

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل  
Université Mohamed Seddik Benyahia –Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences de la Terre et de  
l'Univers



كلية علوم الطبيعة والحياة  
قسم: علوم الأرض والكون

## Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique**  
en Sciences de la Terre et de l'Univers



Filière: Géologie

Option : Hydrogéologie

Thème

**Analyse et modélisation statistique et géostatistique des  
données climatologique et hydrogéologique de la wilaya de  
Jijel(NE algérien)**

### Membres de Jury

Président: DROUCHE Abdelmelak

Examineur : MAHDID Souhil

Encadrant: DEBIECHE Taha-Hocine

### Présenté par :

M<sup>elle</sup>: ABDI Sara

M<sup>elle</sup>: AIMEURE Nadjat

Année Universitaire 2021-2022

Numéro d'ordre (bibliothèque): .....

# Remerciements

Avant tout, nous remercions ALLAH qui nous a donné le courage, la santé et la volonté pour Réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier Monsieur Debieche Taha-Hocine d'avoir accepté d'encadrer ce travail de fin d'étude. Nous le remercions infiniment pour son aide, ses conseils, sa patience, et ses orientations qui nous ont été d'un apport précieux.

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury d'avoir accepté de nous consacrer de leur temps afin d'examiner et de juger ce travail

Nous remercions également tous les enseignants qui ont contribué à notre formation pendant cinq ans.

Enfin, nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.



Sara-Nadjat

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes parents « Rabeh et Nadjat » et je souhaite*

*Seulement que dieu les préserve;*

*A mes sœurs : Ibtissem et Karima*

*A mes frères: Youcef, Khaled et Mohammed*

*A mon mari: Khaled*

*A ma grande famille Abdi et tous mes amis*

*A mon binôme : Nadjat*

*A tous un grand merci*



**Sara**

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes parents « Abd Rezek et Assafia» et je souhait*

*Seulement que dieu les préserve;*

*A tous mes sœurs*

*A mon frère: Yacine*

*A mon mari : Hamza*

*A mon fils : Mohammed*

*A ma grande famille ; Aimeur et Dabbache*

*A mon binôme : Sara*

*A tous un grand merci*



**Nadjat**

## **Résumé**

Cette étude a pour objectifs d'appliquer les statistiques dans les domaines hydrologique et hydrogéologique. L'application de cette approche sur la wilaya de Jijel a été faite sur l'évolution spatiale et temporelle des précipitations ainsi que sur la répartition spatiale de l'altitude du substratum de la nappe alluviale d'oued Nil. Les résultats obtenus nous ont permis de montrer l'efficacité du krigeage dans la modélisation et sa limite aux petit nombre des points d'observation. Cette modélisation géostatistique a été complété par une analyse statistique élémentaire (uni-variable et bi-variable) qui nous a permis de montrer l'évolution temporelle de chaque variable et les relations possibles entre les variables et par une Analyses en Composantes Principales (ACP) des données qui nous a permis d'afficher les relations entre les variables , les individus et variable-individus.

**Mots clés :** Géostatistique, Krigage, modélisation, ACP, précipitation, Jijel.

## **المخلص**

تهدف هذه الدراسة إلى تطبيق الإحصاء في المجال الهيدرولوجي والهيدوجيولوجي. تم تطبيق هذا النهج على ولاية جيجل على التوزيع المكاني والزمني لهطول الأمطار وكذلك على التطور المكاني لارتفاع الطبقة التحتية لطبقة المياه الجوفية في وادي النيل. سمحت لنا النتائج التي تم الحصول عليها بإظهار كفاءة في النمذجة كريجينج وحدودها لعدد صغير من نقاط المراقبة. تم إتمام هذه النمذجة الإحصائية بتحليل إحصائي أولي (متغير أحادي ومتغير ثنائي) مما سمح لنا بإظهار التطور الزمني لكل متغير والعلاقات المحتملة بين المتغيرات وبواسطة تحليل المكونات الرئيسية للبيانات التي سمحت لنا لعرض مجموعات من المتغيرات والأفراد ذوي الصلة.

**الكلمات المفتاحية:** الجيوإحصاء ، كريجينج ، النمذجة، التساقطات ، جيجل

## **Abstract**

This study aims to apply statistics in the hydrological and hydrogeological afield. The application of this approach on the wilaya of Jijel was made on the spatial and temporal evolution of the precipitations as well as on the spatial distribution of the substratum of the alluvial groundwater of oued Nil. The results obtained allowed us to show the effectiveness of kriging in the modelling and its limitat the low number of observation points. This geostatistical modelling was completed by an elementary statistical analysis (uni-variable and bi-variable) which allowed us to show the temporal evolution of each variable and the possible relations between the variables and by a Principal Component Analysis (PCA) of the data which allowed us to display the groups of variables and individuals in relation.

**Key words:** Geostatistics, Krigage, modelling, PCA, rainfall, Jijel.

**Table des matières**

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Table des Matières .....	i
Liste des figures .....	iv
Liste des tableaux .....	vi
Liste des abréviations .....	vii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
<b><i>Chapitre I: Rappel bibliographie</i></b>	
I.1. INTRODUCTION .....	3
I.2. DEFINITION ET HISTORIQUE.....	3
I.3. STATISTIQUE DESCRIPTIVE .....	3
1.3.1) PARAMETRES DE POSITION .....	3
1.3.2) PARAMETRES DE LA DISPERSION .....	4
I.4. GEOSTATISTIQUE.....	5
I.4.1. DEFINITION .....	5
I.4.2. KRIGEAGE.....	5
I.4.3. Analyse structurale.....	5
I.4.4. Le semi-variogramme .....	6
I.4.5. MODELISATION DU VARIOGRAMME.....	6
1.4.6. MODELES DU SEMI-VARIOGRAMME .....	7
I.4.7. KRIGEAGE.....	9
I.5. ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE .....	10
I.5.1. DEFINITION .....	10
I.5.2. REPRESENTATION GEOMETRIQUE.....	11
I.6. CONCLUSION.....	12
<b><i>Chapitre II: Présentation de la zone d'étude</i></b>	
II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	14
II.2. CONTEXTE TOPOGRAPHIQUE.....	14
II.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	15

II.4. CONTEXTE CLIMATIQUE .....	16
II.4.1. LE CLIMAT .....	16
II.4.2. PRECIPITATION .....	17
II.4. CONTEXTE HYDROLOGIQUE .....	18
II.4.1. RESEAU HYDROGRAPHIQUE .....	18
II.4.1. BASSINS VERSANTS .....	18
II.7. CONCLUSION .....	20

### ***Chapitre III: Résultats et discussion***

III.1. INTRODUCTION.....	22
III.2. ANALYSE ET MODELISATION STATISTIQUE ET GEOSTATISTIQUE DES DONNEES CLIMATOLOGIQUE .....	22
III.2.1. STATIONS PLUVIOMETRIQUES DE LA WILAYA DE JIJEL.....	22
III.2.2. ETUDE DES PRECIPITATIONS DE LA WILAYA DE JIJEL .....	23
III.2.2.1. Evolution des moyennes annuelles des précipitations .....	23
III.2.2.2. EVOLUTION DES MOYENNES MENSUELLE DES PRECIPITATIONS.....	24
III.2.2.3. ANALYSE STATISTIQUE DES PRECIPITATIONS.....	25
III.2.2.4. Modélisation spatiale des précipitations par krigéage.....	27
III.2.2.4.1. Modélisation par krigéage .....	27
III.2.2.4.2. Modélisation spatiale par corrélation linéaire .....	29
III.2.3. Etude des paramètres climatologiques de la station d’Achouat–Taher.....	31
III.2.3.1. Evolution temporelle des paramètres climatiques.....	31
A) PRECIPITATION .....	31
B) TEMPERATURE .....	31
C) DIAGRAMME OMBRO-THERMIQUE.....	32
D) L’HUMIDITE RELATIVE .....	33
E) L’EVAPORATION.....	34
III.2.3.2. ANALYSE STATISTIQUE DESCRIPTIVE.....	34
III.2.3.3. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES .....	37
III.2.3.4. Modélisation de l’évolution temporelle des précipitations .....	38
III.2.3.4.1. Introduction .....	38
III.2.3.5. CONCLUSION .....	40

