

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique
Université Mohamed Boudiaf - M'sila



Faculté De Technologie
Département D'hydraulique
Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique
Filière : hydraulique
Option : Ressource Hydraulique
THEME

APPLICATION DES MODELES RESAUX DE NEURONES
ARTIFICIELS POUR LA PREVISION DE LA SECHERESSE :
APPLICATION SUR LE BASSIN DU K'SOB

Encadré par :
Mr. DJERBOUAI SALIM

Réalisé par :
DOGHA SARRA
GUELMINE WIDAD

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

A l'occasion d'écrire ce mémoire, nous remercions dieu le tout puissant de nous avoir donné la chance , la capacité et la force de réalisé ce projet de fin d'étude .

Tout d'abord, un grand merci à notre respecté encadreur Monsieur « Salim Djerbouai » pour son écoute et du temps qui nous a accordé et des bons conseils qui nous a donnés au cours de l'encadrement tout en laissant également toute La liberté à développer nos propres idées .

Notre sincère merci s'adresse aussi à tout le membre du juré qui s'occupera de l'examen de notre travail.

Nous remercions tous les professeurs de la faculté des sciences et technologie et du département de l'hydraulique qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours académique , et à tous nos amis et camarades loins ou proches du département de l'hydraulique.

DEDICACE

Je dédie ce travail

A mes chères parents d.othmane et M.L qui sans eux je n'aurai jamais pu arriver jusqu'ici ; je vous aime tellement. Ils m'ont soutenu le long de ce parcours, ils ont veillé à ce que je ne manque de rien, ils m'ont encouragé à tenir bon et à aller jusqu'au boutet ils n'ont cessé de prier pour moi. Aucune dédicace ne saurait exprimer ce que vous méritiez pour les sacrifices que vous n'avez cessé de faire depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Je tiens vraiment à remercier M Le Professeur Djerbouai .S pour sa gentillesse, son écoute et sa très grande expertise, et biensûr mon binôme Guelmine Widad .

A mes chers frères Oussama et hamza, mes chères sœurs khaoula et leurs enfants mohamed et oseyd , chaïma et hadjer pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral. A toute ma famille et surtout mon grand-père et mes amies Cheyma et Lamisse.

A tous mes chers amis pour les aider et les soutenir dans les moments difficiles.

A tous ceux que j'aime et à tous ceux qui m'aiment.

Sarra

DEDICACE

*Avec l'aide de dieu tout puissant, on a pu achever ce
modeste travail que je dédie ,
A mon père SEID , qui m'a toujours poussé et motivé dans
mes études. Puisse Dieu , le tout puissant , l'avoir en sa
sainte miséricorde .*

*A ma mère , pour son amour , ses encouragements et ses
sacrifice.*

*A mes chères soeurs , A mes chères frères et leurs enfants
pour leurs encouragement , permanents et leurs soutien
moral .*

*Une spéciale dédicace pour mon mari abd elbari
A Mes Amis Et Tous Qui M'aiment*

widad

الجفاف هو عجزٌ في الثروة المائية بشكلٍ عامٍ في منطقةٍ معينةٍ، وخلال فترةٍ زمنيةٍ محددةٍ، ممّا يؤدي إلى شحّ المياه، وتدنيّ نسبتها بشكلٍ كبيرٍ في مختلف الموارد المائية، فيقلّ منسوب المياه في الآبار، وتتدنى نسبة المياه الجارية، ممّا يؤثر بشكلٍ سلبيٍّ على احتياجات الإنسان والحيوان والنبات .

حيث ان هذه الظاهرة تعد من اهم الاسباب الطبيعية المسببة لتدهور الغطاء الزراعي والنظام الاقتصادي. تظهر حالات الجفاف بعد فترة دون هطول الامطار لكن من الصعب تحديد مظهرها ومداهها ونهايتها وبالتالي من الصعب للغاية تحديد خصائصها بشكل موضوعي من حيث الشدة والمدة والمدى المكاني.

الهدف من هاذو العمل هو تطبيق الشبكات العصبية الاصطناعية للتنبؤ بظاهرة الجفاف حيث اننا استخدمنا مؤشر الهطول القياسي (SPI) لأنه هو الأنسب والاكثر استخداما في هذا المجال، تم تطبيق هذه الدراسة في الحوض الشبه جاف القصب (المسيلة) .

الكلمات المفتاحية: الجفاف, مؤشر SPI , الحوض الشبه جاف, المسيلة.

Résumé

La sécheresse est un manque général de ressources en eau dans une zone particulière , et pendant une période de temps spécifique , ce qui entraîne une pénurie d'eau et une diminution significative de son pourcentage dans les différentes ressources en eau , et le niveau d'eau dans les puits diminue ,le pourcentage d'eau courante diminue , ce qui affecte négativement les besoins humains,animaux et plantes. ce phénomène est considéré comme l'un des causes naturelles les plus importantes de la détérioration du couvert agricole et de système économique . les sécheresses apparaissent après une période sans précipitations , mais il est difficile de déterminer leur occurrence , leur étendue et leur fin ,il est donc très difficile de déterminer objectivement leurs propriétés en termes d'intensité , de durée et d'étendue spatiale . le but de ce travail est d'appliquer des réseaux de neurones artificiels pour prédire le phénomène de sécheresse , ou nous avons utilisé l'indice de précipitations standardisé (SPI) le plus approprié dans ce domaine .l'étude est appliqué sur le bassin le semi aride k'sob (M'sila) .

Mots clés : la sécheresse , indice SPI , bassin semi-aride ,M'sila .

Abstract

Drought is a general lack of water resources in a particular area, and for a specific period of time, resulting in a shortage of water and a significant decrease in its percentage in the various water resources, and the level of water in wells decreases, the percentage of running water decreases, which negatively affects the needs of humans, animals and plants. this phenomenon is considered one of the most important natural causes of the deterioration of agricultural cover and economic system. Droughts appear after a period without precipitation, but it is difficult to determine their occurrence, extent and end, so it is very difficult to objectively determine their properties in terms of intensity, duration and spatial extent. the aim of this work is to apply artificial neural networks to predict the phenomenon of drought, where we used the standardized precipitation index (SPI) most appropriate in this area .the study is applied on the basin the semi arid k'sob (M'sila) .

key words : Drought , SPI indice , semi-arid basin , M'sila .

Table des matières

Remercîment	
Dédicaces	
Résumé	
Introduction.....	4
I. 1 Situation géographique du bassin versant K'sob	4
I.1.2 .Historique du barrage K'sob	6
□.1.3.Caractéristiques physiques du bassin versant de Oued El k'sob	7
I.1.4.Réseaux hydrographique	8
I.1.5 Topographie	8
I.1.5.1 Relief	8
I.1.5.2 Pente	8
1.2.1 Géologie.....	10
1.2.2 Géomorphologie.....	10
1.2.3 Pédologie	10
□.2.3.1 Première classe	10
□.2.3.2 Deuxième classe	11
□.2.4 Végétation de bassin versant de Oued El k'sob.....	12
□.2.5.1 Climat.....	13
□.2.5.2 les précipitations	13
□.2.5.3 la température	13
I.2.5.4 Vent	14
□.2.5.5 Humidités relatives (%)	15
I.2.5.6 Evaporation	15
□.2.5.7 La flore	15
Conclusion	16
Chapitre □ : Généralités sur la sécheresse.....	19
Introduction.....	19
□.1 Définition de la sécheresse.....	19
□.1.1 Définition mathématique de sécheresse	19
□.1.2 les types de la sécheresse.....	22
□.1.2.1 Sécheresse Météorologique :.....	22
□.1.2.2 Sécheresse Agricole	22
□.1.2.3 Sécheresse Hydrologique	22
□.1.2.4 Sécheresse Socio-économique.....	22
□.1.3 Les causes de sécheresses.....	23
□.1.4 Conséquences de la sécheresse	24
□.2 Les Indices de sécheresses	24

□.2.1 Indice standard des précipitations (SPI) :	24
□.2.1.1 Présentation de l'indice	24
□.2.1.2 Description de l'indice normalisé des précipitations	25
□.2.1.3 Aperçu :	25
□.2.1.4 Destinataires :	25
□.2.1.5 Avantages :	25
□.2.1.6 Inconvénients :	25
□.2.2 Indice de sécheresse SPEI	28
□.2.2.1 Définition	28
□.2.2.2 Calcul de l'indice de sécheresse standard SPEI	28
□.2.3 Indice de l'écart à la moyenne (Em)	28
□.2.4 Indice de pluviosité (LP)	28
□.2.4.1 Rapport à la normale des précipitations (RN)	29
□.2.5 Indice de l'écart à la normale (En)	29
Conclusion	30
Chapitre □ : les réseaux de neurones artificiels	32
Introduction	32
□.1 Définition :	32
□.1.1 Neurone formel (Artificiel)	33
□.1.2 Structure d'un neurone artificiel	35
□.1.3 Les types de réseaux de neurones	35
□.1.3.1 Les réseaux de neurones feed-forwarded	35
□.1.3.2 Le perceptron multicouche MLP	36
□.1.3.3 Réseaux à RBF (fonction radiale de base)	37
□.1.3.4 Réseaux récurrents	37
□.1.3.5 Réseaux non boucles (non récurrent)	38
□.1.4 Domaine d'application des réseaux de neurones (RNA)	39
□.1.4.1 L'application au traitement du signal	39
□.1.4.2 L'application à la planification	39
□.1.4.3 L'application au contrôle	39
□.1.4.4 L'application au diagnostic	39
□.1.5 Architecture du réseau de neurone	40
□.1.5.1 Réseau de neurones monocouches	40
□.1.5.2 Réseaux de neurones multicouches	40
□.1.6 Apprentissage des réseaux de neurones	41
□.1.6.1 Apprentissage supervisé	41
□.1.6.2 Apprentissage semi-supervisé	41
□.1.6.3 Apprentissage non supervisé	41

□.1.7 Avantages et Inconvénients des réseaux de neurones artificiels.....	41
□.1.7.1 Avantages	41
□.1.7.2 Inconvénients.....	42
Conclusion	42
Chapitre □ : Application.....	45
Introduction.....	45
□.1.1 Calcul de l'indice de précipitation standardisé.....	45
□.1.2 Données utilisées.....	45
□.1.3 Logiciel de calcul de l'SPI DrinC	46
□.1.4 Application des modèles réseaux de neurones artificiels	47
□.1.5 Modèle proposé : Le perceptron multicouches MLP	47
□.2.1 Répartition de la base de données.....	48
□.2.2 Paramètres du réseau.....	49
□.2.3 Autocorrélation	50
□.2.4 Résultats de prévision obtenus.....	50
□.3.1 Critères de performance	53
□.3.1.1 Le coefficient de corrélation (R).....	53
□.3.1.2 L'erreur moyenne absolue (MAE)	53
□.3.1.3 Le critère de Nash (Nash)	53
□.3.1.4 La racine de l'erreur quadratique moyenne (RMSE).....	53
□.3.2 Interprétation.....	54
□.3.2.1 Interprétation des résultats	54
□.3.2.2 Intrprétation des graphes.....	54
Conclusion	55
Conclusion générale	58
Références bibliographiques.....	61

Liste des tableaux

Tableau 1: Les caractéristiques physiques du bassin versant de Oued El k'sob.	7
Tableau 2 : Distribution des pentes du bassin versant de Oued El k'sob	8
Tableau 3: Répartition spatiale de couverture végétale du bassin versant de Oued El k'sob ...	12
Tableau 4 : Les précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station du barrage K'sob. ...	13
Tableau 5 Moyennes mensuelles et annuelles des températures de la station de M'sila.	14
Tableau 6 Moyennes mensuelles annuelles de la vitesse du vent m/s.....	14
Tableau 7: Moyennes mensuelles annuelles de l'humidité en (%) de station de m'sila.....	15
Tableau 8 Moyennes mensuelles annuelles de l'évaporation de station de M'sila.....	15
Tableau 9 Valeurs de l'indice SPI(McKee et al . ,1993).....	26
Tableau 10 Probabilité d'occurrence	27
Tableau 11 Transition entre le neurone biologique et le neurone formel.	33
Tableau 12: Un neurone réalise une fonction non linéaire bornée.....	34
Tableau 13 Caractéristiques de la station du barrage K'sob	45
Tableau 14: Répartition de la base de données	49
Tableau 15: critère des performance.....	54

Listes des figures :

Figure 1 : Carte de bassin versant d'Oued El k'sob	5
Figure 2 : La situation géographique du bassin versant de l'oued K'sob.....	6
Figure 3 : Carte de pente du bassin versant d'Oued El k'sob.....	9
Figure 4 : La carte topographique de bassin versant de l'oued K'sob	10
Figure 5 : Carte pédologique de bassin versant d'Oued El k'sob	11
Figure 6 la faune sauvage souffre de la sécheresse	20
Figure 7: la sécheresse en Inde.....	21
Figure 8: disparition de la mer d'Aral	21
Figure 9: Relation entre les différents types de sécheresse (météorologique ,agricole, hydrologique et socioéconomique).	23
Figure 10 : Différents types de fonction de transfert pour le neurone artificiel.....	34
Figure 11:Réseau Feedforward à trois couches	36
Figure 12: réseau feedback simple	38
Figure 13: Données pluviométriques mensuelles du barrage K'sob	45
Figure 14: Fenêtre du logiciel DrinC.....	46
Figure 15: SPI calculé.....	47
Figure 16: Schéma du model MLP proposé.....	48
Figure 17: fonction d'autocorrélation.....	50

Introduction générale

Introduction générale

La sécheresse est un état d'aridité provoqué par des précipitations plus faible que la normale pendant une période prolongée, ce phénomène qui touche plusieurs pays dont l'Algérie (notre cas est m'sila la région du bassin k'sob). Elle a des effets néfastes sur l'ensemble des secteurs à savoir l'environnement, la vie sociale et l'économie.

Depuis quelques années, plusieurs études portées sur les changements planétaires causées par la sécheresse, ont proposées des outils et des Moyens pour prévoir et identifier la sévérité du phénomène de sécheresse, Selon une étude de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM).

L'objectif escompté par le présent travail est d'appliquer les réseaux de neurones artificiels pour la prévision de la sécheresse.

Plusieurs indices ont été proposé pour la quantification de la sécheresse, variant de plus simple au plus complexe en termes de calcul et de données requises.

Dans notre cas nous avons opté pour l'utilisation de l'indice de précipitation standardisé (SPI), et cela en raison de ses multiples avantages notamment, la facilité de son calcul, le fait qu'il est calculé en utilisant uniquement des données de précipitation, et aussi que le SPI peut être utilisé dans pratiquement toutes régions.

Pour atteindre ces objectifs, ce mémoire a été organisé en quatre chapitres principaux :

Le mémoire commence par une introduction générale.

- **Le premier chapitre** présente la région d'étude du bassin versant d'oued el k'sob.
- **Le deuxième chapitre** traite des généralités sur la sécheresse
- **Le troisième chapitre** présente les réseaux de neurones artificiels et leur apprentissage ainsi que leurs avantages et inconvénients.
- Dans le dernier chapitre nous avons appliqué la méthode des réseaux de neurones artificiels pour la prévision du phénomène sécheresse.

A la fin, le travail se termine par une conclusion générale.

Chapitre □ présentation de la région d'étude

Introduction

Le bassin versant de k'sob c'est un sous bassin du grand bassin de chott El Hodna, est l'un des plus anciens barrages d'Algérie, il situé dans le village de boukhmissa dans la wilaya de M'sila. Il est limité au Nord-Ouest par la chaîne montagneuse des Bibans : au Sud et au Sud-Ouest par le haut plateau d'El Hodna et à l'Est par les hautes plaines de Sétif.

D'une manière générale, le climat de la région est de type semi -aride caractérisé par un été sec et chaud et hiver froid.

Cette partie du présent travail est consacrée à une description générale de ce bassin, afin de déterminer les caractéristiques générales, réseau hydrographique, le climat la température, la végétation et les précipitations.

I. 1 Situation géographique du bassin versant K'sob

Le bassin versant d'Oued El k'sob (Fig.1) situe aux confins Nord de grand bassin de Hodna. Il constitue la partie Ouest des hautes plaines constantinoises ; représentant un trait d'union entre le Telle et les monts du Hodna.

- Au Nord, sa limite est constituée par la ligne des partages des eaux entre le bassin du Soummam et le Chotte d'El-Hodna jusqu'au Djebel Mourissane puis jusqu'au sommet de Teniet Ben Azrag sur le Djebel Tarchett. Cette limite continue vers le Nord-Ouest jusqu'au sommet de Djebel Manssorah.

- Au Sud est constituée par les monts de Honda matérialisés par la ligne de crête Ouest-Est de Djebel Maàdid.

- A l'Est, s'étend de Djebel Safiet El Hamra jusqu'à L'Elalleche en prenant la direction Nord-Ouest à Drâa Ouled Dehleb, passant par Bir Aissa.

- A l'Ouest sa limite est Nord -Sud de Djebel Manssorah jusqu'au niveau du barrage d'El k'sob.

Géographiquement elle est comprise :

- Entre les parallèles : $35^{\circ} 53' 9''$ et $35^{\circ} 58' 5''$ de latitude Nord.
- Entre les méridiens : $4^{\circ} 35' 3''$ et $4^{\circ} 42' 33''$ de longitude Est.

