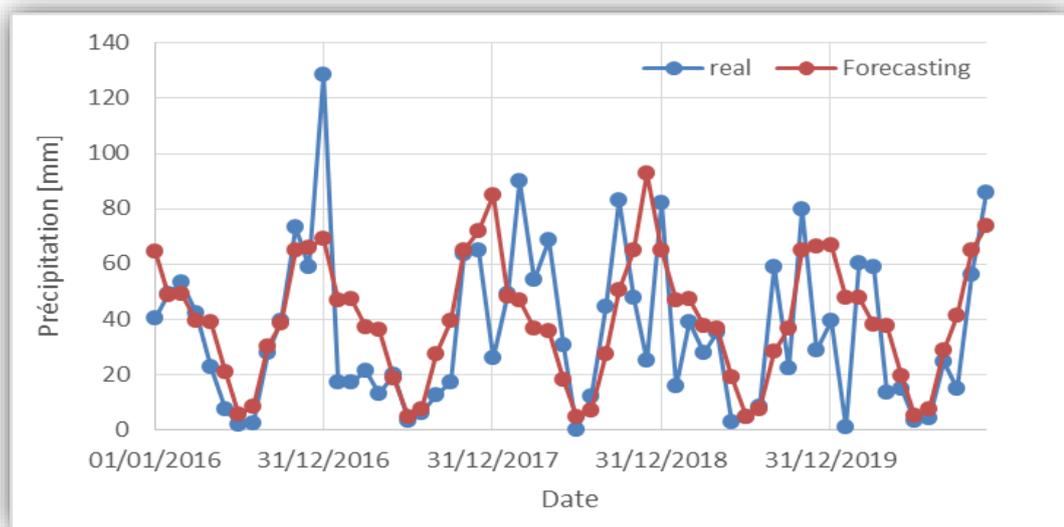
### **4.6.2. Evaluation détaillée des prévisions :**

#### **i. Le bassin de l'Algérois-Hodna-Soummam:**

L'analyse détaillée des résultats révèle une performance satisfaisante des prévisions. En effet, les courbes des précipitations prévues et réelles présentent une grande similitude (Figure 4.5). À l'exception de la précipitation mensuelle du mois de janvier 2017, qui a été exceptionnelle, avec une estimation de 128,50 mm alors que le modèle RNA avait prédit 69,00 mm.

Si l'on considère une année déficitaire comme une année où la quantité annuelle de précipitations est inférieure à la moyenne annuelle des précipitations, nous constatons, sur les cinq années de validation, que toutes les années étaient déficitaires, à l'exception de l'année 2018 où les précipitations annuelles étaient excédentaires. Il est intéressant de noter que le modèle a réussi à prévoir cette année exceptionnelle avec précision.

## CHAPITRE IV : PrÉvision des précipitations mensuelles au Nord de l'AlgÉrie à l'aide d'un modèle de RNA



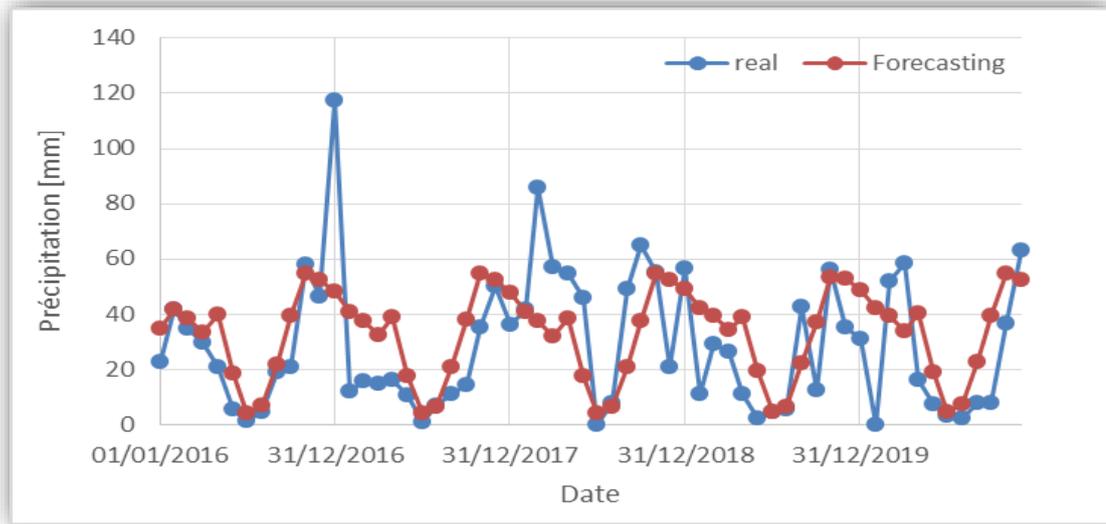
**Figure 4.5 :** précipitations mensuelles réelles et prévues pour le bassin de l'Algérois.