III.3. Analyse et modelisation geostatistique des donnees hydrogeologiques .....	41
III.3.1. INTRODUCTION .....	41
III.3.2. SITUATION DE LA PLAINE ALLUVIALE D'OUED NIL .....	41
III.3.4. MODELISATION DU SEMI-VARIOGRAMME .....	42
III.3.5. KRIGEAGE DE LA REPARTITION SPATIALE DU SUBSTRATUM.....	43
III.4. CONCLUSION .....	44
Conclusion générale et Recommandation .....	46
Références bibliographiques .....	48



## Liste des figures

Figure I.1 : Elément du semi-variogramme (debieche 2021 b).....	7
Figure I.2: Modèles du semi-variogramme (debieche 2021 b). ....	8
Figure I.3 : Projection des individus sur les facteurs 1 et 2 .....	11
Figure II.1: Situation géographique de la wilaya de Jijel (Ferrache et Leghouchi 2022) .....	14
Figure II.2 : Carte topographique de la wilaya de Jijel .....	15
Figure II.3. Carte géologique de la wilaya de Jijel.....	16
Figure II.4: Classification du climat en Algérie selon l'agence national du territoire (2004) in Benazza-Bouregba (2007).....	17
Figure II.5 : Carte Pluviométrique de la Wilaya de Jijel.....	17
Figure II.6: Réseau hydrographique et barrages de la wilaya de Jijel.....	18
Figure II.7 : Bassins versants de la wilaya de Jijel (Debieche et al. 2015) .....	19
Figure III.1 : Situation des stations pluviométriques de la wilaya de Jijel.....	22
Figure III.2. Evolution des précipitations moyennes annuelles .....	24
Figure III.3: Précipitations moyennes mensuelles des neuf stations de la wilaya de Jijel.....	24
Figure.III.4. Projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2.....	26
Figure.III.5. Répartitions des individus dans le plan formé par l'axe F1 et F2 .....	27
Figure III.6. Variogramme de la variation des précipitations en fonction des coordonnées Lambert .....	28
Figure III.7. Variogramme de la variation des précipitations en fonction de la distance par rapport à la mer et l'altitude .....	29
Figure III.8 : Relation précipitation – altitude des stations pluviométriques de la wilaya de Jijel	30
FigureIII.9: Précipitation moyenne annuelle et mensuelle à la station Taher-Achouat (1991-2008) .....	31
Figure III.10. Température moyenne annuelle et mensuelle à la station Taher-Achouat (1991-2008).....	32
Figure III.11. Diagramme Omro-thermique de la station Taher-Achouat (1991-2008) .....	33
Figure III.12. Les valeurs moyennes annuelles et mensuelles de l'humidité relative des stations Taher-Achouat (1991-2008).....	33
FigureIII.13. Les valeurs moyennes annuelles et moyenne mensuelle de l'évaporation de la station Taher-Achouat (1991-2008) .....	34
Figure III.14. Représentation graphiques des relations significatives entre les paramètres	

climatologiques .....	36
Figure III.15. Projection de la variance des facteurs.....	37
Figure III.16. Projection des variables (paramètres climatiques) sur le plan F1-F2 .....	37
Figure III.17. Projection des individus (mois) sur le plan F1-F2.....	38
Figure III.18. Variation mensuelle des précipitations (station d'achouat).....	39
Figure III.19. Modélisation du semi-variogramme .....	39
Figure III.20. Carte de Krigeage de l'évolution des précipitations temporelles .....	40
Figure III.21. Situation de la plaine alluviale d'oued Nil.....	41
Figure III.22. Coupes géologiques dans la plaine alluviale d'oued Nil à partir des log stratigraphiques .....	42
Figure III.23. Modélisation du semi-variogramme du substratum.....	43
Figure III.24. Répartition spatiale du substratum en utilisant le krigeage .....	44

## Liste des Tableaux

Tableau III.1. Coordonnées des stations pluviométriques .....	23
Tableau III.2 : Durée, type et paramètres mesurés des stations pluviométriques et météorologique .....	23
Tableau III.3 : Matrice de corrélation .....	25
Tableau III.4. Données des stations pluviométriques .....	28
Tableau III.5. Statistique élémentaire des paramètres climatiques .....	35
Tableau III.6. Matrice de corrélation des paramètres climatiques .....	35

## Liste des abréviations

**ACP:** Analyse en Composantes Principales

**ANRH:** Agence Nationale des Ressources Hydriques

**BV:** Bassin Versant

**C° :** Degré Celsius

**M:** Mètre

**MNT:** Modèle Numérique de Terrain

**nmb :** nombre

**ONM:** Office National de la Météorologie

**SBV:** Sous Bassin versant



# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## Introduction générale

Les statistiques sont de plus en plus utilisées dans le domaine scientifique surtout après l'apparition des ordinateurs. Leur rapidité de calcul a permis aux statisticiens d'appliquer les formules les plus complexes.

Dans les domaines hydrologiques et hydrogéologiques, souvent l'étude d'un phénomène nécessite un suivi spatio-temporel de longue durée pour extraire les relations possibles entre les variables et les individus. Dans cette étude consacrée principalement à l'étude de la variation spatiale et temporelle des précipitations dans la wilaya de Jijel, nous avons fait appel à deux méthodes statistiques principales : la première concerne le Krigéage et la deuxième concerne l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

Pour aborder ce travail de fin d'étude, nous avons partagé notre mémoire en trois chapitres :

- Le premier concerne le **rappel bibliographique** des paramètres statistiques de base et les méthodes de traitement avancé des données, tel que le krigéage et l'ACP ;
- Le deuxième s'intéresse à la **présentation de la zone d'étude** de point de vue administrative, topographique, morphologique, géologique, climatologique et hydrogéologique ;
- Le troisième représente les **résultats et la discussion**. C'est le chapitre le plus important du mémoire et qui présente les évolutions temporelles des paramètres climatologiques ainsi que la modélisation géostatistique (krigéage) utilisée dans la modélisation de la variation spatiale et temporelle des précipitations ainsi que le substratum de la nappe alluviale d'oued Nil. Cette étude est complétée par l'analyse préliminaire des données par la statistique descriptive et par une analyse factorielle de l'analyse en composantes principales (ACP).

En fin, nous avons terminé notre mémoire par une conclusion générale qui montre les principaux résultats obtenus de cette étude.



# **CHAPITRE I**

## **RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE**

## I.1. Introduction

La statistique est de plus en plus utilisée dans le domaine scientifique et fait appel à plusieurs approches mathématiques pour trouver les solutions les plus adéquates aux problèmes expérimentaux. Dans ce rappel bibliographique, nous allons présenter les définitions et les formules les plus utilisées dans le domaine d'hydrogéologie, tel que la statistique descriptive (paramètres de position et de dispersion), la géostatistique (krigéage) et l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

## I.2. Définition et historique

L'origine du mot « *statistique* » remonte au latin classique *status* (*état*) qui, par une série d'évolutions successives, aboutit au français *statistique*, attesté pour la première fois en 1771.

Actuellement, on distingue généralement *les statistiques* (au pluriel) de *la statistique* (au singulier) :

- *Les statistiques* peuvent être définies comme l'étude méthodique des faits sociaux qui définissent un Etat, par des procédés numériques (recensements, inventaires...);
- *La statistique* apparaît vers 1830. C'est un ensemble de techniques d'interprétation mathématique appliquées à des phénomènes pour lesquels une étude exhaustive de tous les facteurs est impossible à cause de leur grand nombre ou de leur complexité.

On peut aussi *définir la statistique* comme l'ensemble des méthodes scientifiques à partir desquelles on recueille, organise, résume, présente et analyse des données et qui permettent d'en tirer des conclusions et de prendre des décisions.