Selon le découpage administratif du 04 Février 1984, le bassin versant de Oued El K'sob

se situe à 97,7 % en superficie dans la wilaya de Bordj Bou Arréridj (B.B.Arréridj, Medjana, Hasnaoua, El K'sob, El Euch, Rabta, Hammadia, Belimour, Bordj Ghdir, Ras El Oued, El Annasser, Ouled Braham) et à 1,3 % et 1 % en superficie, respectivement dans les wilayas de Sétif (Ain Oulmène) et M'Sila.(benkadja et al.2012) .

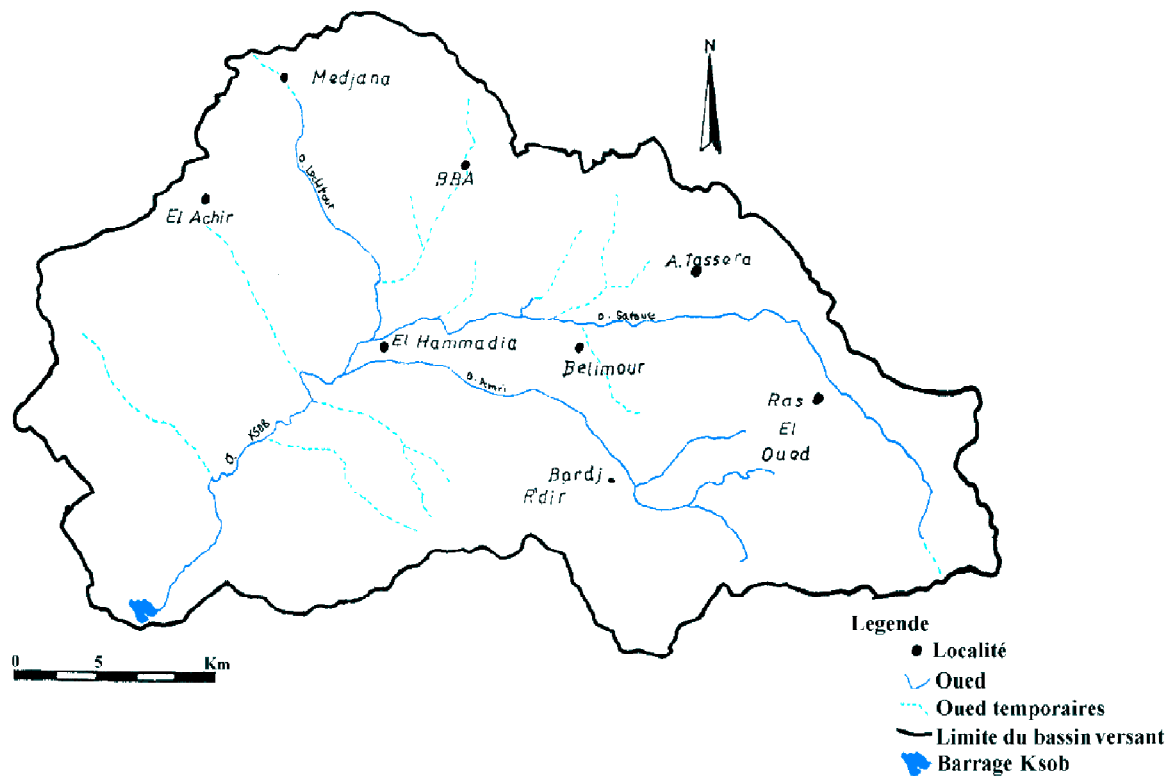


Figure 1 : Carte de bassin versant d'Oued El k'sob

Le bassin est subdivisé en 8 sous bassins dont les plus hiérarchisés sont ceux des Oueds de Ras El Oued, Bordj El R'dir, Soulit et Rabta. Les sous bassins restants ne reçoivent que les affluents non hiérarchisés surtout entre Medjez et le barrage El K'sob. Le bassin versant de Oued El K'sob est situé sur les versants Sud des monts du Hodna et ses eaux s'écoulent vers le Chott Hodna qui est un lac endoréique, c'est-à-dire dépourvu d'exutoire. En raison de la présence des villes de Sétif et Bou Arreridj sur leur territoire, l'accès de ces deux bassins versants est facilité par les routes N5, N28 et N45.

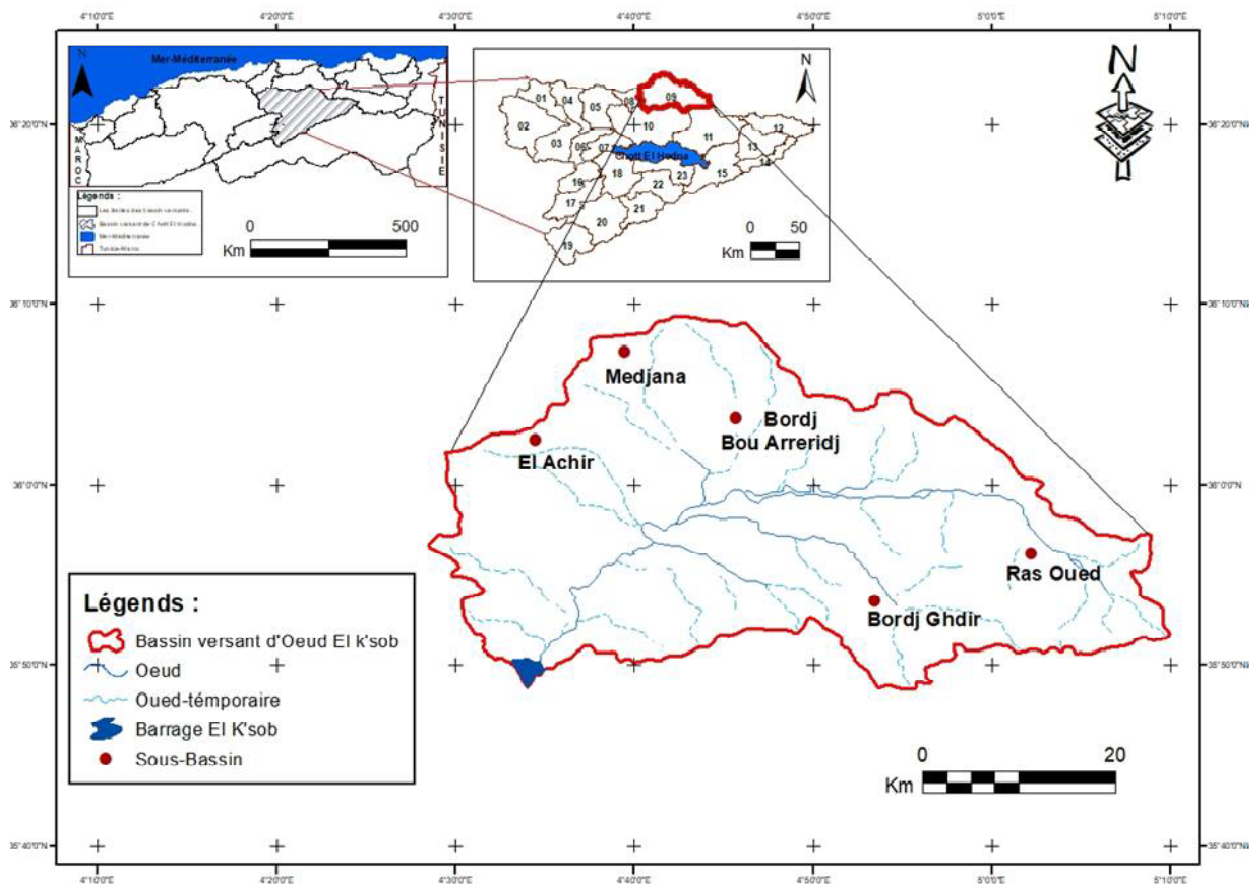


Figure 2 : La situation géographique du bassin versant de l'oued K'sob.

I.1.2 .Historique du barrage K'sob

1920 : L'édification d'un barrage de dérivation des eaux de crue de l'oued K'sob inférieur fut inscrite au programme de travaux publics de novembre 1920.

1927 : La possibilité de construire sur l'oued K'sob, non pas un barrage de dérivation mais un barrage réservoir fut examinée par les ingénieurs de la circonscription de bougie (Bejaia).

1930 : La réalisation du barrage fut mise au concours le 25 novembre 1929. Six entreprises soumissionnaires. Par jugement du 2 décembre 1930 les travaux furent confiés à la société THEG.

Il s'agissait alors d'un barrage type « poids évidé » arasé à la cote (610m) d'une hauteur de 50 m et d'une capacité de 50 hm³. L'ouvrage ainsi conçu pouvait assurer la régularisation interannuelle de débit de l'oued K'sob.

1933 : Les travaux préparatoires étaient achevés lorsque des compressions budgétaires imposèrent une limitation des dépenses entraînant une modification du projet.

Le marché passé avec la société THEG fut approuvé le 23 octobre 1933.

1934 : Les fondations furent terminées en 1934.

1935 : Une crue de 680 m³ survint le 5 octobre endommageant les rives en aval du barrage.

1939 : Le corps du barrage fut achevé dans le courant de l'année.

1940 : Les évacuateurs étant terminés à la fin du premier semestre la mise en eau débuta en juillet 1940.

1947 : Le câble de la vanne de garde de vidange se rompit provoquant l'interruption des validations. Il fallut vidanger le barrage par les vannes de prise.

1954 : L'aménagement d'un deuxième pertuis de vidange fut terminé en Mai 1954.

1955-1960 : Construction du tronc commun et du réseau d'irrigation en béton remplaçant les anciennes seguias (ANBT, 2008).

□.1.3.Caractéristiques physiques du bassin versant de Oued El k'sob

Les caractéristiques physiques du bassin versant sont tirées de la monographie des grands barrages (Tab.1):

Tableau 1: Les caractéristiques physiques du bassin versant de Oued El k'sob.

Caractéristiques	valeur donnée
Surface de BV	1494,5 km ²
Périmètre de BV	180 km
Longueur de Talweg principal	83 km
Coefficient de compacité de graveleuse	1,3
Altitude maximale	1585 m
Altitude minimale	590 m
Altitude moyenne	1070 m
L'altitude de sommet principal; Djebel Nechar	1885 m
L'altitude de sommet principal; Safiet El Hamra	1789 m

BV : bassin versant

Source: (Benkadja et al ., 2012).

I.1.4. Réseaux hydrographique

L'Oued El K'sob résulte de la jonction de deux cours d'eau qui sont Oued Soulite et Oued Beyata prend d'abord une direction Nord-Est / Sud-Ouest jusqu'au barrage d'El k'sob. Le lit d'Oued est large de 15m en moyenne et le régime d'écoulement de Oued El K'sob est endoréique (Fig.1). Les principaux affluents sont :

- Oued Toubou venant de la partie Nord-Ouest.
- Oued Rabta venant de la partie Sud-Est.
- Oued Rhafistane du Sud-Est.
- Oued Mezroug du Nord-Ouest.

Oued El K'sob avant l'entrée dans le barrage à une abondance annuelle moyenne de 60 millions de m³ soit un débit spécifique de 1,5 L/s/km² soit un coefficient d'écoulement moyen de 11%. La densité moyenne du réseau hydrographique y est extrêmement forte (5,45 km/km²), cette zone est située surtout près du barrage (Tatar, 1985).

I.1.5 Topographie

I.1.5.1 Relief

La région d'étude est composée de deux ensembles structuraux bien distincts:

- La chaîne montagneuse du Hodna au Sud.
- Les plaines et plateaux au Nord.

Cette structure est plissée au Sud, faillée au Nord. Le point culminant dans notre zone d'étude est 800 m au Zrazria, et le plus bas est 613 m au niveau de barrage El K'sob (Tatar, 1985).

I.1.5.2 Pente

Le tableau 2 et la figure 2, montrent que 51,4% des terres dans le bassin versant ont une pente faible à modérée (0 - 10 %), et 34,4 % des zones ont des pentes élevées (10 à 20%).

Tableau 2 : Distribution des pentes du bassin versant de Oued El k'sob

Classe de pente %	Surface en Km ²	Surface en %
0-5	491	33,2
5-10	270	18,2

10-15	241	16,2
15-25	261	17,6
> 25	220	14,8

La pente moyenne du bassin versant de Oued El K'sob est de 14% (Nemouchi, 2001, Benkadja et al., 2012). Longueur du cours d'eau principal du bassin versant est de l'ordre 83 km.

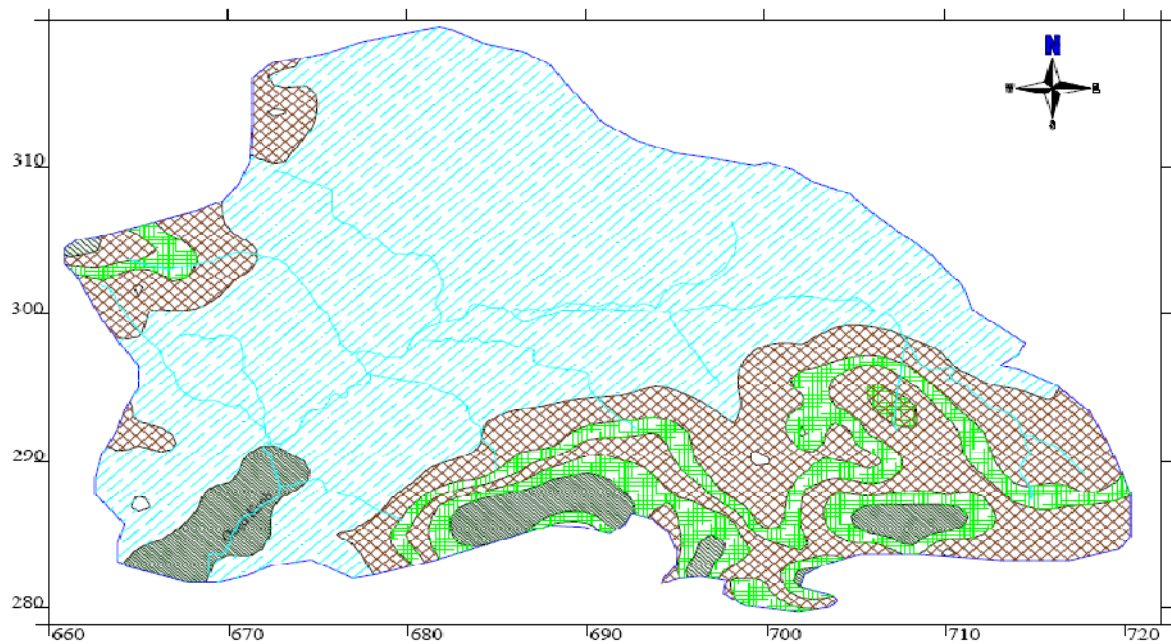


fig. II.00 : La carte des pentes du B.V du K'sob

Figure 3 : Carte de pente du bassin versant d'Oued El k'sob.

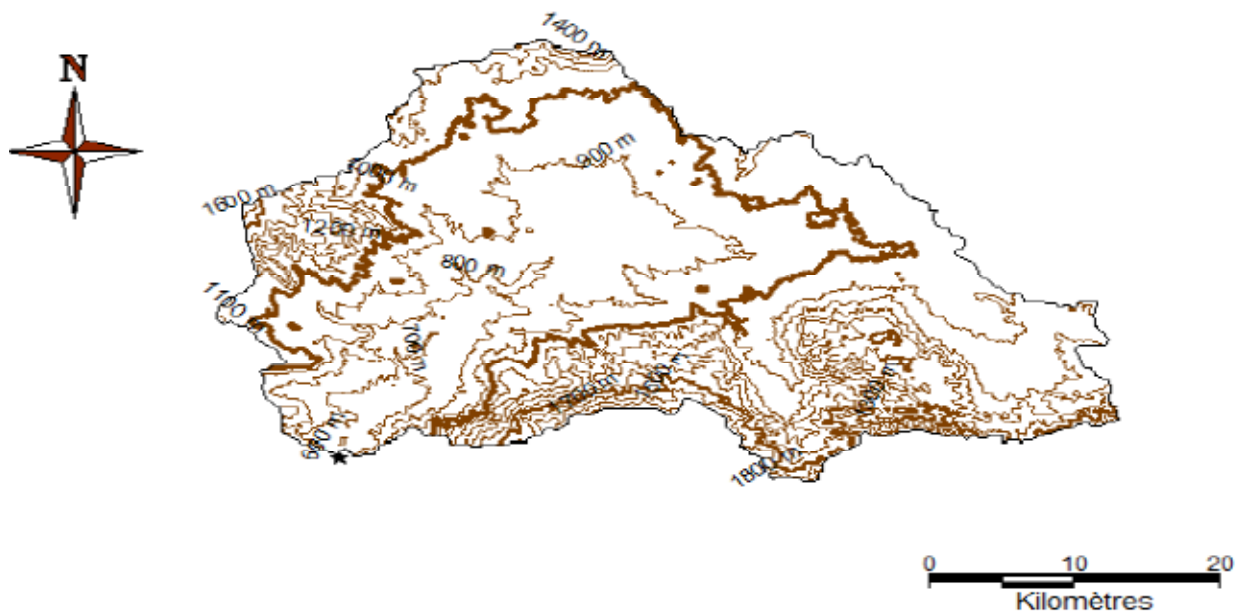


Figure 4 : La carte topographique de bassin versant de l'oued K'sob

1.2.1 Géologie

D'après Benkadja et al., (2012) l'analyse de la distribution géologique présente deux zones: - La zone 1 est formée par des formations lithologiques, qui sont Continué soumis à l'érosion mécanique. Cette zone est localise au Nord et au centre du bassin (alluvions quaternaires et terrasses, les argiles, marnes et de grès du Miocène). - La zone 2 est une zone formée par les formations dures (calcaire et dolomie) et est situé dans la partie sud du bassin .