### ii. Le bassin de Cheliff-Zahrez:

Les précipitations prévues et réelles pour le bassin de Cheliff sont pratiquement les mêmes comme le montre la (figure 4.6), le modèle a réussi à donner des valeurs identiques à celles réelles pour les mois de Février et Novembre 2016 ; et des données relativement identiques pour les mois de Janvier 2017 et 2018.

En effet, le modèle de prévision a donné les précipitations de 36.23mm et 47.94mm pour les mois de Janvier 2017 et 2018 successivement, alors que les précipitations réelles sont de 117.37mm et de 48.04mm successivement.

## CHAPITRE IV : Prédiction des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA

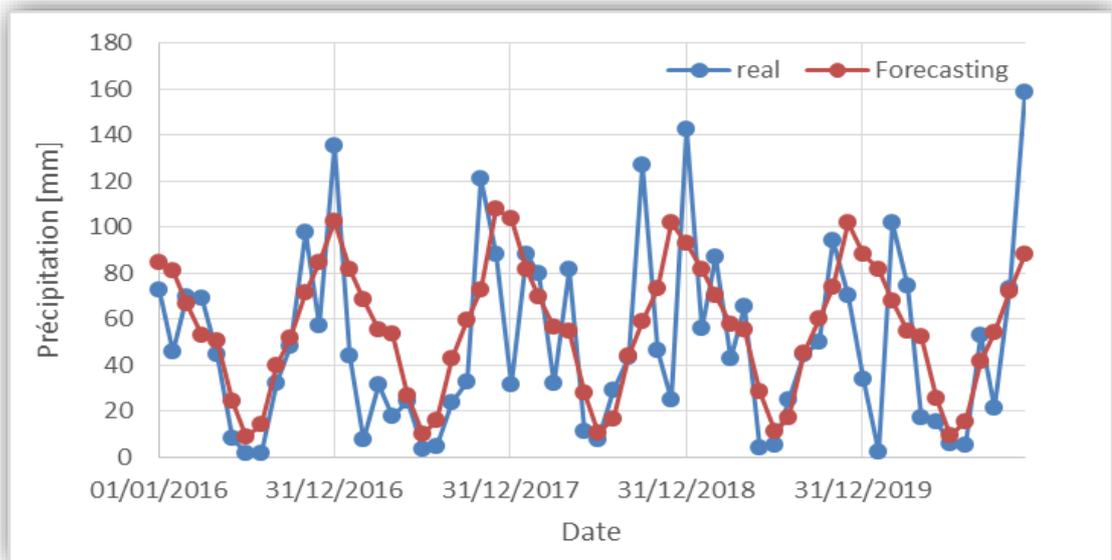


**Figure 4.6 :** précipitations mensuelles réelles et prévues pour le bassin de Cheliff-Zahrez.

### iii. Le bassin de Constantinois-Seybousse-Melleque:

Pour le bassin du Constantinois, la (Figure 4.7) montre à la fois des valeurs identiques et d'autres relativement différentes entre les précipitations réelles et prévues. En particulier, pour les mois de janvier 2018, 2019 et 2020, nous observons des divergences significatives. Les précipitations réelles ont été mesurées à 31,36 mm, 142,41 mm et 34,06 mm respectivement, tandis que le modèle RNA avait prévu des valeurs de 103,94 mm, 93,17 mm et 88,37 mm respectivement.