## I.3. Statistique descriptive

Elle décrit et analyse un échantillon donné, sans tirer des conclusions pour une population. Elle utilise des paramètres, des graphiques et des méthodes dites d'analyse des données. Les définitions des paramètres statistiques utilisés dans ce paragraphe ont été tirées du livre de statistique de De Murray R. Spiegel (1996) et des cours pédagogiques de Chekroun Abdennasser (2017) et de Debieche Taha-Hocine (2021 a).

### 1.3.1) Paramètres de position

#### a) La moyenne arithmétique

On la note généralement  $\bar{x}$ , est égale à la somme des valeurs que prend la variable  $x$



divisée par le nombre de ces valeurs :  $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$

### b) Le mode

Le mode d'un ensemble de nombres est le nombre que l'on rencontre le plus fréquemment, c'est-à-dire celui qui a la plus grande fréquence. Le mode peut ne pas exister, et s'il existe, il se peut ne pas être unique.

### c) La médiane

La médiane d'un ensemble de nombres rangés par ordre croissante est la valeur du milieu ou la moyenne arithmétique des valeurs centrales.

## 1.3.2) Paramètres de la dispersion

Un ensemble de données numériques tend généralement à s'étaler autour d'une valeur centrale (moyenne, médiane), que l'on appelle dispersion ou variabilité des données. Les paramètres statistiques les plus utilisés pour mesurer cette dispersion sont :

### a) L'étendue

L'étendue d'un ensemble de nombres est la différence entre le plus grand ( $x_{\max}$ ) et le plus petit ( $x_{\min}$ ) de ces nombres. Etendue de  $x = E = x_{\max} - x_{\min}$

### b) L'écart type

Il correspond à la moyenne quadratique des écarts à la moyenne, on le calcule par la

formule suivante :  $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$

Où :  $S$  : est l'écart type       $n$  : nombre des  $x_i$

$(x_i - \bar{x})$  représente l'écart du nombre  $x_i$  de la moyenne  $\bar{x}$ .

### c) La variance

On définit la variance d'un ensemble de données par la moyenne du carré des écarts à la moyenne. Elle correspond au carré de l'écart-type ( $s^2$ ).

$$\text{Variance} = V = s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

#### I.4. Géostatistique

Ce paragraphe a été rédigé en s'appuyant sur le livre d'Armstrong Margaret et Carignan Jacques (1997) et le cours pédagogique de Debieche Taha-Hocine (2021b)

##### I.4.1. Définition

La géostatistique est l'étude des variables régionalisées, à la frontière entre les mathématiques et les sciences de la Terre. Son principal domaine d'utilisation a historiquement été l'estimation des gisements miniers, mais son domaine d'application actuel est beaucoup plus large et tout phénomène spatialisé peut être étudié en utilisant la géostatistique (Wikipédia, 2022). Cependant, le français Matheron est le premier à utiliser le terme « géostatistique ». Il existe plusieurs approches pour faire la modélisation statistique de données spatiales et le plus efficace est celui du Krigeage.

##### I.4.2- Krigeage

Le Krigeage est la méthode géostatistique optimale, au sens statistique du terme, d'estimation. On peut l'utiliser autant pour l'interpolation que l'extrapolation ainsi que pour l'évaluation des incertitudes liées à cette estimation. Le Krigeage porte le nom de son précurseur, l'ingénieur minier sud-africain D.G. Krige. Dans les années 50, Krige a développé une série de méthodes statistiques empiriques afin de déterminer la distribution spatiale de minerais à partir d'un ensemble de forages. C'est cependant le français Matheron qui a formalisé l'approche en utilisant les corrélations entre les forages pour en estimer la répartition spatiale.

L'interpolation par krigeage peut être divisée en deux parties :

- La première est la recherche et la modélisation de la structure spatiale des valeurs échantillonnées (servant à l'estimation) à l'intérieur d'un semi-variogramme ;
- Et la deuxième partie, est le processus d'estimation lui-même, le krigeage, qui dépend entièrement du semi-variogramme construit précédemment.

##### I.4.3. Analyse structurale

Elle est la première étape indispensable à toute étude géostatistique, est la caractérisation des structures de variabilité spatiale des grandeurs considérées. C'est le variogramme  $\gamma(h)$  qui est chargé de résumer, de façon quantitative, toute l'information structurale sur le phénomène

considéré.

Le calcul du semi-variogramme (appelé souvent le variogramme) est donc le fondement de la théorie des variables régionalisées et reste essentiel pour la mise en application du Krigeage.

#### I.4.4. Le semi-variogramme

Si on considère que la différence entre deux points  $x$  et  $x+h$ , distants de  $h$  unités, est  $Z(x) - Z(x+h)$ . La variance de cette différence devrait être plus petite lorsque les points sont rapprochés et plus grande lorsque les points sont éloignés. On appelle semi-variogramme la demi-variance de cette différence soit :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x) - Z(x+h)] \quad \text{Où } h : \text{distance (pas)}$$

L'estimateur du semi-variogramme pour les  $n(h)$  point ( $x$  et  $x+h$ ) est :

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2}{n(h)} = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Comme dans le calcul de la variance, le semi-variogramme est la somme des carrés divisée par le nombre  $n$  de valeurs échantillonnées. Cependant, le semi-variogramme mesure la différence entre deux échantillons et non par rapport à la moyenne, comme la variance. Le semi-variogramme correspond à la variance s'il n'y a aucune structure spatiale dans les valeurs échantillonnées.

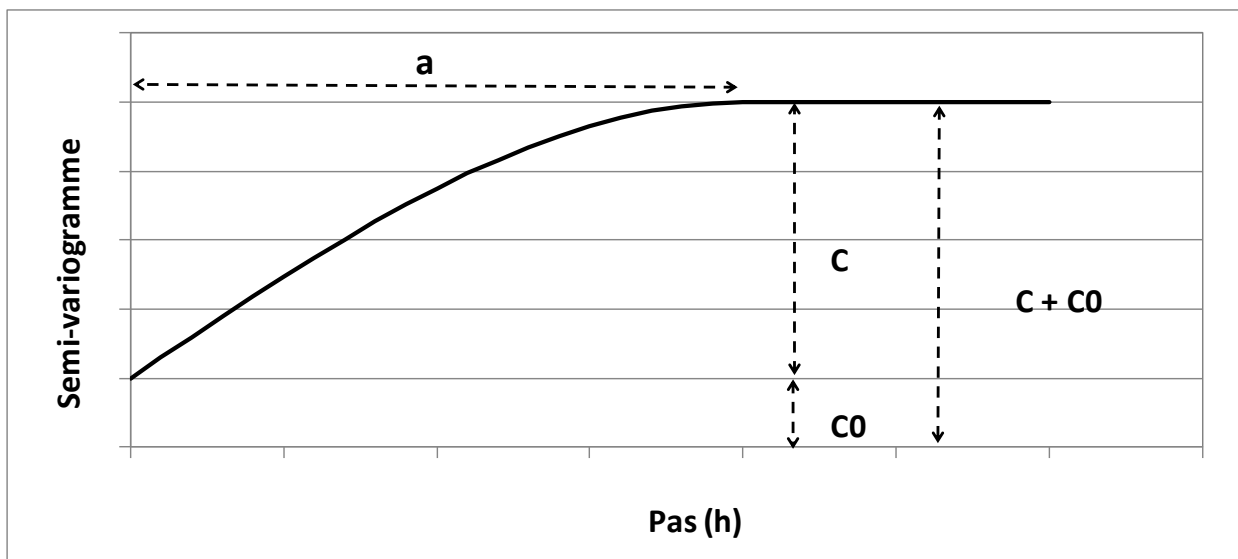
#### I.4.5. Modélisation du variogramme

Les semi-variogrammes construits à partir des variances calculées entre les paires d'échantillons sont appelés semi-variogrammes expérimentaux. Par la suite, il faut modéliser le semi-variogramme. Les modèles sont des fonctions mathématiques qui s'ajustent le mieux possible aux points des semi-variogrammes expérimentaux. Une fois le modèle adopté, toute la suite des calculs se fait avec les valeurs obtenues du modèle et non avec les valeurs expérimentales. Le choix et l'ajustement d'une fonction au semi-variogramme est la partie la plus délicate du krigeage. Cet ajustement est généralement fait par la méthode des moindres carrés pondérés dans les logiciels commercialisés, les poids étant calculés à partir du nombre de paires d'échantillons.