1.2.2 Géomorphologie

Le bassin versant de l'Oued El K'sob se présente sous forme de cuvette à demi fermé, encadré par une ligne de relief relativement élevée, constituée au Nord par les monts de Medjana à l'Ouest par les massif de Djebel Mansoura et au Sud par les monts du Hodna (Tatar, 1985). Ces reliefs sont composés de:

♣ **Les plaines** : occupant (31%) situées dans sa partie centre Est et Sud Est. (comprise entre 800 à 1000m).

♣ **Les piéments** : occupant (28%) ce sont des glacis qui forment le record entre la pleine et le relief (100 à 1200m). Avec une pente de 3 à 12,5%.

♣ **Les plateaux**: occupant (22%) ce sont des plates formes, situées en contre bas et en bordure des montagnes.

♣ **Les montagnes** : moyennes montagne occupent 6 % situé à l'Ouest de bassin versant, altitude (1000 à 1400 m).

♣ **Hautes montagnes** : occupent 13 %, située au sud de bassin versant et correspond au Mont de Hodna (altitude 1500 à 1885 m) avec une pente de plus de 45%.

1.2.3 Pédologie

Suivant la classification des sols fournie par l'agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H) in Tatar (1985), les sols de notre région d'étude ont été divisés en deux classes fondamentales (Fig.3).

□.2.3.1 Première classe

Ce sont des sols peu évoluée, sous-classe des sols d'origine climatique, groupe des sols gris subdésertique. Ces sols sont caractérisés par :

- Un profil du type AC.

- Une teneur en matière organique très légère.
- Une structure granuleuse ou polyédrique.
- Une conductivité inférieure à $4\mu\text{s}/\text{cm}$ dans l'ensemble du profil.
- Abondance de carbone et de calcium le long du profil.

□.2.3.2 Deuxième classe

Ce sont des sols halomorphes, sous-classe des sols à structure non dégradée. Ces sols sont caractérisés par :

- Un profil peu évolué, du type AC.
- Une structure généralement polyédrique.
- Une conductivité supérieure à $4\mu\text{s}/\text{cm}$.
- Une quantité de carbone de calcium.
- Un pH autour de 8 et souvent plus élevée.

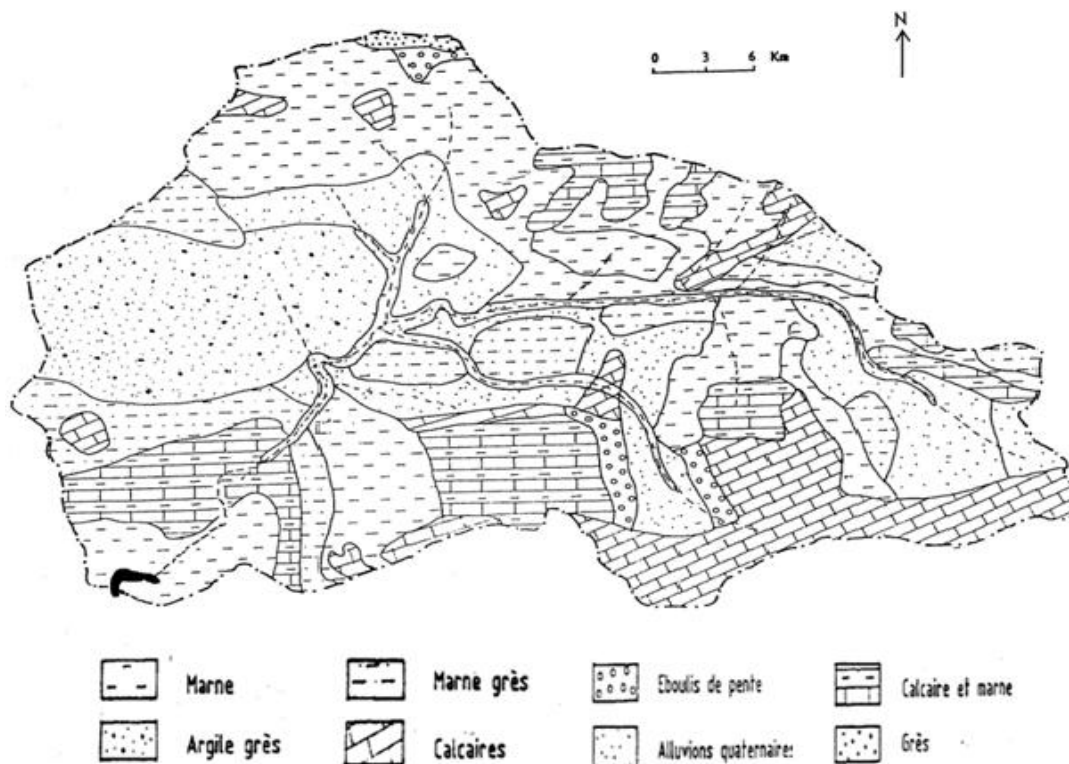


Figure 5 : Carte pédologique de bassin versant d'Oued El k'sob .

Ces sols généralement de grand intérêt agricole jouent un rôle économique important. Leur régime hydraulique très particulier à leurs confère des propriétés spéciales. La composition du matériau transporté est extrêmement variable, suivant les conditions géomorphologiques et géologique des régions transverses.

Ces sols sont formés au dépend d'un matériau apporté par l'eau. Il présente en général une nappe phréatique à forte oxydation. Ils sont caractérisés par une structure massive, une texture hétérogène, une grande porosité, une bonne aération superficielle et d'importante quantité de matière organique. Les sols alluviaux peuvent être calcaires ou acides, sableux, vice caillouteux; limoneux ou encore argileux. Sur un niveau plus élevé, nous avons, le long du réseau hydrique des terrasses plus ou moins encroûtées, leur étendue dépend de l'activité passé et actuelle des Oueds.(tatar 1985).

□.2.4 Végétation de bassin versant de Oued El k'sob

D'après Martinez et al., (2011) in Benkadja et al.,(2012), l'utilisation des terres du bassin de Oued El K'sob selon l'image satellite Landsat de 2006, montre que la végétation se compose principalement de céréales saisonniers, qui occupent presque tout le bassin (55%). Les terres agricoles réservées aux céréales s'étendent principalement sur les plaines de Ras El Oued, Bordj Ghdir, Bordj Bou Arreridj , El Achir , et Medjana (Tab. 3) . Les forêts représentent environ 25 % et sont localisées principalement sur certains terrains et la plus massive dans la partie sud du bassin. Plusieurs programmes de reboisement sont mis en œuvre dans le cadre de la restauration et de la protection du sol du périmètre du barrage El K'sob.

Tableau 3: Répartition spatiale de couverture végétale du bassin versant de Oued El k'sob

Superficies Type de végétation	Km ²	%
Surfaces incomplètement protégées (Céréales, Arboriculture)	724	55
surfaces bien protégées (Forets).	340	25
Surfaces mal protégées (terrains nus).	250	20

Source : DGF (non daté) ;. DSA., 2011

Les surfaces nues ou des zones mal protégées ne représentent qu'environ 20 % car les parcours sont très limités et les conditions de pédoclimatiques (pente et l'épaisseur du sol, les précipitations et les températures) sont toujours favorables aux cultures céréalières traditionnelles.

□.2.5.1 Climat

Le climat en région méditerranéenne est un facteur déterminant en raison de son importance dans l'établissement, l'organisation et le maintien des écosystèmes. Il joue un rôle fondamental dans la distribution et la vie des êtres vivants. Il dépend de nombreux facteurs tels que la température, les précipitations, l'humidité et le vent. La température et les précipitations représentent les facteurs les plus importants du climat (Blissag et Charabi, 2011).

□.2.5.2 les précipitations

La précipitation constitue un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes limniques. Selon ce même auteur, les précipitations jouent un rôle important dans l'apparition du tapis végétal (Blissag et Charabi, 2011).

Tableau 4 : Les précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station du barrage K'sob.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
P (mm)	22.5	23.73	25.48	21.40	21.67	16.96	23.28	25.90	24.77	10.95	3.74	6.80

Source : station de barrage K'sob

D'après le tableau le mois le plus pluvieux au barrage K'sob est le mois d'Avril 25,90 mm, alors que le mois le plus sec est Juillet 3,74 mm. La moyenne des précipitations annuelles enregistrées est 227,23 mm.

□.2.5.3 la température

La caractéristique de la température en un lieu donné se fait généralement à partir de la connaissance d'au moins cinq variables importantes qui sont les moyennes des minimums et des maximums, la moyenne mensuelle, le minimum absolu et le maximum absolu ainsi que l'amplitude thermique (Djebaili, 1984).

Tableau 5 Moyennes mensuelles et annuelles des températures de la station de M'sila.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
m(°C)	19.2	14.5	8.3	4.6	3.6	4.3	7.6	10.4	16.0	20.9	24.5	24.2	13.2
M(°C)	32.1	25.7	18.9	14.3	14.0	16.2	20.2	23.0	28.0	34.8	38.8	38.1	25.3
Tmoy(°C)	25.7	20.1	13.6	9.5	8.9	10.3	13.9	16.7	22.0	27.9	31.7	31.2	19.3

Source : (station météorologique de

M'sila)

La température moyenne annuelle dans la zone d'étude est évaluée à 19.3°C. La variation des températures moyennes mensuelles montre que le mois de Janvier est le mois le plus froid (8.9 °C) bien que le mois de Juillet est le mois le plus chaud (31.7 °C).

I.2.5.4 Vent

Le vent est déplacement de l'air au sein de l'atmosphère. Il est nait sous l'effet des différences de températures et de pressions. Ainsi, lorsqu'il existe une différence de pression entre deux points, l'air circule de l'endroit où la pression est la plus élevée (où l'air est froid) vers l'endroit où elle est la moins élevée (où l'air est chaud), en d'autres termes, l'air se déplace de la haute pression vers la basse pression. Le grand responsable de ce phénomène est le soleil (Lazaar, 2009).

Tableau 6 Moyennes mensuelles annuelles de la vitesse du vent m/s.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Vent(m /s)	4	3.6	3.6	3.8	3.6	4	4.3	5.1	4.6	4.6	4.3	3.9	4.10

Source (Station météorologique de M'sila)

Quelles que soient leurs directions, les vents qui soufflent sur M'sila, ont des vitesses relativement faibles qui vont de 3,6 m/s enregistré en mois de Juin, Octobre et Novembre et la vitesse maximale peuvent atteindre 5.1 m/s en Avril.

□.2.5.5 Humidités relatives (%)

L'humidité relative indique que l'état de l'atmosphère est plus ou moins proche de la condensation, c'est-à-dire la valeur de l'humidité relative à laquelle correspondent les sensations d'humidité ou sécheresse de l'air (Seltzer, 1864).

Tableau 7: Moyennes mensuelles annuelles de l'humidité en (%) de station de m'sila

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
H (%)	54.2	61.0	69.3	75.0	74.1	66.7	60.7	56.7	50	42.5	36.8	39.2	57.2

Source : station météorologique de

M'sila

D'après le tableau nous constatons que le mois de décembre présente l'humidité la plus élevée (75.0%), par contre la plus faible moyenne mensuelle est enregistrée pendant le mois de juillet avec (36.8%) la moyenne annuelle sur la zone d'étude 57.18%.

I.2.5.6 Evaporation

L'évaporation est définie, comme étant une restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, etc. (Remini, 2010).

Tableau 8 Moyennes mensuelles annuelles de l'évaporation de station de M'sila.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
EV(Hm ³)	0.29	0.32	0.14	0.10	0.13	0.13	0.21	0.26	0.36	0.38	0.51	0.45	3.28

Source : Station du barrage K'sob

Le tableau suivant montre que le mois qui représente une quantité d'évaporation plus élevée est le mois de juillet, avec une humidité de 0,51hm³. Bien que le mois de Décembre présente la valeur la plus faible de l'évaporation 0,10 hm³. La moyenne de l'évaporation annuelle enregistrée est 3,28 hm³.

□.2.5.7 La flore

Les plantes aquatiques jouent un rôle important dans l'écosystème de l'Oued El K'sob, Elles oxygènent l'eau et procurent la nourriture et l'abri à toutes sortes d'animaux, L'inventaire de la flore d'Oued El K'sob à différents stations compte environ 77 espèces,

appartiennent à 40 familles, 40% de ces espèces sont aquatiques, qui explique que l'Oued est modérément

diversifiée sur ce plan floristique, (Agoune et Safer , 2007). Les bordures de l'Oued El K'sob, comportent tout le long une végétation arborée et arbustive éparse, La végétation arborée est présentée par : *Populus alba* B., *P. nigra* L., *Ulmus campestris* L, *Eucalyptus* sp, La végétation arbustive remarquable est constituée d'un groupement plus ou moins homogène, à *Tamarix gallica* L, *Nerium oleander* L, Cette ripisylve colonise la majeure partie de l'Oued El K'sob et possède un cortège floristique relativement varié, Une troisième formation, composée de plantes immergées et sub-immersées caractérisée surtout de ; *Veronica anagallis-aquatica* L, *Rumex* sp, *Cotula coronopifolia* L, *Carex* sp, *Phragmites communis* Trin, Les plantes aquatiques se développent surtout dans les sites où le fond de l'Oued présente une pente très graduelle, On observe, aussi une plus grande diversité de plantes dans les endroits où le débit de l'eau est lent (Tatar, 1985) (Annexe 1).

Parmi La flore du K'sob relativement diversifiée comporte l'espèce *Cotula coronopifolia* L, selon Quezel et Santa (1962); cette espèce est très abondante au mois d'avril, Cette plante colonise vite où les endroits de la végétation est claire et où il y a une bonne exposition au soleil et ceci en dehors des crues. La formation de Peuplier présente dans les bordures de l'oued k'sob par contre la formation du *Tamarix* caractérise tous les endroits de l'affluent, On observe La plus grande variété de plantes en amont, l'oppose, la diversité est la plus faible en aval.

Conclusion

La sécheresse est un phénomène très complexe, qui nécessite une connaissance approfondie des caractéristiques de la région d'étude, ce qui a été l'objet de cette partie du mémoire.

Chapitre □ Généralité sur la sécheresse

Chapitre □ : Généralités sur la sécheresse

Introduction

Parmi les phénomènes naturels que nous avons étudiés la sécheresse avec ses différentes formes , causes et ses conséquences .

L'objectif de cette partie de mémoire est d'identifier les indices de sécheresse et de déterminer l'indicateur approprié pour notre travail.

□.1 Définition de la sécheresse

La sécheresse est un état d'aridité provoqué par des précipitations plus faibles que la normale pendant une période prolongée. Elle commence par une diminution du taux d'humidité du sol, puis des réserves de surface et de la nappe phréatique. En période de sécheresse, la croissance des plantes ralentit, et il faut restreindre la consommation, à des fins domestiques, municipales, agricoles et industrielles, des réserves de surface et de la nappe phréatique.

Une sécheresse peut perturber momentanément l'écosystème et favoriser la propagation de certains insectes nuisibles et de maladies animales et végétales. Les plantes xérophiles (qui peuvent vivre dans des lieux secs) ont tendance à remplacer la végétation normale tandis que les animaux sauvages et domestiques détruisent ce qui reste de végétation, mettant en danger la croissance ultérieure des plantes. La sécheresse crée aussi des conditions favorables aux incendies forestiers et favorise l'érosion des sols.

Des sécheresses frappent le monde entier depuis des millions d'années. Ils ont découvert l'existence de sécheresses préhistoriques en étudiant les anneaux de croissance des arbres, les sédiments des lacs et océans et les carottes de glace prélevées dans les glaciers. Des écrits anciens les relatent aussi. Plus récemment, de grandes sécheresses s'abattent dans les années 1930 sur les prairies de l'Amérique du Nord, dans les années 1970, 1980 et au début des années 1990, sur le Sahel (région semi-désertique entre l'Éthiopie et le Sénégal), en 1975-1976, sur la Grande-Bretagne, en 1976-1977, sur la Californie, dans les années 1990, sur l'Asie du Sud-Est et pendant la première décennie du XXI^e siècle, sur l'Australie.(H.HILL ,2009).

□.1.1 Définition mathématique de sécheresse

De point de vue climatique, La sécheresse est appelée "déficit climatique"DC

$$DC=P-ETP$$

P : correspond à la pluviométrie en millimètres.

ETP est l'évapotranspiration potentielle d'une plante en millimètres, c'est-à-dire sa perte d'eau par la respiration et l'évaporation.

Au niveau agricole, La sécheresse correspond à ce qu'on appelle le "déficit agricole" **Da**.

$$\mathbf{Da=P-ETP+RFU}$$

RFU est la réserve facilement utilisable, c'est la réserve d'eau dans le sol disponible pour les plantes en millimètres. Elle vaut 2/3 de la RU qui est égale au profondeur des racines).



Figure 6 la faune sauvage souffre de la sécheresse



Figure 7: la sécheresse en Inde



Figure 8: disparition de la mer d'Aral

□.1.2 les types de la sécheresse

Les sécheresses sont habituellement classées par type (météorologique, agricole, météorologique hydrologique et socioéconomique).