## CHAPITRE IV : Prédiction des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA



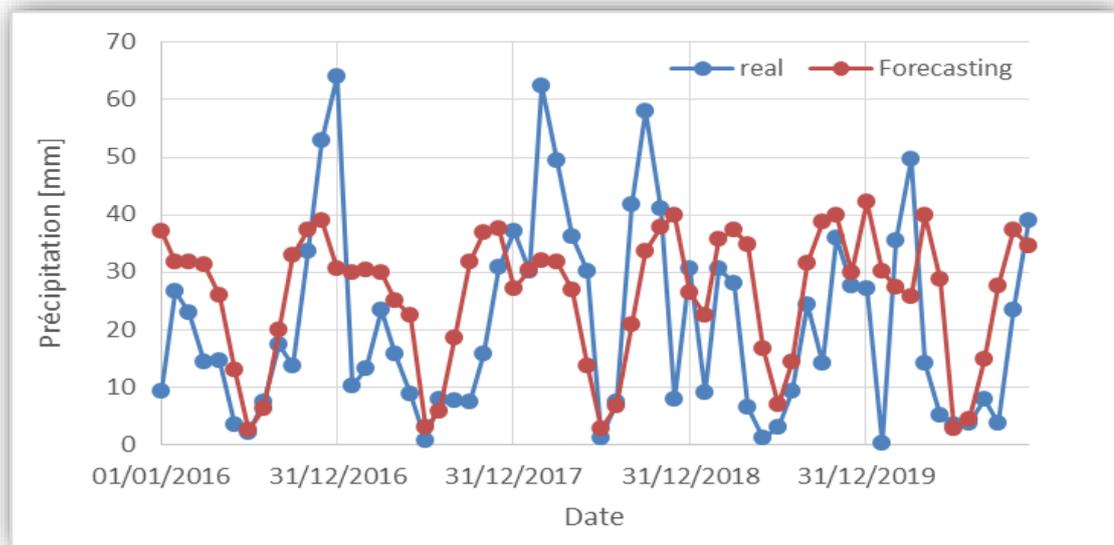
**Figure 4.7** : Précipitations mensuelles réelles et prévues pour le bassin Constantinois.

### iv. Le bassin de l'Oranie-Chott-cherqui:

L'analyse générale des résultats montre que la prévision a été très proche de la réalité. En effet, les courbes des précipitations prévues et réelles sont très similaires, avec même des points où elles se superposent (figure 4.8).

Le modèle a réussi à donner des valeurs identiques à celles réelles pour les mois de juillet 2016 et 2020, la même chose pour les mois d'août 2018 et 2020 avec des précipitations réelles de 2.125mm, 3.51mm, 7.42mm et 3.69mm successivement. En revanche, le modèle a préavisé des valeurs de 2.576mm, 2.73mm, 6.66mm et 4.42mm successivement.

## CHAPITRE IV : Prédiction des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA



**Figure 4.8** : précipitations mensuelles réelles et prévues pour le bassin de l'Oranie.

### **4.7.2. Analyse des résultats de prévision par les indicateurs de qualité :**

Pour la validation des modèles RNA, un ensemble de données distinct, appelé ensemble de validation, est utilisé pour évaluer les performances du modèle. En comparant les valeurs prévues par le modèle et les valeurs attendues, on peut mesurer l'erreur de prévision du modèle. Cela permet de surveiller si le RNA est en train d'apprendre correctement ou il souffre de sur-apprentissage (overfitting) où il s'adapte trop aux données d'entraînement, mais mal à généraliser les connaissances pour de nouvelles données.

Dans cette étude, le modèle a été validé pour les quatre bassins hydrographiques sur une période de 60 mois, allant de 2016 à 2020. Les résultats de validation pour chaque bassin sont présentés ci-dessous.