Il y a trois éléments d'un semi-variogramme qui peuvent aider à ajuster un modèle

(Figure) :

- le palier ( $C+C_0$ ) est la valeur maximale que prend le semi-variogramme lorsque  $h$  devient grand et à cette valeur, il n'y a plus de structure spatiale entre les échantillons ;
- la portée ( $a$ ) est la distance à laquelle le semi-variogramme atteint le palier et au-delà de cette distance, les échantillons n'apportent plus de contribution dans l'interpolation ;
- la pépite ( $C_0$ ) correspond à la valeur positive du modèle lorsqu'il traverse l'axe des  $y$ . En théorie, la semi-variance est nulle lorsque la distance est nulle (un point est égal à lui-même). L'effet de pépite représente des *erreurs de mesures* (bruit) ou *des variations spatiales à des distances plus courtes que le pas d'échantillonnage*.

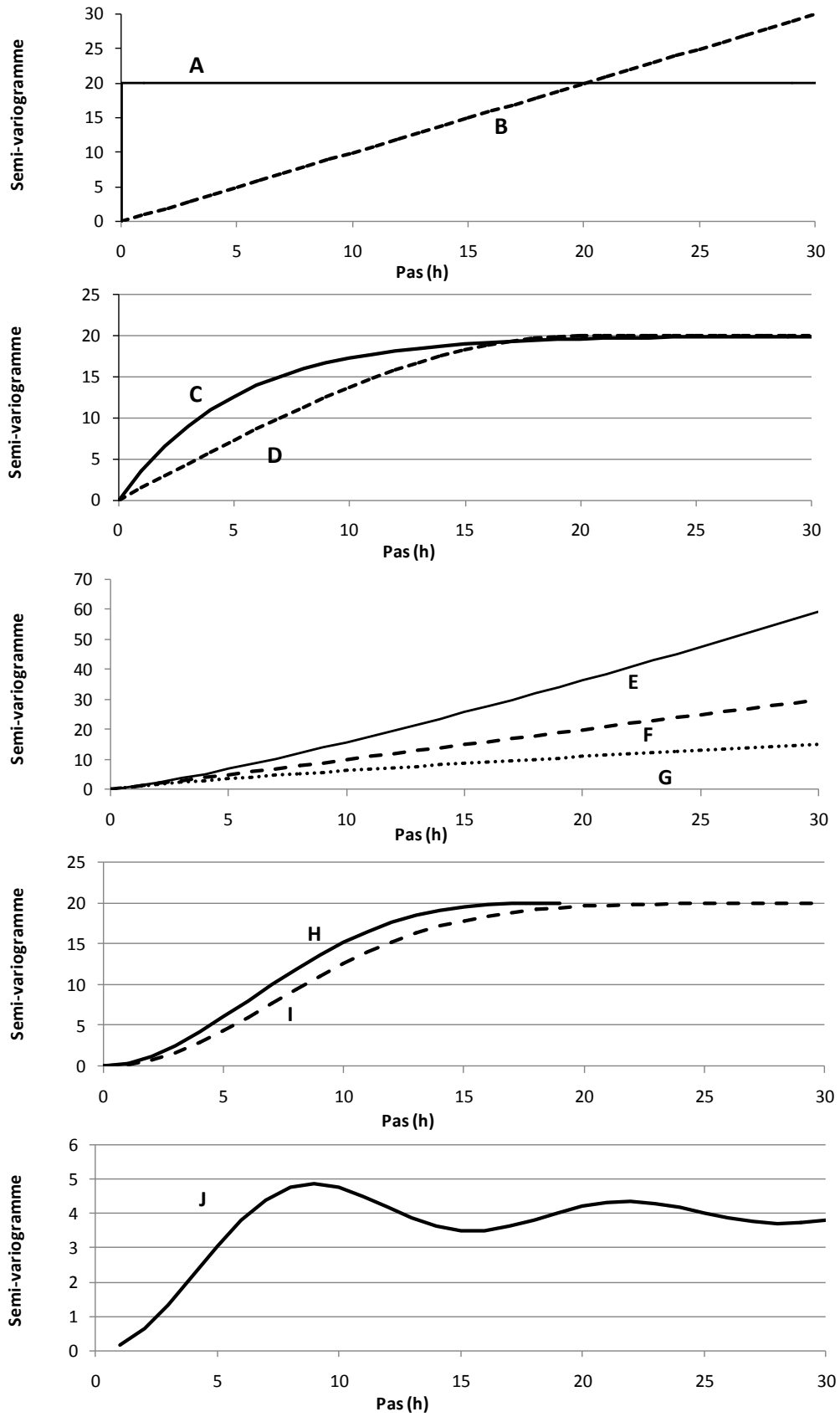


**Figure I.1** : Élément du semi-variogramme (debieche 2021 b)

Dans la pratique, on utilise plus souvent des modèles combinés que des modèles simples. Ainsi, l'effet de pépite est presque toujours présent dans une combinaison de modèle. Les modèles les plus courants sont: effet de pépite, puissance (cas particulier : linéaire), sphérique, Gaussien et exponentiel.

#### 1.4.6. Modèles du semi-variogramme

Il y a plusieurs modèles du semi-variogramme, nous citerons ci-dessous les modèles les plus utilisés qui sont représenté dans la figure ci-dessous :



**Figure I.2:** Modèles du semi-variogramme (debieche 2021 b).

A. Effet de pépite, B. Linéaire, C. Sphérique, D. Exponentiel, E. Puissance ( $b = 1.5$ ), F.

Puissance ( $b = 1$ ), G. Puissance ( $b = 1 ; b = 0.5$ ), H. Cubique, I. Gaussien, J. Sinus

### a. Modèle à effet de pépite

Il est défini par :

$$\gamma(h) = 0 \text{ si } h = 0$$

$$\gamma(h) = C \text{ si } h > 0.$$

Il est habituellement utilisé en combinaison avec d'autres modèles, il se présente comme une discontinuité à l'origine du variogramme, il peut représenter des erreurs d'analyse, de réelles microstructure ou des structures d'une certaine taille non détectées par un échantillonnage insuffisant. (Belkebir, 2015).

### b. Modèle en puissance et linéaire

Il est présenté par l'équation suivante :

$$\gamma(h) = \omega (h^b) \quad \text{Où } \omega = \text{facteur d'échelle et } b \text{ l'exposant } (0 < b < 2).$$

Si  $b = 1$  nous avons un modèle linéaire et si la pente de la droite  $c$  est le modèle le plus simple et il n'a pas de palier.

### c. Modèle sphérique

Il est présenté par les deux équations suivantes :

$$\gamma(h) = C \left[ \left( \frac{3h}{2a} \right) - \left( \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3} \right) \right] = C \left[ \left( \frac{3h}{2a} \right) - \left( \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right) \right] \quad \text{si } 0 < h < a$$

$$\gamma(h) = C \quad \text{si } h \geq a$$

$C$  est le modèle le plus populaire

### d. Modèle exponentiel

Il est présenté par l'équation suivante :

$$\gamma(h) = C \left[ 1 - e^{-\frac{h}{a}} \right]$$

### e. Modèle gaussien

Il est présenté par l'équation suivante :

$$\gamma(h) = C \left[ 1 - e^{-\left( \frac{h}{a} \right)^2} \right]$$

## I.4.7. Krigeage

Le krigeage est une méthode d'interpolation qui permet d'estimer des valeurs à différents points d'une surface. Par exemple, on utilise le krigeage pour estimer les valeurs à chaque

intersection d'une grille régulière à partir de points échantillonnés de façon irrégulière. Par la suite, cette grille régulière permet de dessiner des courbes de niveau.

Il existe trois types de Krigeage uni-varié (i.e. à une seule variable) : le Krigeage simple, le Krigeage ordinaire et le Krigeage universel. La différence entre ces types d'estimation réside dans la connaissance de la statistique de la variable à interpoler :

- Krigeage simple : variable stationnaire de moyenne connue ;
- Krigeage ordinaire : variable stationnaire de moyenne inconnue ;
- Krigeage universel : variable non-stationnaire (qui contient une tendance).