□.1.2.1 Sécheresse Météorologique :

La sécheresse météorologique est généralement définie par un seuil correspondant à un certain déficit de précipitations par rapport à la normale sur une période de temps déterminée. Le seuil sélectionné varie d'un endroit à l'autre selon les besoins des utilisateurs ou les applications concernées. La sécheresse météorologique peut être détectée à l'aide des indicateurs tels que SPI et SPEI (O.M.M, 2006).

□.1.2.2 Sécheresse Agricole

Se définit plus volontiers par la présence dans le sol d'une quantité d'eau suffisante pour assurer la croissance des cultures et du fourrage que par l'écart des précipitations par rapport à la normale sur une période de temps déterminée. Il n'y a pas de relation directe entre la hauteur de précipitation et l'infiltration des précipitations dans le sol. Le taux d'infiltration varie en fonction des conditions d'humidité antérieures, de la pente.

□.1.2.3 Sécheresse Hydrologique

A encore moins à voir avec l'insuffisance des précipitations par rapport à la normale, puisqu'elle est généralement définie comme :

L'écart de l'approvisionnement en eau de surface et en eau souterraine par rapport à certaines conditions moyennes à différents moments. Comme dans le cas de la sécheresse de type agricole, il n'y a pas de relation directe entre la hauteur de précipitation et le degré d'approvisionnement en eau de surface et en eau souterraine des lacs, réservoirs, aquifères et cours d'eau, parce que ces divers éléments du système hydrologique sont utilisés à des fins multiples et rivales (irrigation, activités récréatives, tourisme, maîtrise des crues, transports, production d'énergie hydroélectrique, alimentation en eau des ménages, protection des espèces menacées, gestion et préservation de l'environnement et des écosystèmes, etc.). Il existe aussi un important décalage dans le temps entre le dérèglement des précipitations et le moment où leur insuffisance trouve son expression dans les éléments superficiels et souterrains du système hydrologique. Le retour de ces éléments à la normale est lent, du fait de la longue durée des périodes de recharge des sources d'approvisionnement en eau superficielle et souterraine.

□.1.2.4 Sécheresse Socio-économique

Diffère fortement des autres types de sécheresse du fait qu'elle reflète la relation entre l'offre et la demande de certaines denrées ou de certains biens économiques (eau, fourrage pour le bétail, énergie hydroélectrique, etc.) qui sont tributaires des précipitations. L'offre varie annuellement en fonction des précipitations ou de l'eau disponible ; la demande varie également et est souvent associée à une évolution positive due, par exemple, à une augmentation de la population, au développement ou à d'autres facteurs.

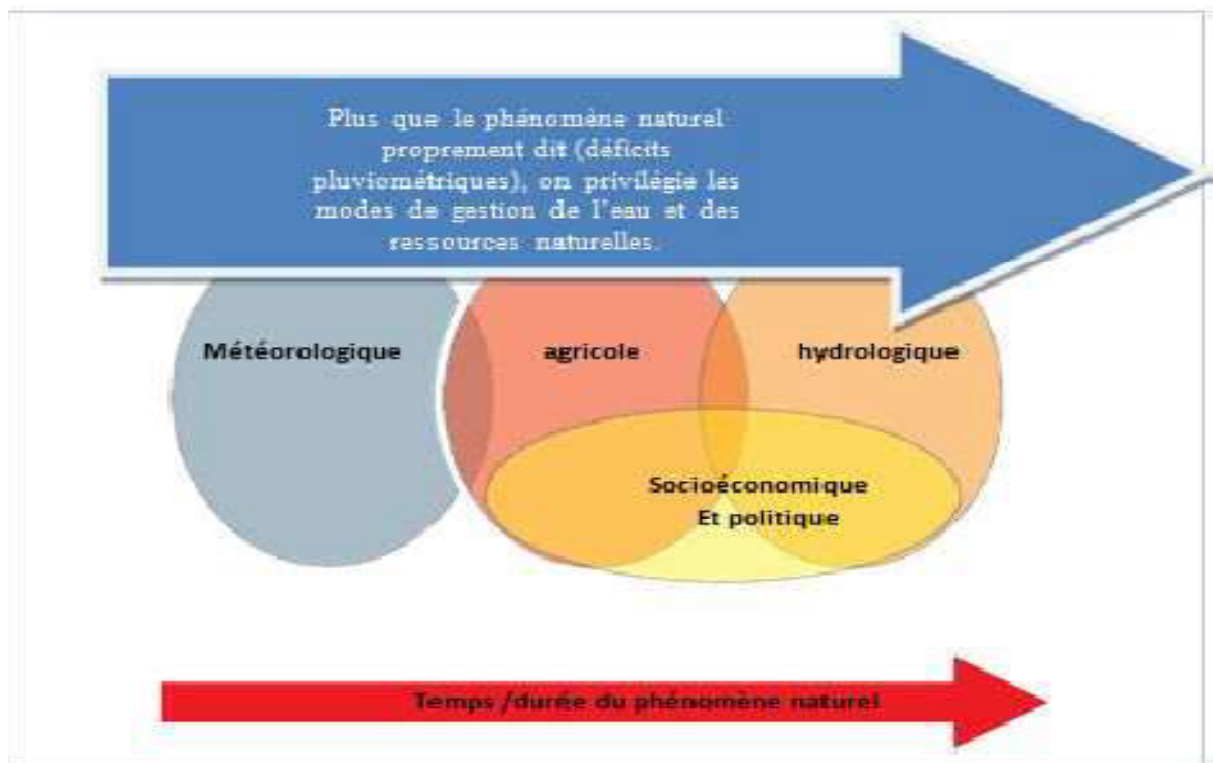


Figure 9: Relation entre les différents types de sécheresse (météorologique, agricole, hydrologique et socioéconomique).

□.1.3 Les causes de sécheresses

Le manque d'eau est la principale cause de la sécheresse. Lorsque l'hiver ou le printemps n'ont pas été suffisamment pluvieux, les réserves d'eau ne sont pas assez remplies. Le manque d'eau accompagné de températures élevées va accentuer le phénomène de sécheresse car il y aura davantage d'évaporation et de transpiration des plantes (évapotranspiration) ce qui assèche les sols.

Pour être dans des configurations de sécheresse, il faut donc qu'un certain type de temps persiste. Les dépressions sont des phénomènes climatiques (des masses d'air froides et humides ascendantes) qui engendrent des précipitations. Les anticyclones (masses d'air descendantes) vont favoriser l'apport d'air chaud et sec, donc pas de précipitations. Ainsi, pour être dans un état de sécheresse, il faut qu'un anticyclone soit présent pendant une certaine

période de temps. En général, le manque d'eau et les températures élevées sont des causes naturelles de la sécheresse. Les activités humaines tels que déboisement, l'invasion de béton sur les terres agricole vont accentuer la sécheresse. En effet, le manque d'eau va créer un déficit dans les réserves souterraines et les barrages d'eau, et si ces dernières sont mal gérées, alors la sécheresse sera d'autant plus marquée. L'agriculture, les usines, et les habitations nécessitent un apport en eau important. Ainsi, des restrictions d'eau doivent être mises en place pour ne pas abaisser encore plus le niveau des nappes phréatiques et les cours d'eau qui étaient déjà déficitaires. Des dispositifs réglementaires sont recommandés pour lutter contre les consommations excessives des réserves d'eau.

(Centre national de lutte contre la sécheresse, Université du Nebraska Lincoln, Etats-Unis d'Amérique ? Carlo Scherer)

□.1.4 Conséquences de la sécheresse

La sécheresse joue un rôle perturbateur et peut avoir comme conséquences

- Le manque d'eau pour les cultures vivrières, la diminution du rendement des cultures et des prairies ;
- L'augmentation des disettes et des famines et surcroît des épidémies en raison de la malnutrition ;
- Les troubles sociaux et les conflits pour les ressources naturelles (eau et nourriture) .
- Migration de la population, l'augmentation des réfugiés climatiques.
- Des problèmes avec certaines espèces comme des invasions.
- Réduction de la production d'électricité.
- La pénurie d'eau pour les industries.
- La modification , les perturbations voire la destruction des écosystèmes en particulier des zones humides. (Réduction des risques de catastrophe : Bilan mondial 2011 Révéler le risque, redéfinir le développement. (Chapitre 3: Risques de sécheresse. Bureau des Nations Unies pour la Réduction des Risques de Désastre – UNISDR).

□.2 Les Indices de sécheresses

Pour qu'on puisse modéliser le phénomène de sécheresse on doit d'abord le quantifier. Pour ce faire, plusieurs indices de sécheresse ont été proposés. Variant du plus simple à calculer aux plus complexe.

□.2.1 Indice standard des précipitations (SPI) :

□.2.1.1 Présentation de l'indice

C'est un indicateur statistique utilisé pour la caractérisation des sécheresses locales ou régionales. Basé sur un historique des précipitations de longue durée, le

SPI permet de quantifier l'écart des précipitations d'une période, déficit ou surplus par rapport aux précipitations moyennes historiques de la période. Cette période varie généralement de 3 mois à 2 ans, selon le type de sécheresse que l'on désire suivre (McKee *et al.*, 1993).

L'indice SPI est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis. En outre, l'indice SPI se relève tout aussi efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes ou cycles secs (McKee *et al.*, 1993).

□.2.1.2 Description de l'indice normalisé des précipitations

□.2.1.3 Aperçu :

L'indice SPI est fondé sur la probabilité de précipitations sur un laps de temps donné. La probabilité observée est transformée en un indice qui sert aussi bien à l'expérimentation qu'à l'exploitation dans plus de 70 pays (OMM, 2012).

□.2.1.4 Destinataires :

Les responsables de la planification en matière de sécheresse sont nombreux à apprécier la souplesse d'utilisation de l'indice SPI. L'indice est utilisé aussi dans divers instituts de recherche, des universités et des services météorologiques et hydrologiques nationaux du monde entier, dans le cadre d'activités de suivi de la sécheresse et d'alerte précoce dans le domaine (OMM, 2012).

□.2.1.5 Avantages :

Les précipitations représentent le seul paramètre dont il faut disposer. Il est possible de calculer l'indice pour diverses échelles de temps, celui-ci permettant de détecter rapidement les situations de sécheresse et d'en évaluer la gravité. Il est moins complexe que bien d'autres indices et notamment que l'indice de sécheresse de Palmer (OMM, 2012).

□.2.1.6 Inconvénients :

Il ne permet de quantifier que le déficit de précipitations ; les valeurs basées sur des données préliminaires peuvent changer et les valeurs varient si la durée de la période des relevés s'allonge (OMM, 2012).

Concepteurs: T.B. McKee, N.J. Doesken et J. Kleist, de l'Université de l'État du Colorado en 1993.

L'indice SPI a été conçu pour quantifier le déficit de précipitations à de multiples échelles de temps. Ces échelles de temps traduisent les incidences de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau. L'humidité du sol réagit relativement vite aux anomalies de précipitations, tandis que les eaux souterraines, le débit des cours d'eau

et les volumes stockés dans les réservoirs sont sensibles aux anomalies de précipitations à plus long terme. C'est pourquoi (McKee et al. (1993)) ont initialement calculé l'indice SPI pour des laps de temps de 3, 6, 12, 24 et 48 mois.

Le calcul de l'indice SPI en un lieu, quel qu'il soit, est basé sur un historique de précipitations sur une longue durée correspondant au laps de temps étudié. On ajuste une distribution de probabilité à cette longue série de relevés, puis on la transforme en une distribution normale pour que l'indice SPI moyen, du lieu considéré et pour le laps de temps étudié, soit égal à zéro (Edwards et McKee, 1997). Les valeurs positives de l'indice SPI indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives, des précipitations inférieures à la médiane.

Étant donné que l'indice est normalisé, il est possible de représenter de la même manière les climats humides et les climats arides ; ainsi est-il possible aussi, grâce à l'indice SPI, d'assurer une surveillance des périodes humides.

(McKee et al. (1993)) ont utilisé le système de classification présenté dans le tableau des valeurs de l'indice SPI figurant ci-après (tableau 1) pour définir l'intensité des épisodes de sécheresse en fonction de la valeur de l'indice. Ils ont aussi défini les critères d'un épisode de sécheresse pour GUIDE D'UTILISATION DE L'INDICE NORMALISÉ DE PRÉCIPITATIONS 5 une échelle de temps quelle qu'elle soit. Une sécheresse sévit quand l'indice présente de façon continue une valeur négative de -1,0 ou moins et se termine lorsque l'indice devient positif. Par conséquent, on distingue pour chaque épisode de sécheresse une durée, avec un commencement et une fin, et une intensité pour chaque mois durant lequel l'épisode se poursuit. Pour obtenir ce que l'on peut appeler la « magnitude » de la sécheresse, il suffit d'ajouter toutes les valeurs de l'indice pour l'ensemble des mois sur lesquels porte l'épisode.

Tableau 9 Valeurs de l'indice SPI (McKee et al. , 1993)

2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sec
de -1,5 à -1,99	Très sec
-2 et moins	Extrêmement sec

Source : OMM ,2012

Source :(OMM ,2012)

En se fondant sur l'analyse des données de stations situées dans le Colorado, aux États-Unis, McKee a déterminé que l'indice SPI indiquait une légère sécheresse 24 % du temps, une sécheresse modérée 9,2 % du temps, une grande sécheresse 4,4 % du temps et une sécheresse extrême 2,3 % du temps (McKee et al., 1993). L'indice étant normalisé, ces pourcentages sont ceux qui paraissent vraisemblables pour une distribution normale des valeurs de l'indice. Ainsi est-il normal de trouver 2,3 % des valeurs dans la catégorie de sécheresse « extrême », cette valeur représentant la probabilité qu'une sécheresse extrême se produise. On notera en revanche que l'indice de sécheresse de Palmer atteint la catégorie « extrême » plus de 10 % du temps dans certaines parties de la région centrale des Grandes Plaines aux États-Unis.

Le fait que l'indice soit normalisé permet de déterminer le caractère peu fréquent d'un épisode de sécheresse en cours (tableau 2), ainsi que la probabilité d'une précipitation suffisante pour y mettre fin (McKee et al., 1993). Cela permet aussi à l'utilisateur de comparer en toute confiance des sécheresses passées et actuelles entre des zones climatiques et géographiques différentes, quand il évalue selon quelle fréquence un épisode de sécheresse donné se produit.

Tableau 10 Probabilité d'occurrence

Indice SPI	Catégorie	Nombre de fois sur 100 ans	Fréquence
de 0 à -0,99	Légère sécheresse	33	1 fois tous les 3 ans
de -1,00 à -1,49	Sécheresse Modérée	10	1 fois tous les 10 ans
de -1,5 à -1,99	Grande Sécheresse	5	1 fois tous les 20 ans
< -2,0	Sécheresse Extrême	2	1 fois tous les 50 ans

Source : (OMM , 2012)

□.2.2 Indice de sécheresse SPEI

□.2.2.1 Définition

L'indice normalisé de précipitation et d'évapotranspiration (SPEI), un récent indice développé par (Vicente-Serrano S.M et al, 2010). L'indice est conçu pour prendre en compte, en plus la précipitation, la température (paramètre principale dans le phénomène l'évapotranspiration) pour identifier les épisodes de la sécheresse. Comme pour SPI, l'indice SPEI peut être calculé aux échelles de temps allant de 1 à 24 mois. Le programme de calcul de l'indice SPEI peut être téléchargé depuis le site <https://spei.csic.es/>.

□.2.2.2 Calcul de l'indice de sécheresse standard SPEI

Il a été démontré que la SPEI bénéficie d'un côté des avantages de l'indice SPI (caractère multi-échelles), et le concept de tenir en compte l'effet de la température et de l'évapotranspiration sur les ressources hydriques à la manière de l'indice de Palmer sc-PDSI (self-calibrated Palmer Drought Severity Index). L'indice SPEI est basé sur le calcul de bilan hydrique mensuelle (Precipitation minus Evapotranspiration), c'est-à-dire (P – ETP). L'évapotranspiration potentielle (ETP) peut être estimée par plusieurs méthodes telles que celle de Thornthwaite, de Penman-Monteith (FAO), de Turc, etc. Chaque méthode nécessite d'avoir un certains nombres de paramètres tels que la température, précipitation, l'humidité relative, l'insolation (ou la nébulosité), vitesse de vent.

La plus simple d'entre eux est celle de Thornthwaite, la méthode n'a besoin que la température mensuelle pour estimer l'évapotranspiration potentielle (ETP). (Vicente-Serrano et al, 2019).

□.2.3 Indice de l'écart à la moyenne (Em)

C'est l'indice le plus utilisé pour estimer le déficit pluviométrique à l'échelle de l'année. L'écart à la médiane est le plus utilisé par les agro météorologues. Bien évidemment, quand l'échantillon de données est irrégulier, la différence entre la moyenne et la médiane est grande. L'écart à la moyenne est la différence entre la hauteur de précipitation annuelle (Pi) et la hauteur moyenne annuelle de précipitation (Pm).

$$Em = Pi - Pm \quad (1)$$

L'écart est positif pour les années humides, négatif pour les années sèches. On parle d'année déficitaire quand la pluie est inférieure à la moyenne et d'année excédentaire quand la moyenne est dépassée.

□.2.4 Indice de pluviosité (LP)

C'est le rapport de la hauteur de précipitation annuelle à la hauteur moyenne interannuelle de précipitation. $Ip = Pi/Pm$ (2)

Une année est qualifiée d'humide si ce rapport est supérieur à 1 et de sèche s'il est inférieur à 1. Pour situer une pluviométrie dans une longue série de relevés pluviométriques, on utilise l'écart proportionnel à la moyenne (Ipm) qui diffère de l'indice de pluviosité en soustrayant 1 de cet indice.

$$I_{pm} = I_p - 1 \quad (3)$$

Le cumul des indices d'années successives permet de dégager les grandes tendances en faisant abstraction des faibles fluctuations d'une année à l'autre. Quand la somme des indices croît, il s'agit d'une tendance « humide ». La tendance est de type « sèche », dans le cas contraire.