#### **i. Le bassin de l'Algérois-Hodna-Soummam :**

Les résultats ont été très satisfaisants, avec un coefficient de corrélation  $R$  de 0,63 pour les précipitations mensuelles. Cependant, lorsqu'on a effectué une analyse année par année, des variations de la qualité des prévisions ont été observées. La meilleure prédiction a été obtenue pour l'année 2016, avec un coefficient de corrélation de 0,91, tandis que la moins précise a été pour l'année 2018, avec un coefficient de corrélation de seulement 0,21. Il convient de noter

## CHAPITRE IV : Prévision des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA

que malgré ce résultat moins favorable, la performance de prédiction en termes quantitatifs n'était pas si mauvaise, avec une erreur absolue moyenne (MAE) de 42,05 et une racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) de 49,73, ce qui équivaut à une différence de seulement 2,67%.

Ainsi, d'un point de vue qualitatif, les prévisions se sont révélées très satisfaisantes, même pour les années où le coefficient de corrélation était faible.

**Tableau 4.4** : Indicateurs de prévision du bassin de l'Algérois-Hodna-Soummam

	<b>validation</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>R</b>	0.63	0.91	0.77	0.21	0.70	0.72
<b>MAE</b>	16.41	38.69	38.41	42.05	37.58	39.11
<b>RMSE</b>	22.71	43.26	43.69	49.73	42.48	44.30

ii. **Le bassin de Cheliff-Zahrez:**

Les résultats se sont avérés modérément satisfaisants par-rapport à la région de l'Algérois, avec un coefficient de corrélation R de 0,57 pour les précipitations mensuelles. Cependant, une analyse année par année a révélé des variations dans la qualité des prévisions. La prédiction la plus précise a été obtenue pour l'année 2016, avec un coefficient de corrélation de 0,91, tandis que l'année 2018 a présenté la moins bonne précision, avec un coefficient de corrélation de seulement 0,48. Il est important de noter que malgré ce résultat moins favorable, les performances de prédiction en termes quantitatifs n'étaient pas si mauvaises, avec une erreur absolue moyenne (MAE) de 31,14 et une racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) de 34,95.

Par conséquent, d'un point de vue qualitatif, les prévisions se sont révélées globalement bonnes, même pour les années où le coefficient de corrélation était faible par comparaison à la zone de l'Algérois.

**Tableau 4.5** : Indicateurs de prévision du bassin de Cheliff-Zahrez

	<b>validation</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>R</b>	0.5719	0.9132	0.5775	0.4773	0.646	0.5855
<b>MAE</b>	15.3289	31.3516	31.8888	31.1439	32.5946	33.0563
<b>RMSE</b>	20.301	34.7815	35.5392	34.9526	36.1347	36.5924

## CHAPITRE IV : Prévision des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA

### iii. Le bassin de Constantinois-Seybousse-Melleque :

Les résultats se sont avérés remarquablement satisfaisants, avec un coefficient de corrélation R de 0,63 pour les précipitations mensuelles. Toutefois, une analyse année par année a révélé des variations dans la qualité des prévisions. La prédiction la plus précise toujours a été obtenue pour l'année 2016, avec un coefficient de corrélation de 0,83, tandis que l'année 2018 a présenté la moins bonne précision, avec un coefficient de corrélation aussi faible que 0,28. Il est important de souligner que malgré ce résultat défavorable, les performances de prédiction en termes quantitatifs étaient remarquablement bonnes, avec une erreur absolue moyenne (MAE) de 57,47 et une racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) de 64,25.

Ainsi, d'un point de vue qualitatif, les prévisions se sont révélées globalement excellentes, même pour les années où le coefficient de corrélation était relativement faible.