Dans ce mémoire, nous utiliserons seulement le Krigeage ordinaire, aussi appelé Krigeage ponctuel par certains auteurs, car il est le plus fréquemment utilisé.

## **1.5. Analyse en Composante Principale**

Ce paragraphe a été rédigé en s'appuyant sur les documents suivants : page web de Stéphane Jaubert (consultée le 22/08/2022) et le cours pédagogique de DebiecheTaha-Hocine (2021).

### **1.5.1. Définition**

L'Analyse en Composante Principale est souvent notée ACP. Elle fait partie des techniques descriptives multidimensionnelles. Elle a été Conçue par Karl Pearson en 1901, intégrée à la statistique mathématique par Harold Hotelling en 1933, elle n'est vraiment utilisée que depuis la large diffusion des moyens de calcul informatique.

L'analyse en composantes principales consiste à passer d'un tableau des données brutes (variables et individus), contenant toute l'information recueillie sur le phénomène que nous souhaitons étudier, à certaines représentations visuelles des données.

Du point de vue des variables : on cherche à remplacer les  $p$  variables par  $q$  nouvelles variables résumant au mieux le protocole, avec  $q < p$  et si possible  $q = 2$ . L'ACP permet de résumer un ensemble de variables corrélées en un nombre réduit de variables (appelées facteurs) non corrélées.

Du point de vue des individus : chaque individu est représenté par un point dans un espace de dimension  $p$ . On peut calculer les distances euclidiennes (ligne droite) entre deux

individus, entre un individu et le point moyen du nuage, etc. On cherche alors à trouver une projection des individus dans un espace de dimension  $q < p$ , respectant au mieux les distances entre les individus (une "carte", la moins déformée possible).

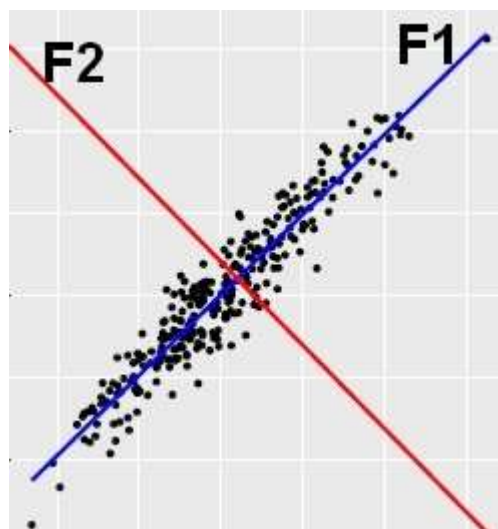
### 1.5.2. Représentation géométrique

Les représentations géométriques entre les lignes et entre les colonnes du tableau de données permettent de visualiser les proximités entre les individus et entre les variables.

L'idée générale est de déterminer le plan dans lequel la projection du nuage de points conservera le plus possible sa forme originale. Ce plan s'appelle le plan factoriel, défini par deux axes F1 et F2 (dits axes factoriels).

Pour trouver F1, on cherche le vecteur (unitaire), qui passe par le centre de gravité du nuage, tel que la variance des points du nuage projeté orthogonalement sur ce vecteur soit maximale (ça revient à minimiser l'inertie du nuage qui tourne autour de F1).

Comme on a perdu de l'information (le nuage se résume le long d'une droite) on détermine ensuite un second axe F2 qui passe par le centre de gravité du nuage, orthogonale à F1 et qui apporte le plus d'inertie. On appelle également F1 et F2 les axes principaux d'inertie. Les points du nuage seront exprimés dans le nouveau repère (F1, F2). On continue sur le même principe est de chercher un 3ème axe F3 qui passe par le centre de gravité perpendiculairement au plan (F1, F2) ...)



**Figure L.3** : Projection des individus sur les facteurs 1 et 2



## **I.6. Conclusion**

Ce chapitre nous a permis de montrer les notions de bases de la statistique descriptive, du krigeage et de l'analyse en composantes principales qui nous seront très utiles pour la suite de ce mémoire et surtout dans le chapitre résultats et discussion.

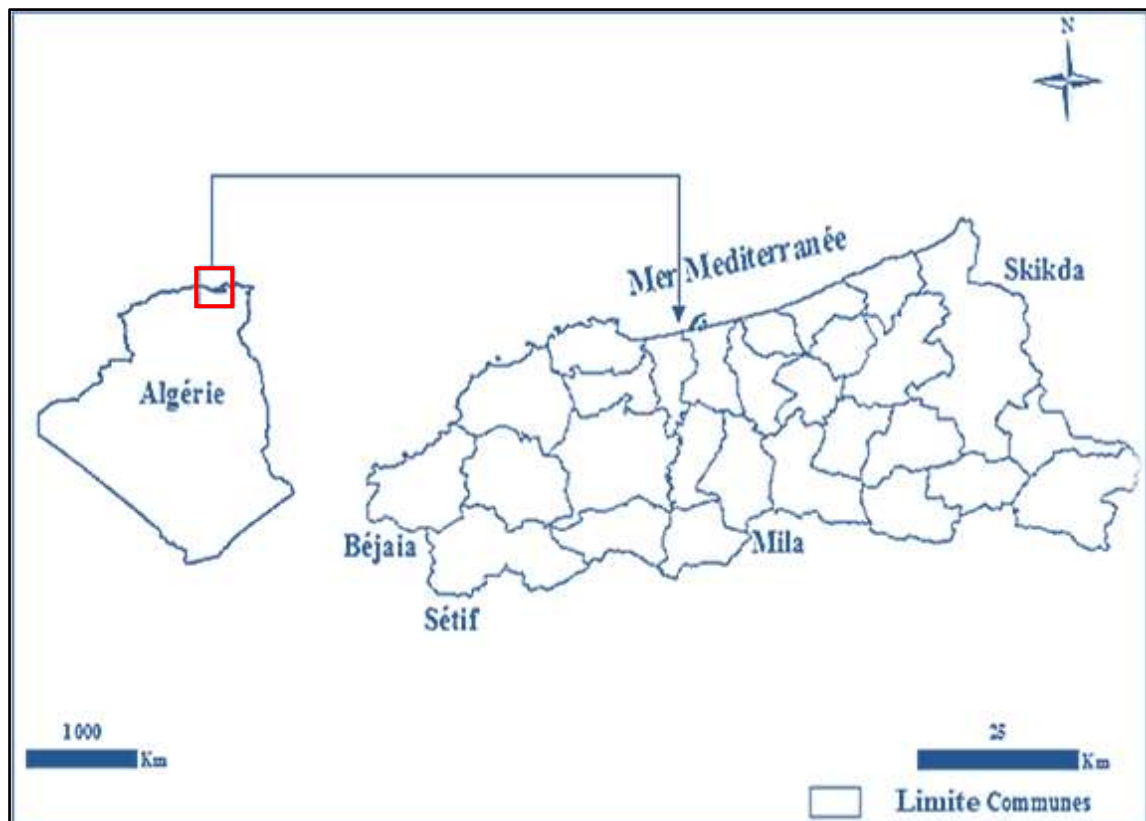
Ces techniques statistiques sont devenues très utiles à l'interprétation des données surtout lorsqu'elles sont volumineuses. L'aspect de modélisation statistique est de plus en plus utilisé surtout lorsqu'il n'y a pas de loi mathématique claire qui gère le phénomène à étudier.

## **CHAPITRE II : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE**

## II.1. Situation géographique

La wilaya de Jijel se situe au nord-est Algérien (**Fig. II.1**), à 360 km à l'est de la capitale Alger. Elle s'étend sur une superficie de 2 389 km<sup>2</sup> et un littoral d'environ 120 km. Elle est limitée :

- Au nord par la mer méditerranée
- Au sud par la wilaya de Mila
- Au sud-ouest par la wilaya de Sétif
- Au l'est par la wilaya de Skikda et l'ouest par la wilaya de Bejaïa.