Lorsque la hauteur moyenne annuelle présentée est calculée sur une période assez longue, et que la distribution n'est très loin de la loi normale on peut utiliser le rapport à la normale au lieu de la moyenne.

□.2.4.1 Rapport à la normale des précipitations (RN)

Cet indice, qui est exprimé en pourcentage, peut être obtenu en divisant la précipitation annuelle par la précipitation normale et en multipliant le résultat par 100%. Il est exprimé mathématiquement comme suit :

$$RN (\%) = (P_i/P_n) \times 100 \quad (4)$$

Où : RN : rapport à la normale des précipitations en pourcentage.

P_i : précipitation annuelle (en mm).

P_n : précipitation normale (en mm).

Le rapport à la normale en pourcentage permet d'estimer la variation ponctuelle des précipitations par rapport à la normale.

□.2.5 Indice de l'écart à la normale (En)

Cet indice nommé aussi indice de déficit pluviométrique, permet de visualiser et de déterminer le nombre des années déficitaires et leur succession. Elle s'exprime par :

$$En(\%) = (P_i - P_n) / P_n \times 100$$

Une année est dite sèche lorsque cet indice est négatif et humide quand il est positif.

Le cumul de l'indice de l'écart en pourcentage à la normale des années successives permet de dégager les grandes tendances en faisant abstraction des faibles fluctuations d'une année à l'autre. Quand la somme des indices croît, il s'agit d'une tendance « humide ». La tendance est « sèche », dans le cas contraire.

Conclusion

Dans le présent chapitre nous avons présenté des généralités sur la sécheresse ainsi que les différents indices de sécheresse (SPI , SPEI , EM , LP , RN , EN) .

Vu les avantages de l'indice de précipitation standardisé on a choisi de l'utiliser dans la présente étude parce qu'il est simple à calculer et il se base uniquement sur des données pluviométriques.

Chapitre □ : Réseaux de neurones artificiels

Chapitre □ : Les réseaux de neurones artificiels

Introduction

Ces dernières années avec le développement de l'informatique, l'intelligence artificielle a affirmé son efficacité dans pratiquement tous les domaines.

Les modèles basés sur l'intelligence artificielle, en particulier les réseaux de neurones artificiels sont de plus en plus appliqués dans le domaine de l'hydrologie.

Cette partie du mémoire est consacrée à la présentation des modèles réseaux de neurones artificiels.

□.1 Définition :

Les réseaux de neurones sont des algorithmes d'apprentissage et d'optimisation basés sur des concepts inspirés du fonctionnement d'un cerveau humain. Ils se sont généralement constitué des cinq composants suivants :

1. Un graphe dirigé qui représente la topologie du réseau.
2. Une variable d'état associée à chaque noeud.
3. Un poids associé à chaque connexion.
4. Un biais associé à chaque noeud.
5. Une fonction de transfert pour chaque noeud qui détermine l'état d'un noeud en fonction des poids de ses liens entrants, son biais et les états des noeuds reliés à ce noeud. Cette fonction est

habituellement une fonction sigmoïde (D. Montana et al, 1989) .

Un réseau de neurones possède les avantages suivants :

- un apprentissage adaptatif : qui est sa capacité d'apprendre comment résoudre de nouvelles tâches basée sur l'expérience initiale ou les données d'apprentissage.
- l'auto-Organisation : qui est la capacité d'un réseau de neurones à créer sa propre architecture ou sa propre représentation d'information qu'il reçoit au cours de la phase d'apprentissage.
- exécution en temps réel : les calculs d'un réseau de neurones se font en temps réel comme ils peuvent être effectués en parallèle à l'aide des dispositifs particuliers (D. Xiao Ni, 2007) .

Le réseau de neurones doit apprendre à travers des exemples connus pour savoir exécuter des

tâches imperceptibles. Dans la pratique : Les réseaux de neurones ne sont pas une solution miracle : le choix de la meilleure structure et taille peut avoir un impact énorme sur la solution.

Les résultats fournis sont approximatifs, et peuvent diverger beaucoup dans certains cas.

□.1.1 Neurone formel (Artificiel)

Le neurone formel représente la brique de base des RNA, c'est un automate dont le modèle s'inspire de celui d'un neurone biologique. Ils présentent un modèle assez simple pour le neurone et explorent les possibilités de ce modèle pour concevoir tous les réseaux de neurones. Cette modélisation consiste à mettre en oeuvre le système sous un aspect non pas biologique mais artificiel, cela suppose que d'après le principe biologique qu'on aura une correspondance pour chaque élément composant le neurone biologique (C. Touzet, 1992./ A. M. Ibrahim , (2004)/ F. Sorin et al , (2001).

On pourra résumer cette modélisation par le tableau ci-dessous (tableau II.1), qui nous permettra de voir clairement la transition entre le neurone biologique et le neurone formel.

Tableau 11 Transition entre le neurone biologique et le neurone formel.

Neurone artificiel	Neurone biologique
Poids de connexion	Synapses
Signal de sortie	Axones
Signal d'entrée	Dendrite
Fonction d'activation	Soma

Mathématiquement, on peut définir un neurone formel comme étant une fonction non linéaire, paramétrée, à valeurs bornées (Dreyfus, 2004).

Les variables sur lesquelles opère le neurone sont habituellement désignées sous le terme entrées du neurone, et la valeur de la fonction sous celui de la sortie ; il est commode de représenter graphiquement un neurone comme indiqué sur la figure 1. Cette représentation est le reflet de l'inspiration biologique qui a été à l'origine de la première vague d'intérêt pour les neurones formels, dans les années 1940 à 1970.

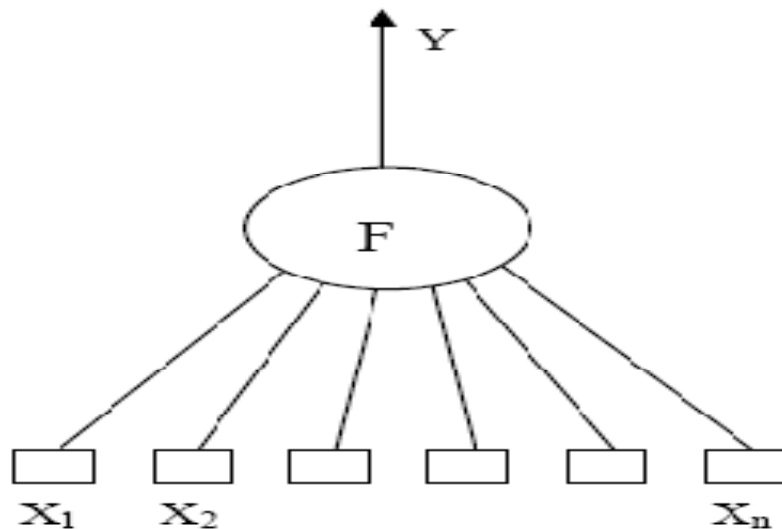
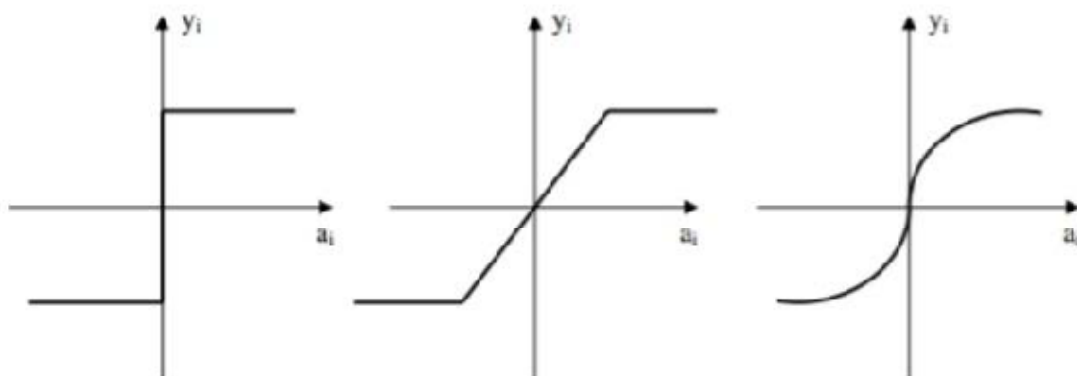


Tableau 12: Un neurone réalise une fonction non linéaire bornée

$y = f(x_1, \dots, x_n; w_1, \dots, w_p)$ où les x_i sont les v variables et w_j sont les paramètres.

Le neurone réalise alors trois opérations sur ses entrées :

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



Fonction à seuil Fonction linéaire par morceaux Fonction de type sigmoïde

Figure 10 : Différents types de fonction de transfert pour le neurone artificiel.

La fonction f est appelée fonction d'activation (figure IV.4). Elle peut être une fonction à seuil, une fonction linéaire ou non linéaire. La fonction sigmoïde se présente comme une

approximation continûment dérivable de la fonction d'activation linéaire par morceaux ou de la fonction seuil. Elle présente l'avantage d'être régulière, monotone, continûment dérivable, et bornée entre 0 et 1 (Ammar, 2007) .

□.1.2 Structure d'un neurone artificiel

Les entrées du neurone sont désignées par x_i ($i=1..n$). Les paramètres w_i reliant les entrées aux neurones sont appelés poids synaptiques ou tout simplement poids. La sortie du neurone est donnée par : $\text{Sortie} = f(x)$

x : est l'état d'activation du neurone (également appelé état ou activité).

f : est la fonction d'activation du neurone.

Conformément au modèle biologique, les fonctions d'activation sont généralement croissantes et bornées.

Les fonctions les plus connues sont la fonction signe, la fonction linéaire saturée et la fonction sigmoïde. Leur choix revêt une importance capitale comme nous le verrons par la suite (G.Dreyfus , septembre 1998).

Les réseaux de neurones sont constitués des neurones élémentaires connectés entre eux par l'intermédiaire des poids qui jouent le rôle des synapses. L'information est portée par la valeur de ces poids tandis que la structure du réseau de neurones ne sert qu'à traiter cette information et à l'acheminer vers la sortie.

Le réseau de neurones fait partie des réseaux adaptatifs Non-linéaires, cela signifie que ses agents (neurones) s'organisent et modifient leurs liens mutuels lors d'une procédure fondamentale qu'est l'apprentissage. Pour une tâche précise, l'apprentissage du réseau de neurone consiste donc à adapter les différents poids w_i

□.1.3 Les types de réseaux de neurones

□.1.3.1 Les réseaux de neurones feed-forwarded

Dans ce type de réseaux (figure IV.5), l'information se propage dans un sens unique, sans aucune rétroaction (des entrées vers les sorties). Si l'on représente le réseau comme un graphe dont les noeuds sont les neurones et les arêtes les « connexions » entre ceux-ci, le graphe est acyclique. Ce genre de réseaux utilise un apprentissage supervisé, par correction des erreurs (Lippmann, 1987) ou le signal d'erreur est rétropropagé vers les entrées afin de mettre à jour les poids des neurones.

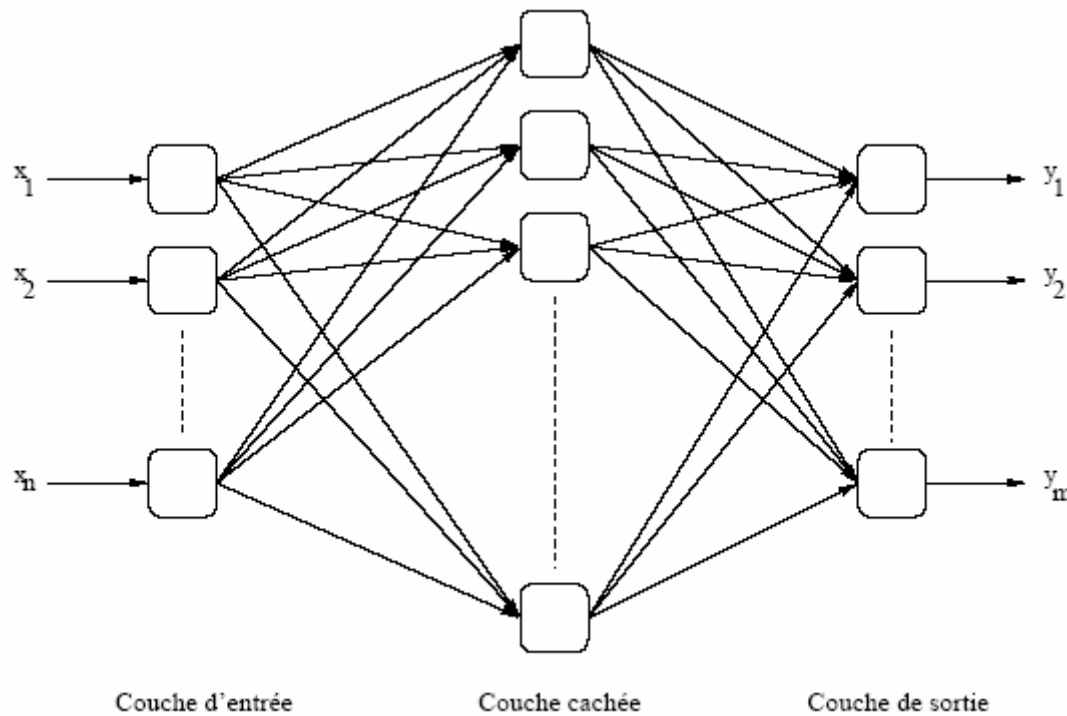


Figure 11: Réseau Feedforward à trois couches

Le terme de « connexions » doit être pris dans un sens métaphorique, car le réseau de neurones n'est pas donc, en général on objet physique tel un circuit électrique, et les «connexions » n'ont pas de réalité matérielle ; néanmoins le terme de connexion, issu des origines biologiques des réseaux de neurones, et passé dans l'usage, car il est commode quoique trompeur. Il a même donné naissance au terme de connexionnisme (Dreyfus, 2004). On distingue dans cette catégorie :

□.1.3.2 Le perceptron multicouche MLP

Les perceptrons multicouches sont une amélioration du perceptron. Ils sont, en effet, les plus employés et les plus étudiés. Une abréviation anglaise est utilisée dans la littérature pour les nommer : MLP pour Multi Layer Perceptrons (Bishop, 1995; Haykin, 1994).

Ils disposent d'une ou plusieurs couches cachées. Les neurones y sont arrangés en couches successives : la première couche qui forme le vecteur des données d'entrée est appelée couche d'entrée tandis que la dernière couche qui produit les résultats est appelée couche de sortie.

Toutes les autres couches qui se trouve au milieu sont appelées couches cachées (Lippmann 1987, Hagan et al. 1996).

Chaque couche est composée d'un certain nombre de neurones. Les connexions sont établies entre les neurones appartenant à des couches successives mais les neurones d'une même couche ne peuvent pas communiquer entre eux.

Contrairement au perceptron monocouche la présence d'une couche cachée dans le perceptron multicouche facilite la modélisation des relations non linéaires entre les entrées et la sortie.

Le choix du nombre de couches cachées dépend généralement de la complexité du problème à résoudre, en théorie une seule couche cachée peut être suffisante pour résoudre un problème donné mais il se peut que le fait de disposer de plusieurs couches cachées permette de résoudre plus facilement un problème complexe.

Construire un réseau de neurone à couche (perceptron multicouche) pour un problème quelconque revient à faire un choix judicieux de la taille du réseau, du nombre total de couches et de neurones, distribution des données et des fonctions de transfert (Baum et Haussier 1989). Le choix de ces paramètres dépend de l'utilisateur. Il n'existe pas dans la littérature pour le moment des données suffisantes qui peuvent déterminer clairement les paramètres à adopter pour résoudre un problème donné (Coulibaly et al 1998).

□.1.3.3 Réseaux à RBF (fonction radiale de base)

Les réseaux RBF sont très semblables aux perceptrons multicouches. Ils sont utilisés dans les mêmes genres de problèmes que les perceptrons multicouches à savoir, en classification et en prédiction, à travers une combinaison linéaire de fonctions non linéaires à base radiale. Parmi ces fonctions, la fonction gaussienne, (présentée plus haut), qui est la plus utilisée.

□.1.3.4 Réseaux récurrents

Ce genre de réseaux est caractérisé par le pouvoir de laisser l'information circuler récursivement d'une manière partielle ou bien total (Kasabov, 1996 ; Elman,1990).

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

Ainsi, à chaque connexion d'un réseau de neurones bouclé (ou à chaque arête de son graphe) est attaché, outre un poids comme pour les réseaux non bouclés, un retard, multiple entier (éventuellement nul) de l'unité de temps choisie. Une grandeur, à un instant donné, ne pouvant

pas être fonction de sa propre valeur au même instant, tout cycle du graphe du réseau doit avoir un retard non nul (Dreyfus, 2004).