**Tableau 4.6 :** Indicateurs de prévision du bassin du Constantinois-Seybousse-Melleque

	<b>validation</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>R</b>	0.6291	0.8337	0.7533	0.2828	0.8083	0.545
<b>MAE</b>	23.7213	51.7955	57.3308	57.4788	57.0383	53.5066
<b>RMSE</b>	31.1831	57.501	64.3285	64.253	63.0179	59.2536

### iv. Le bassin de l'Oranie-Chott-cherqui:

Les résultats se sont avérés modestes, avec un coefficient de corrélation R de 0,48 pour les précipitations mensuelles. Toutefois, une analyse année par année a révélé des variations dans la qualité des prévisions. La prédiction la plus précise a été obtenue pour l'année 2016, avec un coefficient de corrélation de 0,68, tandis que l'année 2020 a présenté la moins bonne précision, avec un coefficient de corrélation aussi faible que 0,41. Il est important de noter que malgré ce résultat insatisfaisant, les performances de prédiction en termes quantitatifs étaient remarquablement bonnes dans cette région, qui est déjà

## CHAPITRE IV : Prévision des précipitations mensuelles au Nord de l'Algérie à l'aide d'un modèle de RNA

caractérisée par une répartition faible des précipitations. L'erreur absolue moyenne (MAE) s'élevait à 25,62 et la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) à 28,31 pour la dernière année.

D'un point de vue qualitatif, les prévisions se sont révélées globalement moyennes à bonnes pour la zone de l'Oust du pays.

**Tableau 4.7 :** Indicateurs de prévision du bassin de l'Oranie-Chott-chergui

	validation	2016	2017	2018	2019	2020
<b>R</b>	0.487	0.6816	0.4627	0.5562	0.6747	0.416
<b>MAE</b>	12.5811	25.0839	24.502	23.9869	27.1759	25.6218
<b>RMSE</b>	15.7871	27.6366	26.6038	26.397	28.9278	28.317

### Conclusion :

L'intelligence artificielle s'est révélée être un outil précieux et efficace dans de nombreux domaines, y compris pour la modélisation des systèmes complexes non linéaires tels que les phénomènes météorologiques. Cette étude a démontré que l'utilisation d'un modèle basé sur l'approche des réseaux de neurones artificiels a permis d'obtenir des résultats très satisfaisants dans la prévision des précipitations mensuelles, offrant une excellente compréhension de la situation globale de la pluviométrie dans la région étudiée.

Cependant, il convient de noter que du point de vue quantitatif, les résultats ont montré certaines limitations, comme en témoignent les coefficients de corrélation obtenus. Afin d'améliorer davantage le modèle, des ajustements et des améliorations spécifiques seront nécessaires. Il est donc essentiel de poursuivre la recherche et le développement de ce modèle afin de perfectionner les techniques de prévision des phénomènes météorologiques et d'obtenir des résultats plus précis et fiables à l'avenir.

*CONCLUSION GENERALE*

## Conclusion générale

En conclusion, ce mémoire de master a exploré l'utilisation d'un modèle de réseau de neurones artificiels (RNA) pour la prévision des précipitations au nord de l'Algérie. L'objectif principal était d'améliorer les prévisions météorologiques en utilisant une approche basée sur l'apprentissage automatique. Les résultats obtenus ont démontré que les RNA peuvent être efficacement utilisés pour prédire les précipitations dans cette région.

L'étude a commencé par une revue approfondie de la littérature existante sur les méthodes de prévision des précipitations et les modèles de RNA. Cela a permis d'identifier les lacunes dans les approches actuelles et de justifier la pertinence de l'utilisation des RNA dans ce contexte spécifique. Ensuite, une méthodologie appropriée a été adoptée pour collecter les données nécessaires, prétraiter les variables d'entrée et de sortie, et entraîner le modèle de RNA. Des données historiques de précipitations ont été utilisées comme entrées, tandis que les précipitations réelles ont été utilisées comme sortie cible.

Les expérimentations menées ont montré que le modèle de RNA était capable de capturer les motifs complexes des données météorologiques et de fournir des prévisions précises des précipitations au nord de l'Algérie. Des mesures d'évaluation de la performance, telles que l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et la corrélation de Pearson, ont confirmé la validité des résultats obtenus. Cependant, il convient de souligner que malgré les performances prometteuses des RNA, il existe encore des défis à relever. L'obtention de données météorologiques de haute qualité et en temps réel reste un défi majeur. De plus, les modèles de RNA nécessitent un ajustement et une optimisation constants pour s'adapter aux changements dans les conditions météorologiques.