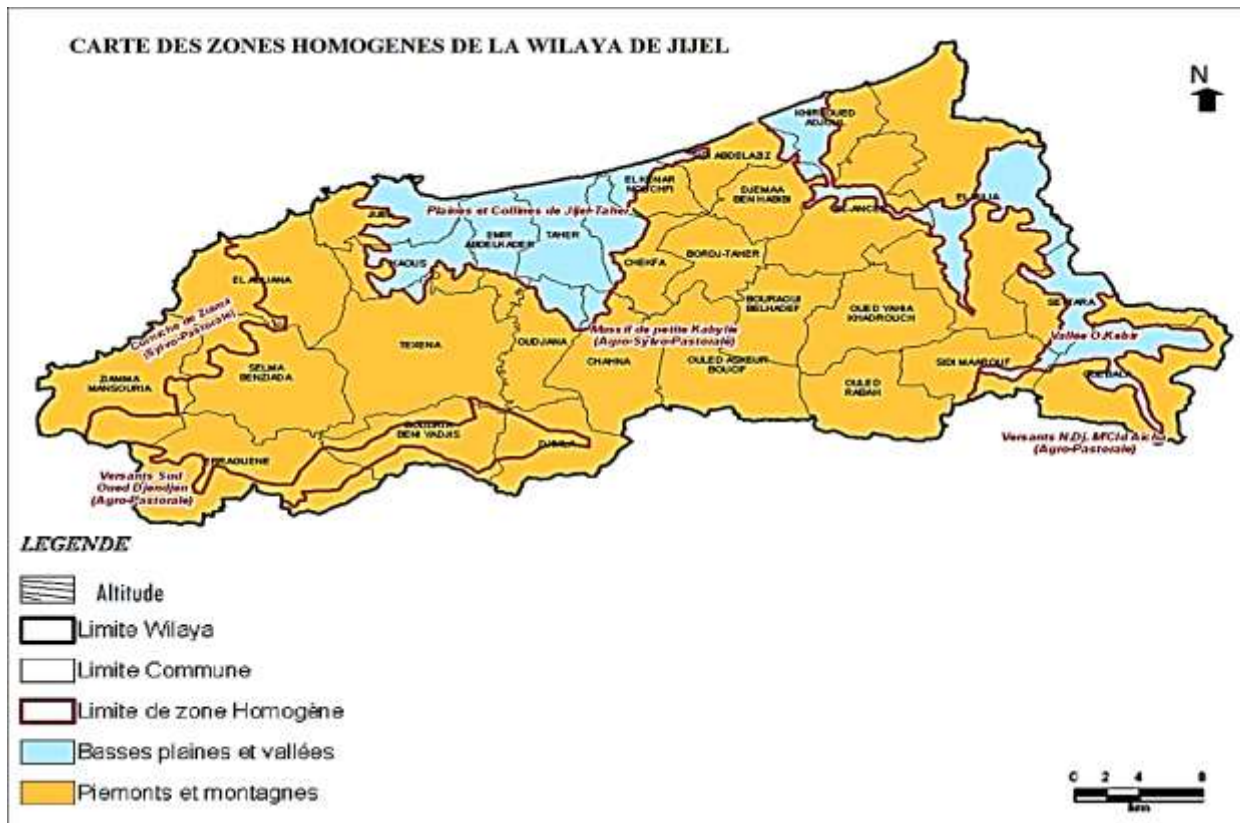


**Figure II.1:** Situation géographique de la wilaya de Jijel (Ferrache et Leghouchi 2022)

## II.2. Contexte topographique

La wilaya de Jijel est subdivisée en deux grands ensembles (figure II.2) :

- L'ensemble des plaines côtières, il est constitué d'une multitude de plaines, elles occupent 18 % de la superficie totale de la wilaya ;
- L'ensemble des zones montagneuses, il est constitué de l'essentiel du territoire de la wilaya (82 %).



**Figure II.2** : Carte topographique de la wilaya de Jijel

(Direction d'Aménagement de la Wilaya de Jijel, 2011)

### II.3. Contexte géologique et hydrogéologique

De point de vue géologique (figure II.3) et hydrogéologique, la wilaya de Jijel est composée des :

- Formations métamorphiques (schiste, micaschiste, gneiss et calcaire cristallin) qui affleurent dans les monts. Ces formations sont très tectonisées et favorisent l'écoulement préférentiel des eaux. Elles peuvent construire des petits réservoirs d'eau ;
- Formations sédimentaires, elle apparaît essentiellement dans :
  - Les lits des oueds : sont formés des dépôts alluvionnaires (sable, gravier, galet et conglomérats). Ils constituent les réserves principales en eau de la wilaya.
  - Le cordon dunaire situé dans la partie nord au voisinage de la mer. Il est formé essentiellement par des dunes anciennes (sable limoneux consolidé) et les dunes récentes (sable grossier). Il construit une nappe d'eau qui se localise près de la mer.
  - Les formations du grès, d'âge éocène supérieur – oligocène, sont des formations perméables est peuvent construire un réservoir d'eau.

- Les formations carbonatées, d'âge crétacé, qui affleurent dans la partie sud-ouest. Ils sont très fissurés et même karstifiés dans certaines zones. Indiquant sûrement l'existence d'une réserve importante en eau.