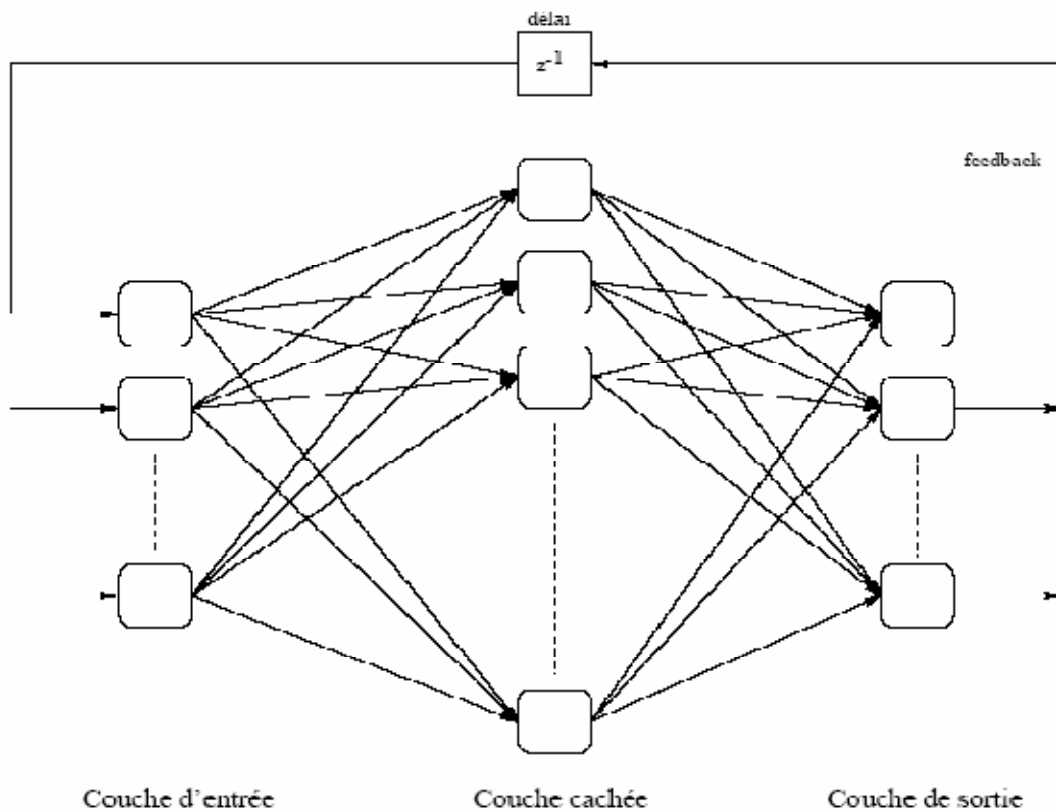


Figure 12: réseau feedback simple

□.1.3.5 Réseaux non boucles (non récurrent)

L'exemple le plus simple de réseau de neurones statique est donné par le perceptron multicouche chaque couche contenant un ou plusieurs neurones. Afin d'illustrer ces propos, voici le rôle de chacune des couches dans un perceptron à trois couches.

La première couche est appelée couche d'entrée. Elle recevra les données source que l'on veut utiliser pour l'analyse. Sa taille est donc directement déterminée par le nombre de variables d'entrées.

La deuxième couche est la couche cachée. Dans cette couche, les fonctions d'activation sont en général non linéaires. Le choix de sa taille (nombre de neurones) n'est pas automatique et doit

être ajusté. Il sera souvent préférable pour obtenir la taille optimale, d'essayer le plus de tailles possibles.

La troisième couche est appelée couche de sortie. Elle donne le résultat obtenu après compilation par le réseau des données entrée dans la première couche. Sa taille est directement déterminée par le nombre de variables dont on a besoin en sortie.

C'est le réseau statique non bouclé qu'on va utiliser dans cette étude, car les paramètres recherchés dans le présent projet de recherche sont indépendants du temps (Bendaoud .y , 2014).

□.1.4 **Domaine d'application des réseaux de neurones (RNA)**

Les (RNA) aujourd'hui ont des applications dans des domaines variés parmi lesquelles on cite :

□.1.4.1 **L'application au traitement du signal**

Dans ce domaine les applications réalisées traitent essentiellement de la reconnaissance de signatures radar ou sonner. La société NESTOR a développé un réseau de neurones qui identifie une cible à coup sûr (100% de réussite) et reconnaît du bruit avec un taux de réussite de 95%.

Cette application à été construire à partir de signaux sonars et des traits caractéristiques de ces signaux déterminés par les experts comme utiles pour identifier une cible en environnement bruité. Le réseau agit dans ces comme un filtre pour éliminer le bruit.

□.1.4.2 **L'application à la planification**

L'optimisation est souvent sollicitée pour la planification des actions ou des tâches. A cet effet, l'utilisation du modèle de Hop Field et du modèle de Kohonen paraît très utiles pour la résolution des problèmes d'optimisation.

□.1.4.3 **L'application au contrôle**

Grâce à leur propriétés (parallélisme de traitement, capacité d'adaptation, et de généralisation, etc...). Les réseaux de neurones sont appliqués au contrôle intelligent. Par exemple plusieurs tentatives ont été faites pour appliquer les réseaux de neurones.

Ces applications peuvent être classifiés en plusieurs méthode, Telles que : le contrôle supervisé. Le contrôle inverse et le contrôle neuronal adaptatif (F.Medjili, 2010).

□.1.4.4 **L'application au diagnostic**

Les réseaux de neurones sont bien adaptés à la résolution des problèmes de diagnostic, utilisant la classification automatique des signaux et des formes. Dans ce contexte on distingue plusieurs applications des réseaux de neurones pour le diagnostic des défaillances et en

particulier, pour le diagnostic des pannes des machines électriques (L.Mokhnache , 2003)

Dans les réseaux électriques une large stratégie qui vise à faire le diagnostic du réseau de transport d'énergie algérien. Dans notre travail en particulier, nous nous intéressons à la prédiction du contournement d'un isolateur de haute tension soumises à une pollution discontinue uniforme. Pour cela nous basons sur les essais effectués au laboratoire de haute tension de l'université de Biskra. Pour le traitement des résultats, nous avons utilisé le stratégie de réseaux de neurones artificiels (RNA).

□.1.5 Architecture du réseau de neurone

L'architecture d'un réseau de neurones est fonction du nombre de couches de ce dernier et surtout de la structure des connexions entre neurones. Il existe plusieurs types d'architectures, on peut citer:

- Réseaux mono couches,
- Réseaux multicouches,
- Réseaux à connexions locales,
- Réseaux à connexions complètes.

Dans notre étude, le type du réseau qui nous intéresse est le réseau multicouche. La figure suivante présente les différentes topologies d'un Réseau de Neurones Artificiels (Y. Hen Hu et al ,2001).

□.1.5.1 Réseau de neurones monocouches

• Perceptron

Un réseau de neurones monocouche, aussi appelé perceptron, est caractérisé de la manière suivante:

- Il possède n informations en entrée .
- Il est composé de p neurones, que l'on représente généralement alignés verticalement. Chacun peut en théorie avoir une fonction d'activation différente. En pratique, ce n'est généralement pas le cas .
- Chacun des p neurones est connecté aux n informations d'entrée (L. Baghli, 1999).

□.1.5.2 Réseaux de neurones multicouches

Un réseau multicouche n'est rien d'autre qu'un assemblage de couches les unes aux autres, de la gauche vers la droite, en prenant les sorties d'une couche et en les injectant comme les entrées de la couche suivante. Ce type de réseau comme le montre la figure II.4, est organisé

en couches de neurones. Généralement, il n'y a pas de connexions entre neurones d'une même couche, et les connexions ne se font qu'avec ceux des couches en aval (A. Ouali, 2008)

□.1.6 Apprentissage des réseaux de neurones

La plus fondamentale des propriétés propres au réseau de neurones est sa capacité d'apprendre de son environnement et d'améliorer sa performance à travers un processus d'apprentissage.

On définit l'apprentissage comme étant un changement opéré dans la mémoire du réseau en affectant les valeurs des poids synaptiques qui relient les neurones entre eux, afin d'adapter le traitement effectué par le réseau à une tâche particulière.

De ce fait l'apprentissage a pour objectif l'amélioration des performances futures du réseau, sur la base d'une connaissance acquise au fur et à mesure des expériences passées. On distingue trois familles d'apprentissage différentes en fonction de la nature des informations disponibles et du but recherché :

□.1.6.1 Apprentissage supervisé

pour lequel il est nécessaire de disposer d'un ensemble de couples de données (entrées du réseau ; sorties désirées correspondantes).

□.1.6.2 Apprentissage semi-supervisé

ou par renforcement pour lequel seule une mesure d'erreur qualitative est disponible.

□.1.6.3 Apprentissage non supervisé

pour lequel il n'y a pas de réponse désirée.

Il a été démontré que moyennant le choix d'une architecture appropriée (nombre de neurones cachés).

les réseaux multicouches sont capables d'approcher n'importe quelle fonction. Une autre propriété fondamentale de l'apprentissage concerne la capacité de généralisation de ces réseaux (M. Parizeau, 2004 ,A. M. Ibrahim , 2004).

□.1.7 Avantages et Inconvénients des réseaux de neurones artificiels

□.1.7.1 Avantages

- ❖ Résistance au bruit ou au manque de fiabilité des données.

- ❖ Simple à manier beaucoup moins de travail personnel à fournir que dans l'analyse statistique classique. Aucune compétence en maths, informatique ou statistiques requises.
- ❖ Pour l'utilisateur novice, l'idée d'apprentissage est plus simple à comprendre que les complexités des statistiques multi-variables.

□.1.7.2 Inconvénients

Bien sûr, le RNA ne dispense pas de bien connaître son problème de définir ses classes avec pertinence, de ne pas oublier de variables importantes, etc (F.Sorin et al 2001).

- les réseaux multicouches sont capables d'approcher n'importe quelle fonction. Une autre propriété fondamentale de l'apprentissage concerne la capacité de généralisation de ces réseaux [34-23].
- réseaux de neurones passent souvent un grand nombre de données pour fonctionner correctement, ce qui peut être dédommagé en temps et en ressources.
- Les réseaux de neurones peuvent être difficiles à interpréter, car il peut être difficile de comprendre comment ils ont pris des décisions ou identifié des modèles.
- Les réseaux de neurones peuvent être sujets à des biais, car ils sont entraînés sur des données historiques qui peuvent contenir des préjugés et des discriminations.

Les utilisateurs de réseaux de neurones doivent être conscients de ces avantages et inconvénients pour les appliquer efficacement dans des domaines tels que l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle.

Les utilisateurs de réseaux de neurones doivent être conscients de ces avantages et inconvénients pour les appliquer efficacement dans des domaines tels que l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux de neurones artificiels largement utilisés comme modèle et leurs applications qui inspirés du comportement du cerveau humain, permettent de créer de l'intelligence artificielle.

Chapitre □ Application

Chapitre □ : Application

Introduction

Ce chapitre présente l'application des méthodes évoquées dans le chapitre précédent et montre les différents résultats obtenus dans la station K'sob barrage, située dans le bassin versant de K'sob, Il fournit également des interprétations et les conclusions qui en résultent.

□.1.1 Calcul de l'indice de précipitation standardisé

Comme il a été déjà mentionné, dans le chapitre précédent nous avons choisi d'utiliser l'indice de précipitation standardisé (SPI).

□.1.2 Données utilisées

Le calcul de l'indice de précipitation standardisé (SPI) se fait uniquement en utilisant les données pluviométriques mensuelles.

Les données mensuelles de la station barrage K'sob dont les caractéristiques, sont données dans le tableau suivant :

Tableau 13 Caractéristiques de la station du barrage K'sob

Nom	Coordonnées	Période d'observation
KSOB BARRAGE	X : 4°33'39.9" Y : 35°48'13.4 Z : 550.24	1943 à 2008

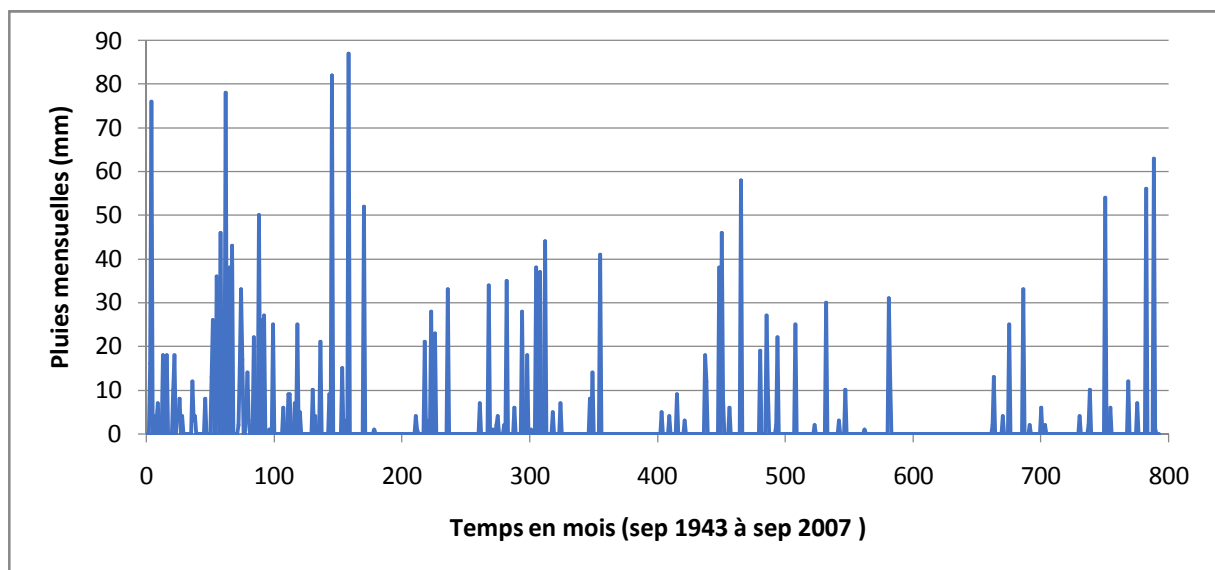


Figure 13: Données pluviométriques mensuelles du barrage K'sob

□.1.3 Logiciel de calcul de l'SPI DrinC

Afin de calculer le SPI on a utilisé l'application DrinC (Drought Indices Calculator).

Le logiciel DrinC (Drought indices Calculator) a été développé par Earth science informatics en année septembre 2015. Le logiciel DrinC vise à fournir une interface conviviale pour l'évaluation des indices de sécheresse, adaptée à l'analyse des sécheresses météorologiques, hydrologiques et agricoles. Les indices de sécheresse suivants sont actuellement inclus dans DrinC :

- Indice de précipitations standardisé (SPI)
- Indice de sécheresse de reconnaissance (RDI)
- Indice de sécheresse du débit des cours d'eau (SDI)
- Indice de précipitations agricoles normalisées (aSPI)
- Indice de sécheresse de reconnaissance effective (eRDI)
- Déciles de précipitations (PD)