En conclusion, ce mémoire a apporté une contribution significative à la prévision des précipitations au nord de l'Algérie en utilisant un modèle de RNA. Les résultats obtenus ouvrent la voie à de nouvelles opportunités pour améliorer les prévisions météorologiques dans cette région, ce qui pourrait avoir un impact positif sur la prise de décision dans divers domaines, tels que l'agriculture, la gestion des ressources en eau et la planification des infrastructures.

*REFERENCES*

*BIBLIOGRAPHIQUES*

*BIBLIOGRAPHIQUES*

*REFERENCES*

## Références Bibliographiques

### Webographie :

- [1]: <https://www.meteo.dz/climatenalgerie.php>
- [2]: <https://algerie-meteo.com/Climat.html>
- [3]: <https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICPRECI.HTM>
- [4] : [https://www.alertes-meteo.com/divers\\_pheno/pluie.htm](https://www.alertes-meteo.com/divers_pheno/pluie.htm)
- [5] : <https://www.meteocontact.fr/pour-aller-plus-loin/les-precipitations>
- [6]: <https://www.etoile-assurance.fr/les-aleas-climatiques-assures-la-grele/>
- [7]: <https://www.aquaportail.com/definition-13056-nivometre.html>
- [8]: <https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie>
- [9] : <https://cms.geobretagne.fr/content/donnees-satellitaires-definitions>
- [10] : <https://www.cieau.com/connaitre-leau/>
- [11] : <https://kobia.fr/regression-metrics-quelle-metrique-choisir/>
- [12] : <https://www.climatologylab.org/terraclimate.html>

### Bibliographie :

- [13] : Sabeur, K. (2021), Etude statistique de la pluviométrie et caractérisation du climat Application sur un bassin versant d’oued Sebdou (Nord-ouest Algérien), *Mémoire de mastère, Université de Tlemcen, 159p.*
- [14] : Touaïbia.B, (2004), Manuel Pratique d’Hydrologie, *Edition Madani, Blida, Algérie.*
- [15] : Aidi, K (2014). Etudes des pluies et des intensités pluviales des zonez semi-arides (cas du zahrez, bassin versant17). *Magistère en hydraulique, Uiv. Ourgla,149p.*
- [16] : Dion, P. (2020). Amélioration des prévisions hydrologiques d’ensemble dans un contexte de modélisation multi-modèle (*Doctoral dissertation, École de technologie supérieure*).

- [17] : Marty, R (2010). Préviation hydrologique d'ensemble adaptée aux bassins a crue rapide. Elaboration de prévisions probabilistes de précipitations à 12 et 24 h. Désagrégation horaire conditionnelle pour la modélisation hydrologique. Application à des bassins de la région Cévennes Vivarais. Hydrologie. Université de Grenoble. (*Doctoral dissertation, Université de Grenoble*).
- [18] : Kalnay E (2003) : Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability. *Cambridge University Press*, pp. 341.
- [19] : Touzet, C. (1992). les réseaux de neurones artificiels, introduction au connexionnisme. Ec2. : *Cours, exercices et travaux pratiques. EC2, 1992, Collection de l'EERIE, N. Giambiasi.*
- [20] : Ouanas.H et Lamouat.M. (2022). l'Application des réseaux de neurones artificiels pour l'estimation des lacunes dans les enregistrements de précipitation : Application sur le bassin versant de la Soummam, (*Doctoral dissertation, university of M'sila*).113p.
- [21] : Saed.Z et Bourelaf.A : (2017). Méthodes statistiques de prévision à court terme. Application à la production et vente du médicament. *Mémoire de Master, Université de Blida 1,*
- [22] : Apstat Technologie Inc (2002). Introduction aux réseaux de neurones, *Rapport : considération actuelle, Montréal Québec.*
- [23] : Ammar, Y. (2017). Mise en œuvre de réseaux de neurones pour la modélisation de cinétiques réactionnelles en vue de la transposition batch/continu, *Thèse de doctorat de l'INP, Toulouse.*
- [24] : Toukourou, M.S., (2009), Application de l'apprentissage artificiel à la prévision des crues éclair, *thèse de l'ENSMP, 180p.*
- [25] : Dreyfus et al (2008): Apprentissage statistique, EYROLLES, *Algorithmes*, 417p.
- [26] : Benlatreche, T.(2006). Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics. *Mémoire de magister, Université de Constantine. 240p.*
- [27] : MEGHERBI, W, (2015). L'ensablement, un risque négligé en zone tellienne littorale cas de la région Mostaganem, *Mémoire de magister, Université d'Oran 2. 193p.*
- [28] : YAHIAOUI.D, (2015) : Impact des variations climatiques sur l'agriculture en Oranie. *Mémoire de magister, Université d'Oran 1. 161p.*