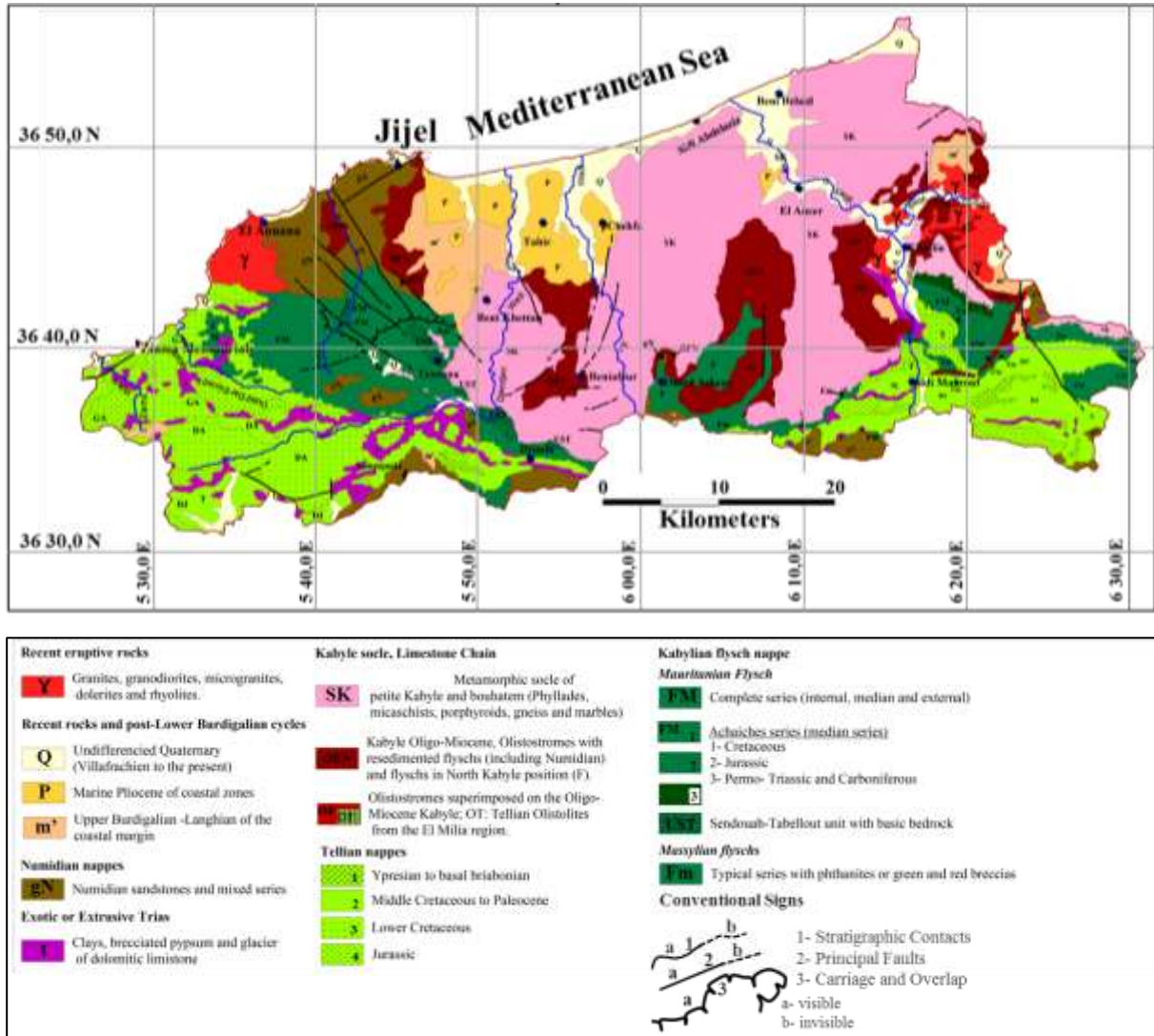
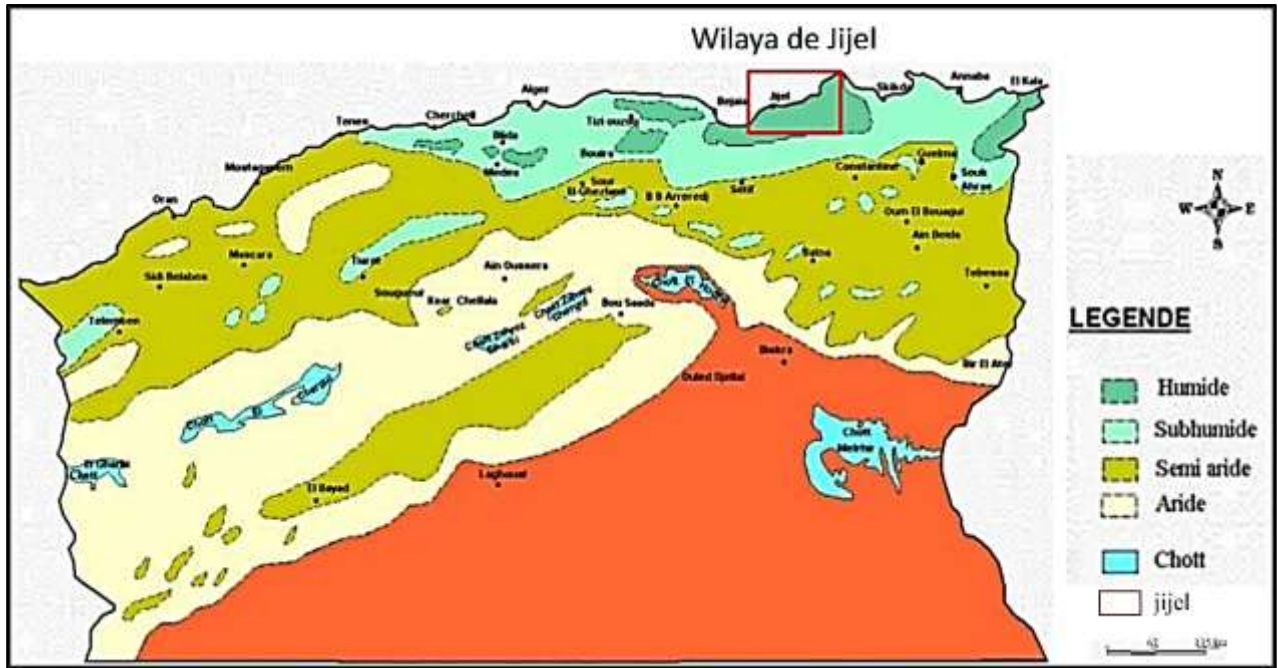


Figure II.3. Carte géologique de la wilaya de Jijel (Vila, 1978 in Drouiche et al. 2022).

## II.4. Contexte climatique

### II.4.1. Le climat

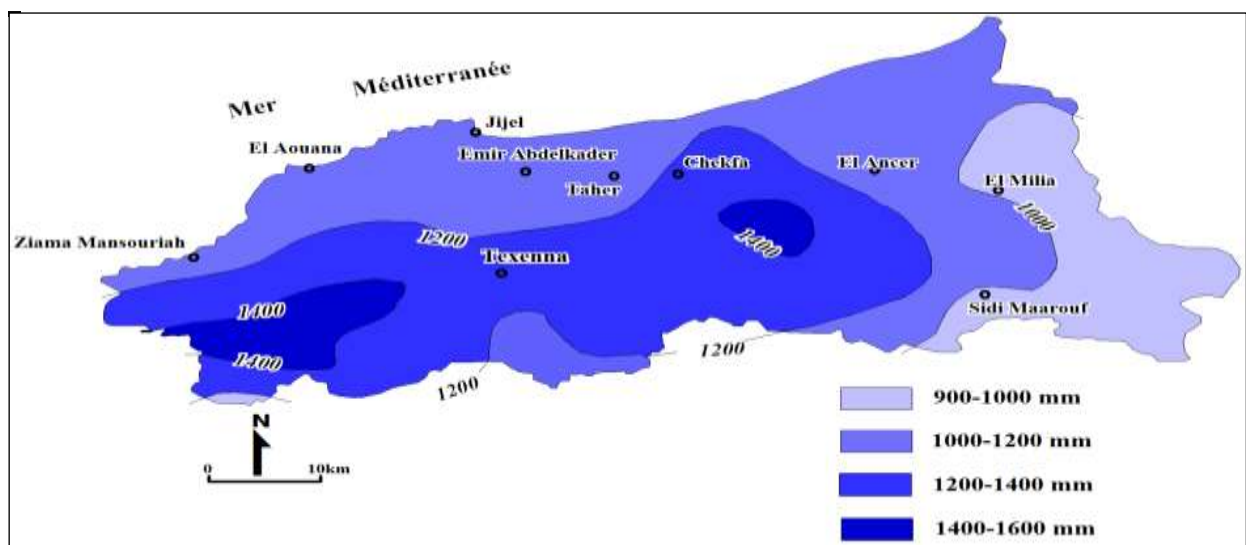
La zone d'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen humide (figure II. 4). Il est caractérisé par un été chaud et un hiver doux et humide.



**Fig.II.4:** Classification du climat en Algérie selon l'agence national du territoire (2004) in Benazza-Bouregba (2007).

### II.5.2. Précipitation

La wilaya de Jijel est considérée parmi les régions les plus pluvieuses en Algérie, elle reçoit chaque année des apports d'eaux de pluie en moyen de 1060 mm/an (moyenne annuelle de 8 stations pluviométrique, période 2004-2012). La carte pluviométrique réalisée par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques(ANRH) (figure II.4), montre des précipitations élevées sur les monts (1400 mm/an) et moyenne (de 900 à 1200 mm/an) dans les plaines.



**Figure II.5:** Carte pluviométrique de la Wilaya de Jijel(ANRH, 1996)

## II.4. Contexte hydrologique

### II.4.1. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la wilaya est très dense (figure II.7). Il est présenté principalement par l'oued El-Kébir, l'oued DjenDjen et l'oued Nil. L'écoulement des eaux de surface se fait des montagnes vers la mer, indiquant une perte importante en eaux. Pour récupérer ces eaux, plusieurs barrages sont installés sur le parcours des oueds (figure II.7), tel que les barages de Tebellout, Erraguene, Boussiaba, Kissir et El-Agrem.