DrinC est disponible sur le site <https://drought-software.com/overview/>

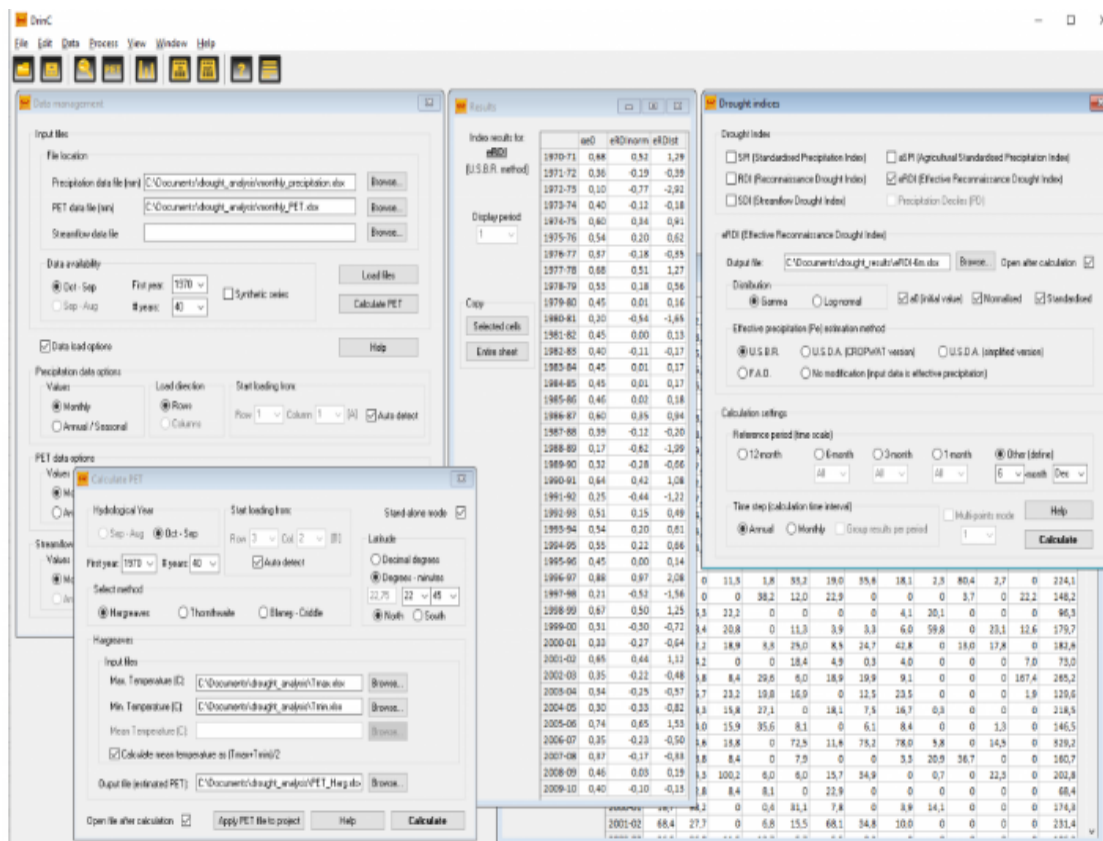


Figure 14: Fenêtre du logiciel DrinC

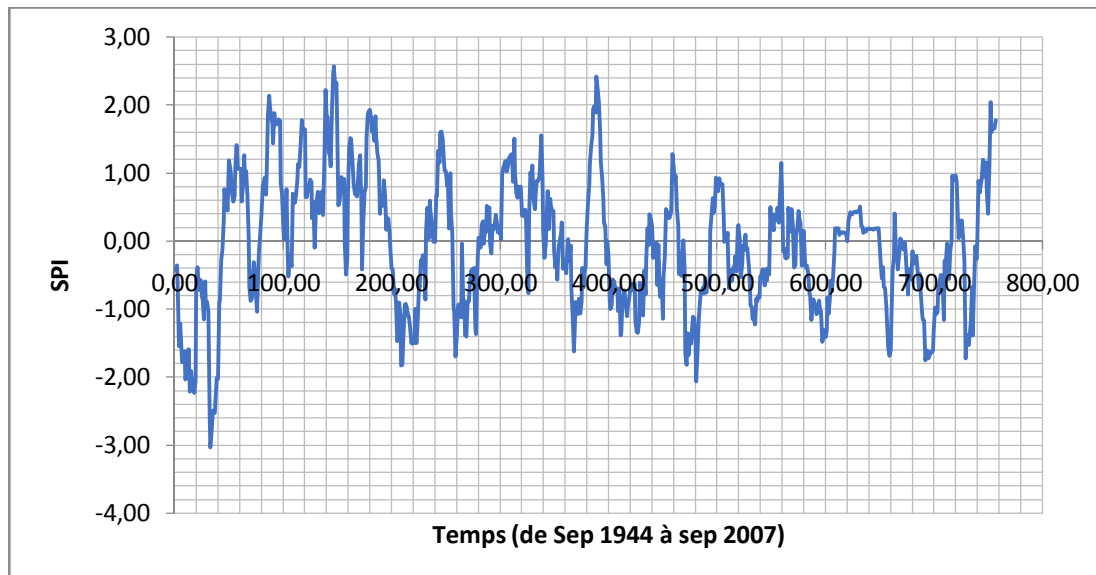


Figure 15: SPI calculé

□.1.4 Application des modèles réseaux de neurones artificiels

Après avoir calculer le SPI par le logiciel DrinC, On passe à présent au développement du modèle réseaux de neurones artificiels pour la prévision de la sécheresse.

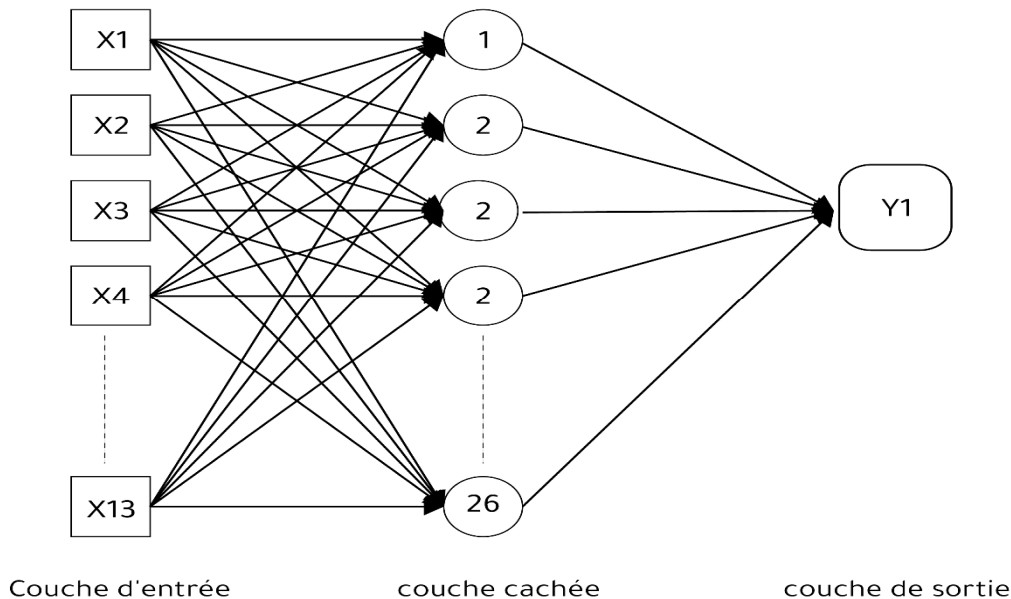
Le modèle réseaux de neurones artificiels proposé dans cette étude perceptron multi couches MLP .

□.1.5 Modèle proposé : Le perceptron multicouches MLP

Le type du réseau utilisé est un perceptron multicouche (MLP) constitué de trois couches. Couche d'entrée (input), couche cachée, et une couche de sortie (Output).

Les perceptrons multicouches (Voir Figure 3) sont une amélioration du perceptron. Ils sont, en effet, les plus employés et les plus étudiés . Ils disposent d'une ou plusieurs couches cachées. Les neurones y sont arrangés en couches successives : la première couche qui forme

le vecteur des données d'entrée est appelée couche d'entrée tandis que la dernière



couche qui produit les résultats est appelée couche de sortie.

Figure 16: Schéma du model MLP proposé

Toutes les autres couches qui se trouve au milieu sont appelées couches cachées , Chaque couche est composée d'un certain nombre de neurones. Les connexions sont établies entre les neurones appartenant à des couches successives mais les neurones d'une même couche ne peuvent pas communiquer entre eux.

Le nombre de neurones dans la couche d'entrée est choisi sur la base de la fonction d'autocorrélation (indique la mémoire du phénomène).

□.2.1 Répartition de la base de données

Le nombre total de valeur de l'SPI est de 744 valeurs. De Septembre1944 au septembre 2007

Les données de SPI sont divisées en trois parties (voir tableau 01) :

1. La première partie : Apprentissage
2. La deuxième partie : Validation
3. La troisième partie : Test La partie apprentissage c'est la partie dans laquelle se fait le calcul des paramètres du modèle.

La partie validation est utilisée pour éviter le problème de surapprentissage par la technique d'arrêt prématuré (Early stopping point).

La troisième partie, c'est la partie dont les données ne sont pas utilisées par le réseau, elle constitue les prévisions.

La répartition de la base de données est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 14: Répartition de la base de données

	Apprentissage	Validation	Test(Prévision)
Pourcentage	60%	20%	20%
Période	De 01/10/1945 à 01/01/1983	De 01/04/1983 à 01/05/1995	De 01/06/1995 à 01/09/2007
Nombre	448	148	148

□.2.2 Paramètres du réseau

Après avoir basé la base de données en trois parties, apprentissage, validation et test. Les paramètres suivants sont à déterminer :

1. Le nombre de neurone dans la couche d'entrée
2. Le nombre de neurone dans la couche cachée.
3. Le nombre de neurone dans la couche sortie.

La structure du modèle proposé (voir figure IV.1), consiste en un seul neurone dans la couche de sortie qui représente la valeur prévue de l'indice SPI .

S'agissant du nombre de neurone dans la couche d'entrée, il est déterminé sur la base de l'étude de la fonction d'autocorrélation (voir figure IV.3) de la série chronologique de l'indice SPI de station de Ksob barrage objet de la présente étude.

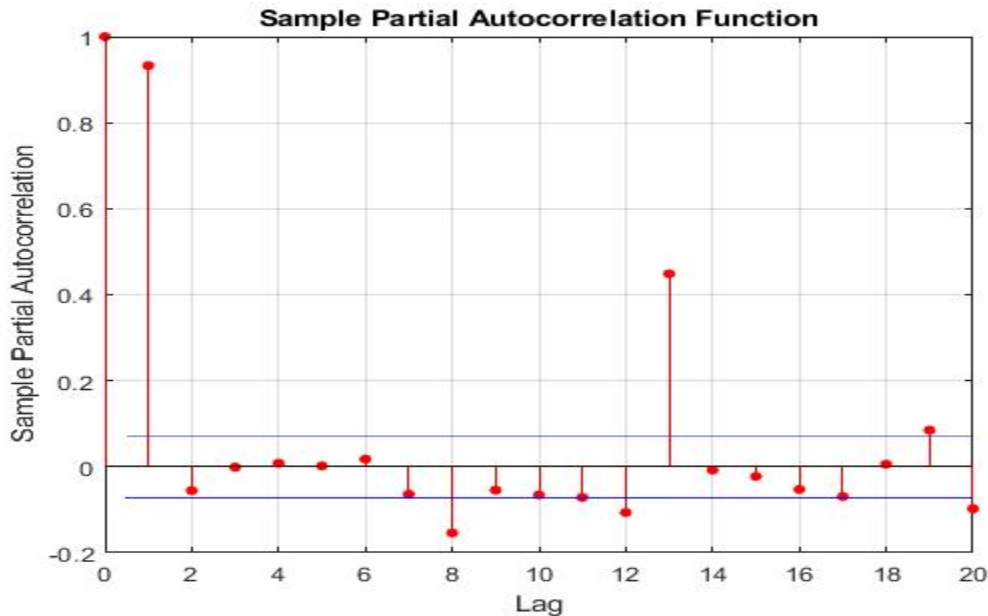


Figure 17: fonction d'autocorrélation

□.2.3 Autocorrélation

L'autocorrélation dans les réseaux de neurones fait référence à la corrélation entre les sorties d'un neurone et ses entrées à différents décalages temporels.

En calculant l'autocorrélation entre les sorties du réseau et les valeurs d'entrée précédentes, on peut identifier les motifs et les relations récurrentes dans les données. Cela permet au réseau de neurones de mieux comprendre la structure temporelle des séquences d'entrée et d'apprendre des représentations plus riches et plus significatives.

L'autocorrélation dans les réseaux de neurones est un outil essentiel pour la modélisation et la prédiction de séquences temporelles, ainsi que pour des tâches telles que la traduction automatique, la génération de texte et la reconnaissance de la parole. Elle contribue à améliorer les performances des modèles en capturant les relations complexes entre les éléments séquentiels et en fournissant des prédictions plus précises. Sur la base de la fonction d'auto corrélation, nous avons pris un nombre de neurone d'entrée égale à treize (**13 inputs**).

Pour le nombre de neurones dans la couche cachée, nous avons utilisé la règle suivante : $N_{nc}=2*n$, Où n : est nombre de variables d'entrée

□.2.4 Résultats de prévision obtenus

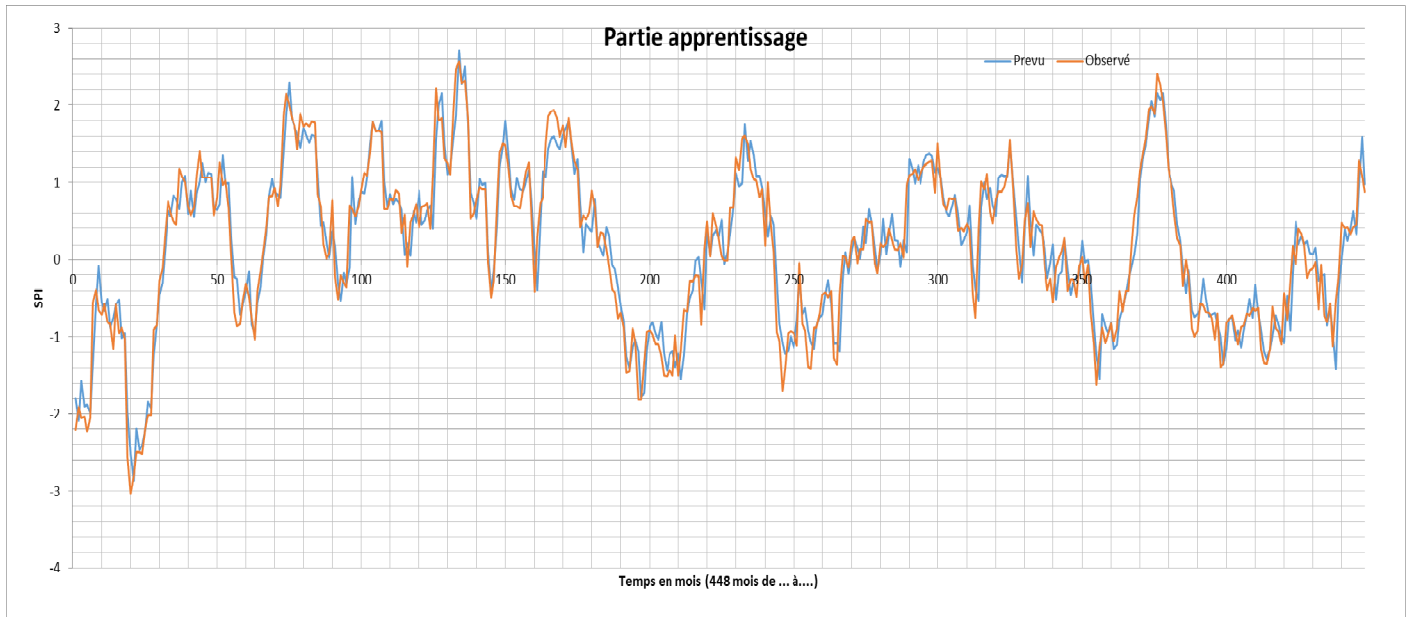


Figure 18 SPI Observés et prévus (Apprentissage)

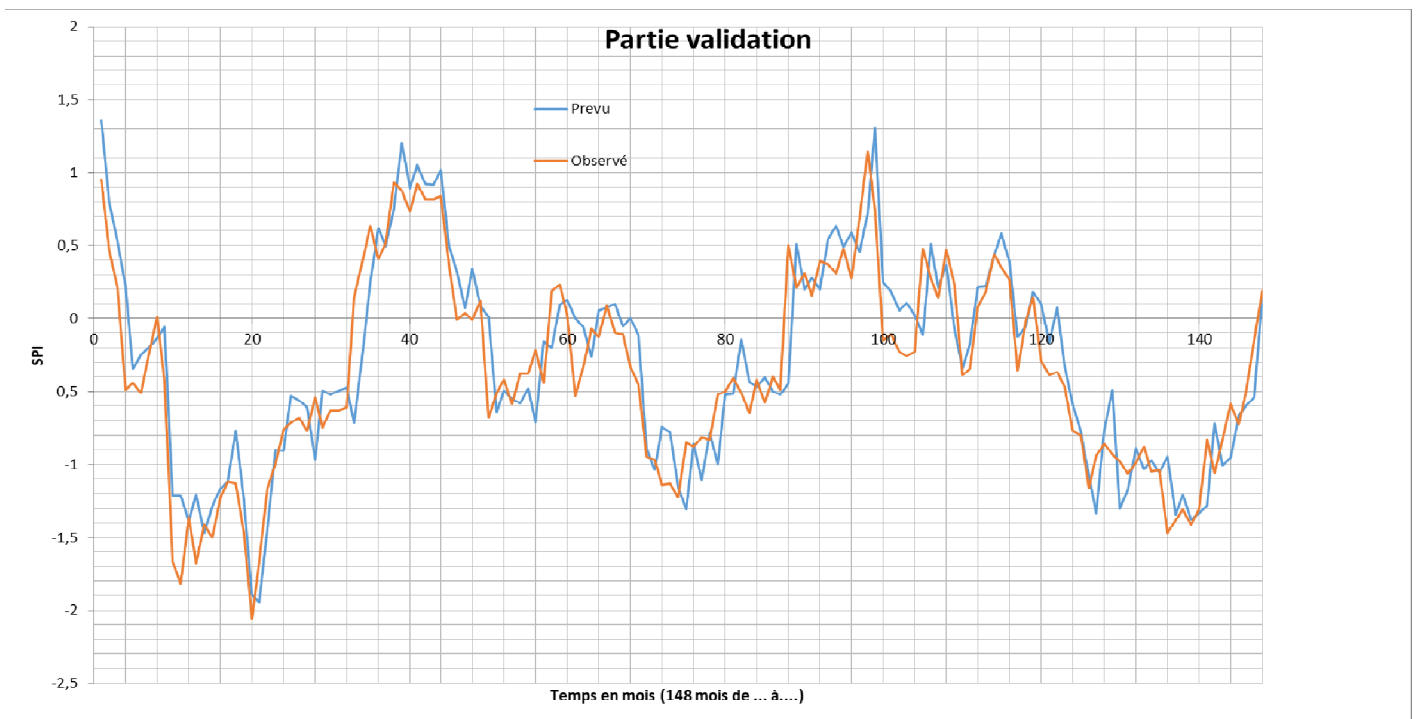


Figure 19 SPI Observés et prévus (Validation)