**[29]** : Frenken, K. (2005). L'Irrigation en Afrique en Chiffres: Enquête Aquastat-2005: 29 (Rapports de la Fao Sur L'Eau) (Vol. 29). *Food & Agriculture Org.*

**[30]** : Leutbecher M. et Palmer T-N. (2008). Ensemble forecasting. *Journal of Computational Physics*, 227, pp. 35153539.

**[31]** : Rezak, S. (2014). Hydrologie Algérienne: Synthèse des apports de crues sur SIG (*Doctoral dissertation, Dissertation, University of Oran, Algeria*). 173p.

**[32]** : Ghenim et al, (2001). Contribution à l'étude des écoulements liquides et des dégradations du bassin versant de la Tafna, Cas d'Oued Isser, Oued Mouilah et la haute Tafna. *Séminaire National sur l'eau, Université de Tlemcen, 5-6 juin*.

**[33]** : ABH-OCC. (2006) : Agence de Bassin Hydrographique Oranie-Chott Chergui (ABH-OCC) (2006), Mission 1, Inventaire des Ressources en Eau et en Sols et des Infrastructures de Mobilisation, *Cadastre Hydraulique du Bassin des*

**[34]** : Abdeddaim, H. (2018). Contribution a l'etude de l'influence de la structure du reseau hydrographique sur le risque hydrologique «cas des bassins de l'est de l'Algérie» (*Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA*). *Hauts Plateaux Oranais*.

**[35]** : Ouissem et al, (2016). Application du réseau des neurones artificiels à la prévision des débits horaires: Cas du bassin versant de l'Eure, France, *Hydrological Sciences Journal*, 61:3, 541-550, DOI: 10.1080/02626667.2014.933225.

**[36]** : Bouach, A. (2019). Etude de la vulnérabilité des réseau d'alimentation en eau potabl-surconsommatio énergétique des stations de pompage (*Doctoral dissertation*).

**[37]** : Bouach, A., & Benmamar, S. (2022). Prévion à long terme des précipitations mensuelles dans le bassin de l'Algérois. *In 1er Séminaire National sur la Protection et la Préservation des Ressources en Eau 16 et 17 octobre 2022 à l'université Saad Dahlab-BLIDA 1*.

# Annexe 1



2002	247.02	294.28	442.44	629.11
2003	358.10	419.61	630.23	923.67
2004	377.05	445.86	570.00	805.95
2005	238.54	315.79	444.23	614.77
2006	324.26	411.67	488.89	646.09
2007	335.68	443.94	535.09	619.17
2008	388.56	413.41	480.50	488.14
2009	302.41	407.48	579.74	814.22
2010	362.93	447.05	532.50	666.75
2011	361.04	482.80	572.45	727.48
2012	357.28	424.01	490.81	548.29
2013	360.98	484.15	604.92	709.74
2014	314.60	385.82	427.43	563.76
2015	282.71	309.95	351.88	609.96
2016	218.37	305.11	418.68	549.64
2017	205.78	305.02	384.39	534.21
2018	402.85	519.89	532.12	604.40
2019	220.38	294.05	406.10	687.41
2020	213.04	286.11	376.39	564.10