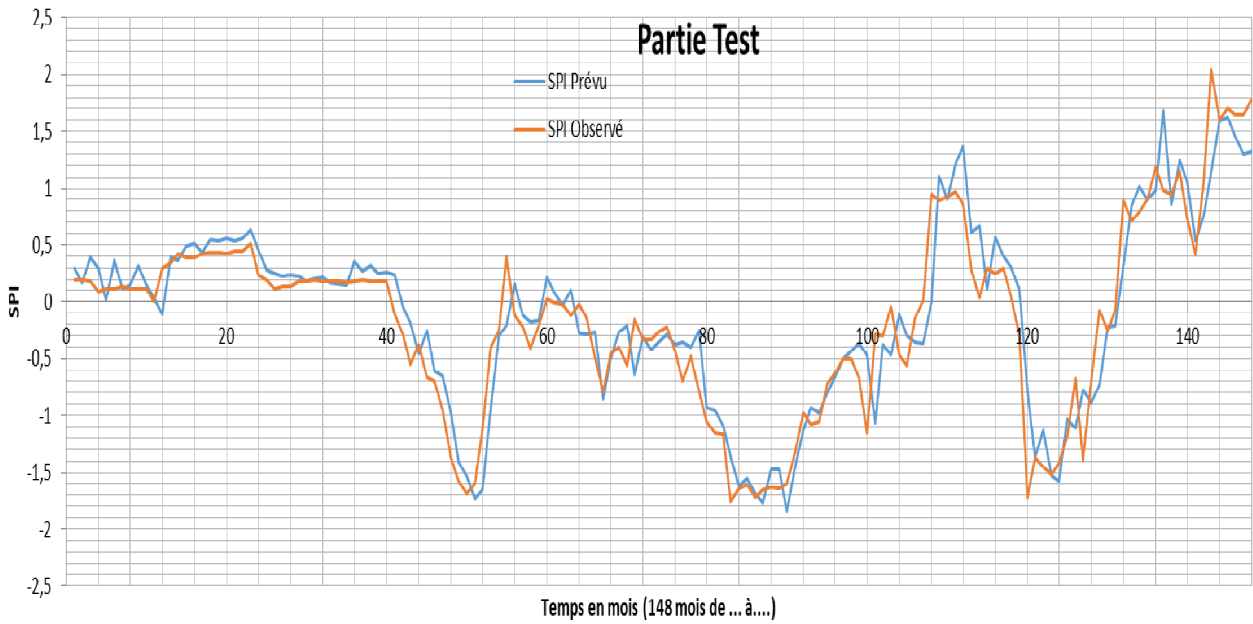


Figure 20 SPI Observés et prévus (Test=prévision)

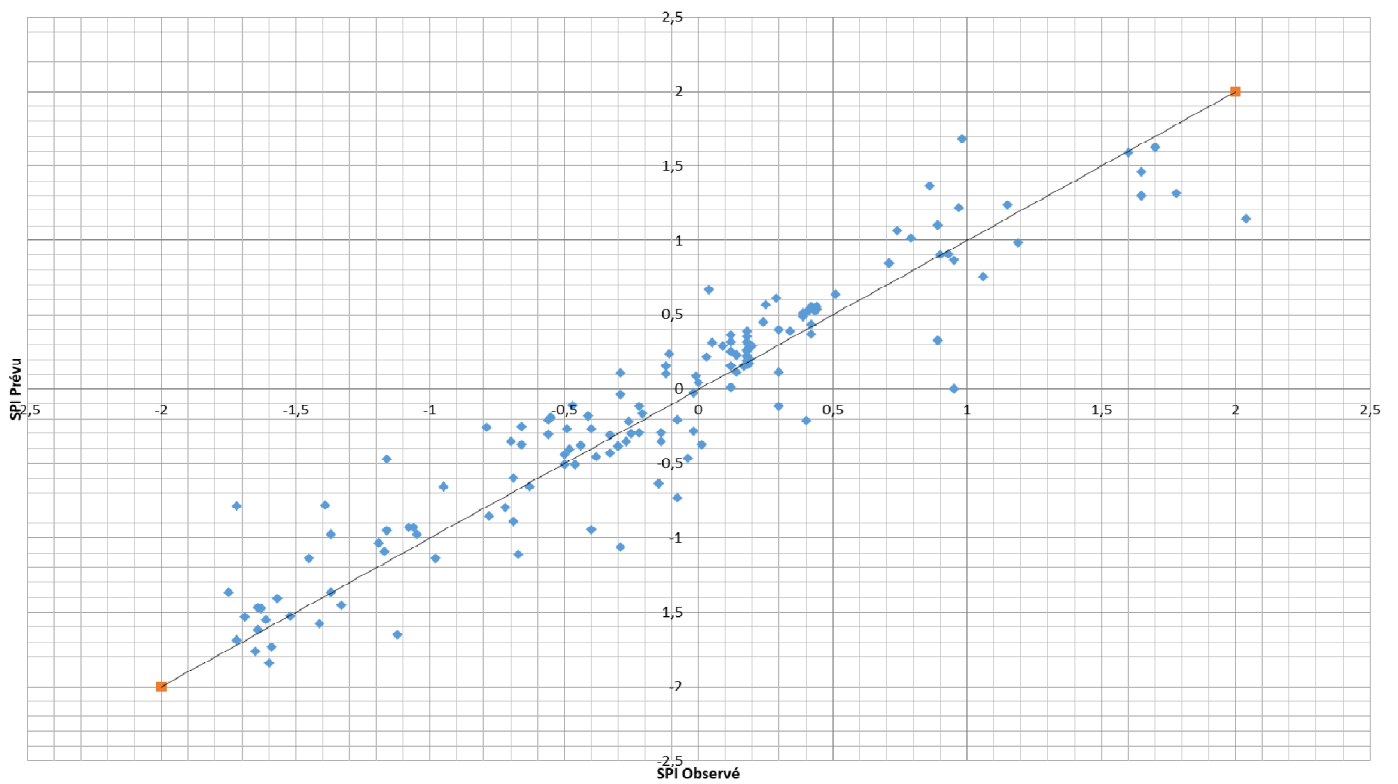


Figure 21 : SPI Prévu en fonction de l'observé (Test=prévision)

□.3.1 Critères de performance

La performance du modèle développé est évaluée sur la base de quatre critères de performance, à savoir le coefficient de corrélation R, l'erreur moyenne absolue (MAE), le critère de Nash (Ns), et l'erreur moyenne quadratique RMSE ou sur un critère graphique.

□.3.1.1 Le coefficient de corrélation (R)

Le coefficient de corrélation mesure la relation entre deux variables. Le coefficient de corrélation de Pearson mesure la corrélation linéaire entre deux variables continues, tandis que le coefficient de corrélation de Spearman mesure la corrélation monotone entre deux variables (continues ou ordinales). Ces coefficients varient entre -1 et 1, où -1 représente une corrélation négative parfaite, 0 indique aucune corrélation linéaire ou monotone, et 1 indique une corrélation positive parfaite.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})(\hat{Q}_i - \bar{\hat{Q}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \sum_{i=1}^n (\hat{Q}_i - \bar{\hat{Q}})^2}} \dots\dots\dots (1)$$

□.3.1.2 L'erreur moyenne absolue (MAE)

L'erreur moyenne absolue mesure la différence moyenne entre les valeurs réelles et les valeurs prédites d'un modèle de régression. Elle est calculée en prenant la différence absolue entre chaque prédiction et la valeur réelle, puis en calculant la moyenne de ces différences. Le MAE est utilisé pour évaluer la performance d'un modèle de régression en fournissant une mesure de l'erreur absolue moyenne commise par le modèle. Une valeur plus faible de MAE indique une meilleure performance du modèle.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(\hat{Q}_i - Q_i)| \dots\dots\dots (2)$$

□.3.1.3 Le critère de Nash (Nash)

Le critère de Nash, également connu sous le nom de critère de Nash-Sutcliffe, est une mesure statistique qui évalue l'ajustement d'un modèle par rapport aux observations réelles. Il est calculé en comparant les différences entre les valeurs prédites par le modèle et les valeurs réelles observées. Un critère de Nash égal à 1 indique un ajustement parfait, tandis qu'une valeur inférieure à 1 indique un écart par rapport aux observations réelles.

$$NSE = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n |(\hat{Q}_i - Q_i)|}{\sum_{i=1}^n |(\hat{Q}_i - \bar{\hat{Q}})|}} \dots\dots\dots (3)$$

□.3.1.4 La racine de l'erreur quadratique moyenne (RMSE)

La racine de l'erreur quadratique moyenne est une mesure statistique qui quantifie l'écart moyen entre les valeurs prédites par un modèle et les valeurs réelles observées. Elle est

calculée en prenant la racine carrée de la moyenne des carrés des différences entre les prédictions et les observations. Le RMSE est souvent utilisé pour évaluer la précision d'un modèle de régression, et une valeur plus faible indique une meilleure performance du modèle.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Q}_i - Q_i)^2} \dots\dots\dots(4)$$

□.3.2 Interprétation

□.3.2.1 Interprétation des résultats

Après avoir développé le modèle de perceptron multicouche de la prévision de l'indice SPI, les indicateurs R, Ns, RMSE et MAE ont montré des performances satisfaisantes. Nous passons, dans cette partie du mémoire, à la discussion des résultats obtenus. Les critères de comparaison entre les différentes méthodes utiliseront résumé dans le tableau suivant :

Tableau 15: Critères de performance

Critère	Apprentissage	Validation	Test
R	0.96	0.91	0.94
RMSE	0.28	0.29	0.29
MAE	0.22	0.23	0.21
NS	0.93	0.81	0.88

A travers les résultats obtenus et présentés dans le tableau 15, on peut constater que le modèle proposé donne de très bons résultats de prévision avec un coefficient de corrélation proches de un, qui varient entre 0.91 et 0.96 pour les ensembles Apprentissage, validation et test. Le critère de Nash aussi est très important variant de 0.81 à 0.93 pour les trois sous ensembles de données. Cela indique que les valeurs observées et prévues sont très corrélées. Les erreurs RMSE et MAE sont très faibles, RMSE égale à 0.28 et MAE 0.22.

L'ensemble des critères de performance indique qu'il s'agit d'un très bon modèle de prévision.

□.3.2.2 Interprétation des graphes

- Le modèle proposé a donné de très bons résultats de prévision.
- Les figures 18,19 et 20 indiquent que les valeurs observées et les valeurs prévues sont très proches.
- A partir de la courbe 21, les nuages des points des valeurs prévues

S'alignent et se rapprochent bien sur la première bissectrice, ce qui indique que le modèle est performant.

Conclusion

Les résultats, graphiques et analytiques, obtenus à partir de l'application du modèle de perceptron multicouche MLP pour la prévision de la sécheresse en utilisant l'indice de précipitation standardisé SPI comme un paramètre de quantification dans le bassin versant de k'sob, indiquent que le modèle est performant avec un critères de Nash de 0.88 et R égale à 0.94.

Conclusion générale

Conclusion générale

La sécheresse a des impacts néfastes sur différents secteurs tels que l'environnement, la vie sociale et l'économie. Les études récentes sur les changements climatiques causés par la sécheresse ont proposé des outils, dont les réseaux de neurones artificiels, pour prévoir et évaluer la gravité de ce phénomène. Dans ce travail, l'accent est mis sur l'utilisation des modèles de prévision réseaux de neurones artificiels, en utilisant l'indice standardisé de précipitations (SPI) en raison de sa simplicité de calcul et de son utilisation répandue.

L'objectif global de ce travail est d'appliquer les réseaux de neurones artificiels pour prévoir la sécheresse et prédire ce phénomène en utilisant l'indice SPI. Cette approche permettra de mieux comprendre la sécheresse dans la région du bassin K'sob et de fournir des informations précieuses pour la gestion et l'atténuation des effets de la sécheresse dans cette région.

Les modèles basés sur l'intelligence artificielle, notamment les réseaux de neurones artificiels, offrent de nouvelles opportunités pour améliorer la précision des prévisions hydrologiques.

L'intelligence artificielle peut traiter d'énormes quantités de données et identifier des modèles que les humains pourraient ne pas être en mesure de détecter, ce qui peut conduire à des prédictions plus précises et à une meilleure prise de décision.

L'intelligence artificielle peut aider à réduire les coûts en automatisant les tâches et en réduisant le besoin d'intervention humaine, ce qui peut profiter aux entreprises et aux organisations de divers secteurs.

L'application de l'approche du perceptron multicouche à fournir de très bons résultats de prévisions avec un coefficient de corrélation R égale à 0.93 et un critère de Nash égale à 0.87, et des faibles valeurs des erreurs RMSE, MAE égalent respectivement 0.28,0.20. Aussi, les courbes de SPI prévu et observé sont pratiquement confondues. A travers les critères de performance analytiques et graphiques on conclue que le modèle propose est modèle de prévision performant.

Perspectives du travail : A travers le travail réalisé dans ce mémoire, plusieurs axes peuvent être abordés dans les futures études. tels que :

1. Application de modèles réseaux de neurones dans d'autres régions (d'autres climats).

2. Utilisation des autres techniques de l'intelligence artificielles, notamment les réseaux de neurones a apprentissage profonds (Deep learning)
3. Comparaison entre les différents indices de sécheresse .

Références bibliographiques

Références bibliographiques

ANBT ,2008 : Agence nationale des barrages et transferts .

A.M. Ibrahim , “ Fuzzy logic for embedded systems Application “, Elsevier Elsevier science (USA) , newnws, (2004) , pp.53-67.

A. Ouali, "Evaluation de la stabilité transitoire des réseaux électriques par les réseaux de neurones artificiels et les plans d'expériences", Mémoire de Magister, Département de Génie Electrique, Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene, Bab Ezzouar, 2008.

Benkadja et al , 2012 : Benkadja R , Hattab A, Mahdaoui N, Zehar C .(2012).Assessment of soil losses and siltation of the K'sob hydrological system (semi-aride area-east Algérie).Arabian j.of Geo-science.doi 10.1007/s12517-012-0653-z.

Benkadja R ,Benhadougua M, Benkadja .(2013) . quantification des matières en suspension et valorisation des sédiments de dragage à l'échelle d'un bassin semi-aride : cas du barrage du k'sob (Algérie) .bull Eng Geol Environ 72(3-4) : 523-531,doi : 10.1007/s10064-013-0516-1.

Bendaoud youcef < Prédiction des Résistance Mécaniques des bétons à base des ciments composés en utilisant les réseaux neurones Artificiels > mémoire de magister en Génie civil Université constantine 1 2014 .

Blissag et charabi , 2011 : charabi. A, Blissag B.(2011).Etude critique des apportes liquides et solides cas de sous bassin versant du k'sob dans le bassin du bassin du hodna .Mémoire de Master ,Université Mohamed Boudiaf M'sila, p110 .

C.Touzet , " les réseaux de neurones Artificiels , Introduction au connexionnisme ",cours, exercices et travaux pratiques, Ec2 , juillet 1992 .

D.Montana et al.1989 : D.Montana , L.Davis , " Training feedforward neural networks using genetic algorithms " , in: proceedings of Eleventh International joint conference on Artificial Intelligence , N.s.Sridharam (Ed), Morgan kaufman publishers , 1989 .

D.Xiao Ni, 2007 : Dong xiao Ni , "Application of Neural Networks to character Recognition " , proceedings of students / Faculty Reasearch Day , CSIS , pace University , May 4th , 2007 .

Djebaili , 1984 : Steppe Algérienne phytosociologie et écologie , Ed.O.P.U. ,p177 .

E.Brakeni " Réseaux de Neurones Artificiels Appliqués à la méthode électromagnétique transitoire Infini TEM " , Mémoire présente à l'université du québec à chicoutini comme exigence partielle de la maîtrise en ingénierie , Université du quebec en Abitibi-Temiscamingue (canada) , 2011 .

F.Sorin , L.Broussard , P,Roblin , " Régulation d'un processus industriel par réseaux de neurones " , Techniques de l'ingénieur . Informatique industrielle 6.S7582 (2001) : R7582-1.

F.Medjili, " Modélisation par Réseaux de Neurones Artificiels (RNA) et commande prédictive non linéaire d'une station ".Mémoire de magister , Université de Annaba, 2010.

G.Dreyfus, "les réseaux de neurones" , cours de l'école supérieure de physique et de chimie Industriels de la ville de paris (ESPCI) , laboratoire d'électronique , septembre 1998 .

Références bibliographiques

L.Mokhnache, "Application des réseaux de neurones dans le diagnostic et la prédiction des isolations de haute tension ", Thèse de doctorat, ENP, décembre 2003.

L. Baghli, "Contribution à la commande de la machine asynchrone, utilisation de la logique floue, des réseaux de neurones et des algorithmes génétiques", Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I, France, 1999.

M.Parizeau, "Réseaux de Neurones.GIF-2114. Et GIF-64326", 124 (2004) .
<http://wcours.gel.ulaval.ca/2014/h/GIF4101/default/7references/reseauxdeneurones.pdf>

Remini , 2010 : la problématique de l'eau en Algérie . larhyss journal , p49 .

Tatar , 1985 : les milieux et l'occupation du sol dans le bassin versant du k'sob .Thèse doctorat , Université de caen, p106 .

http://wikipedia.org/wiki/Perceptron_multicouche

OMM., 2012. Organisation météorologique mondiale, Guide D'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, 1090, 25p.

OMM., 2012. Organisation météorologique mondiale, Guide D'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, 1090, 25p.

McKee et Doesken N. et Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In : *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, du 17 au 22 janvier 1993. Boston, American Meteorological Society, pp.179-184.

Centre national de lutte contre la sécheresse, University du Nebraska
Lincoln, tats-Unis d'Amérique) Carlo Scherer

Réduction des risques de catastrophe : Bilan mondial 2011 Révéler le risque, redéfinir le développement. Chapitre 3: Risques de sécheresse. Bureau des Nations Unies pour la Réduction des Risques de Désastre - UNISDR

Vicente-Serrano, Sergio M. & National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 18 Jul 2015. "The Climate Data Guide: Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)