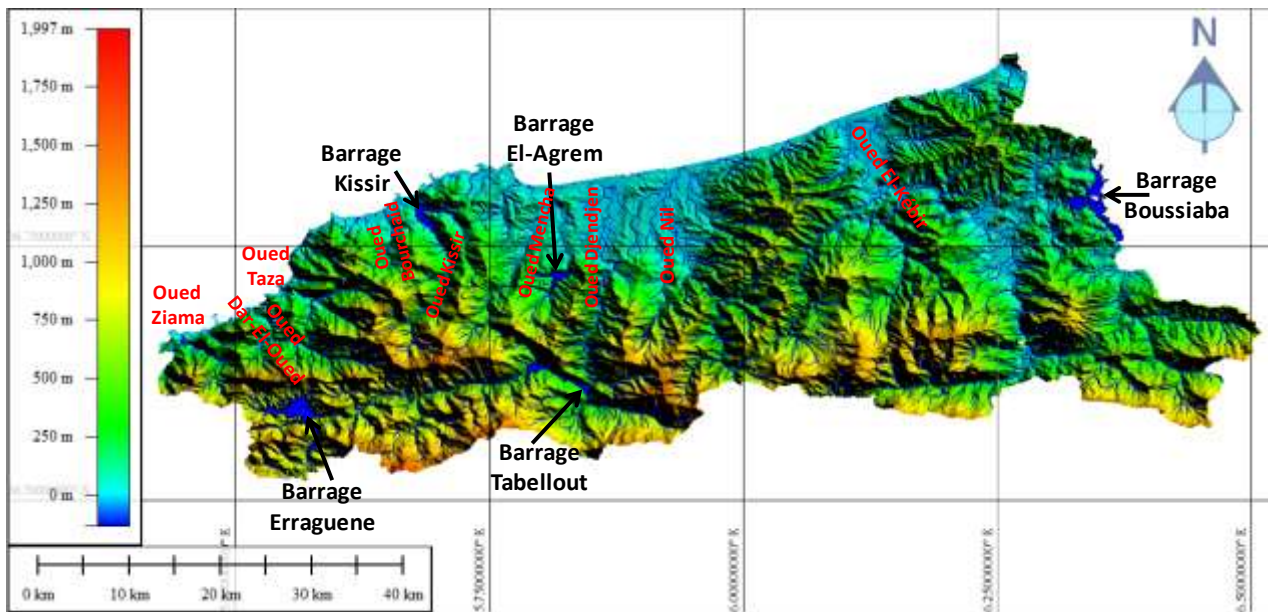
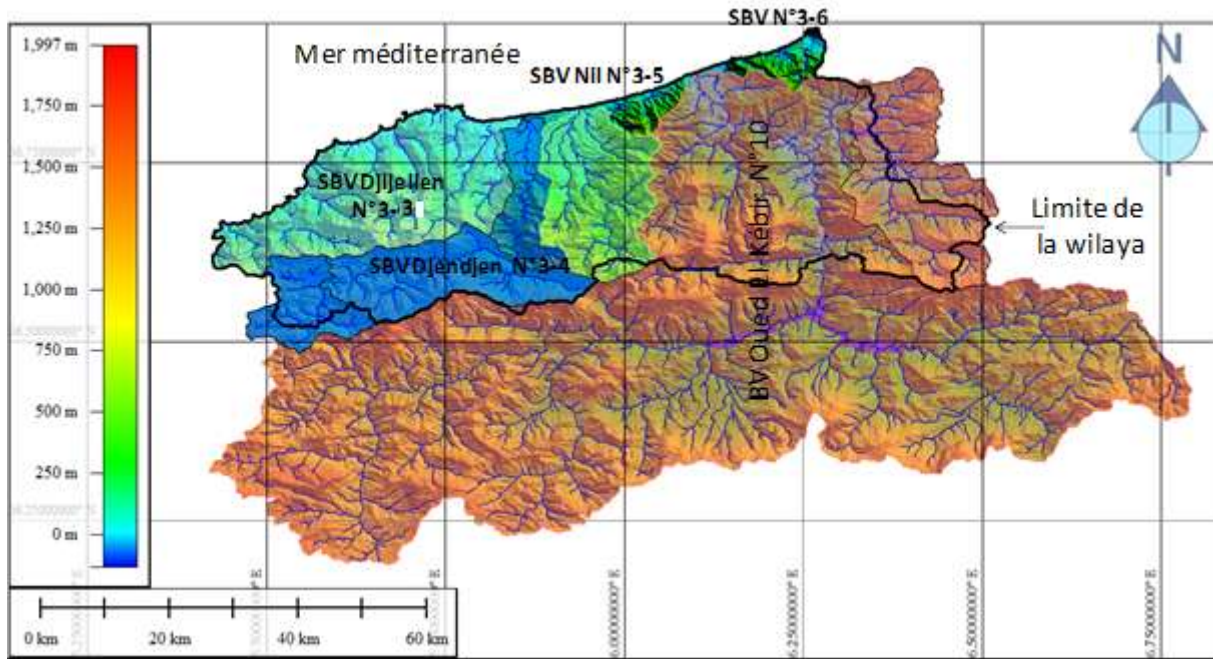


Figure II.6: Réseau hydrographique et barrages de la wilaya de Jijel

### II.4.1. Bassins versants

La wilaya de Jijel est subdivisée en deux grands bassins versant (figure II.8) : le bassin versant d'oued El-KébirRhumel (B.V n°10) et Le bassin versant des bassinscôtiers Constantinois (B.V. n°03). Ce dernier est présenté dans la wilaya de Jijel par quatre sous bassins versants : le sous bassin versant Djijelien (S.B.V. n°03-03) ; le sous bassin versant d'oued Djendjen(S.B.V. n°03-04) ; le sous bassin versant d'oued Nil (S.B.V. n° 03-05) et le sous bassin versant d'oued Zhor (S.B.V. n°03-06).



**Figure II.7 :** Bassins versants de la wilaya de Jijel (Debieche et al. 2015)

Cette figure montre que la wilaya de Jijel contient trois BV principaux :

- Le BV d'oued El-Kébir, il est le plus important avec une superficie de 4558 Km<sup>2</sup>, dont 2156 Km<sup>2</sup> (47%) à l'extérieur de la wilaya. Cela est bénéfique pour la wilaya de Jijel car il apporte d'autres apports d'eau de l'extérieur de la wilaya.
- Le BV d'oued DjenDjen, il s'étend sur une superficie de 521 km<sup>2</sup>, dont 51.4 km<sup>2</sup> (10%) à l'extérieur de la wilaya.
- Le BV d'oued Nil, il a une superficie de 301 km<sup>2</sup>, dont 17.6 Km<sup>2</sup> (5.8 %) à l'extérieur de la wilaya. Il est le seul bassin versant qui est resté sur son état naturel et sans l'influence des barrages.



## **II.7. Conclusion**

La wilaya de Jijel est caractérisée par sa limite avec la mer méditerranéenne qui la donne un climat méditerranéen et des forte précipitations (en moyen 1200 mm/an). Les faibles précipitations (900 à 1000 mm/an) sont observées dans les plaines (partie nord) et les fortes précipitations dans les montagnes (1400 à 1600 mm/an) (partie sud). La topographie de la wilaya a donné un réseau hydrographique dense à forte pente dans les montagnes où les formations géologiques sont solides (métamorphique et éruptive) et à faible pente dans les plaine ou les formations géologiques sont meuble (alluvions).

De point de vue hydrologique, la wilaya de Jijel contient principalement 3 bassins versants (Kébir, Nil et Djendjen).

## **CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION**

### III.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude géostatistique des données climatologique de la wilaya de Jijel et d'un paramètre hydrogéologique (profondeur du substratum) dans la plaine d'oued Nil. On commencera par une présentation des stations pluviométriques de la wilaya de Jijel, puis on étudiera leur statistique descriptive, leur répartition spatiale en utilisant le krigeage et leur répartition temporelle dans la station d'Achouat (Taher) et on terminera par l'étude et la modélisation de la répartition spatiale du substratum de la plaine alluviale de l'oued Nil.

### III.2. Analyse et modélisation statistique et géostatistique des données climatologique

#### III.2.1. Stations pluviométriques de la wilaya de Jijel

##### a) Situation géographique des stations pluviométriques

Les précipitations dans la wilaya de Jijel sont mesurées par neuf stations pluviométriques (figure III.1) : Trois (Jijel, Achouat et El-Agrem) dans les plaines et les collines de Jijel-Taher, quatre (El-Milia, Sattara, OuledMessaouda et Sidi Maarrouf) dans le bassin versant d'oued El-Kébir et deux (Col de Fedoules et Erraguene) dans les monts du bassin versant (BV) d'oued DjenDjen.

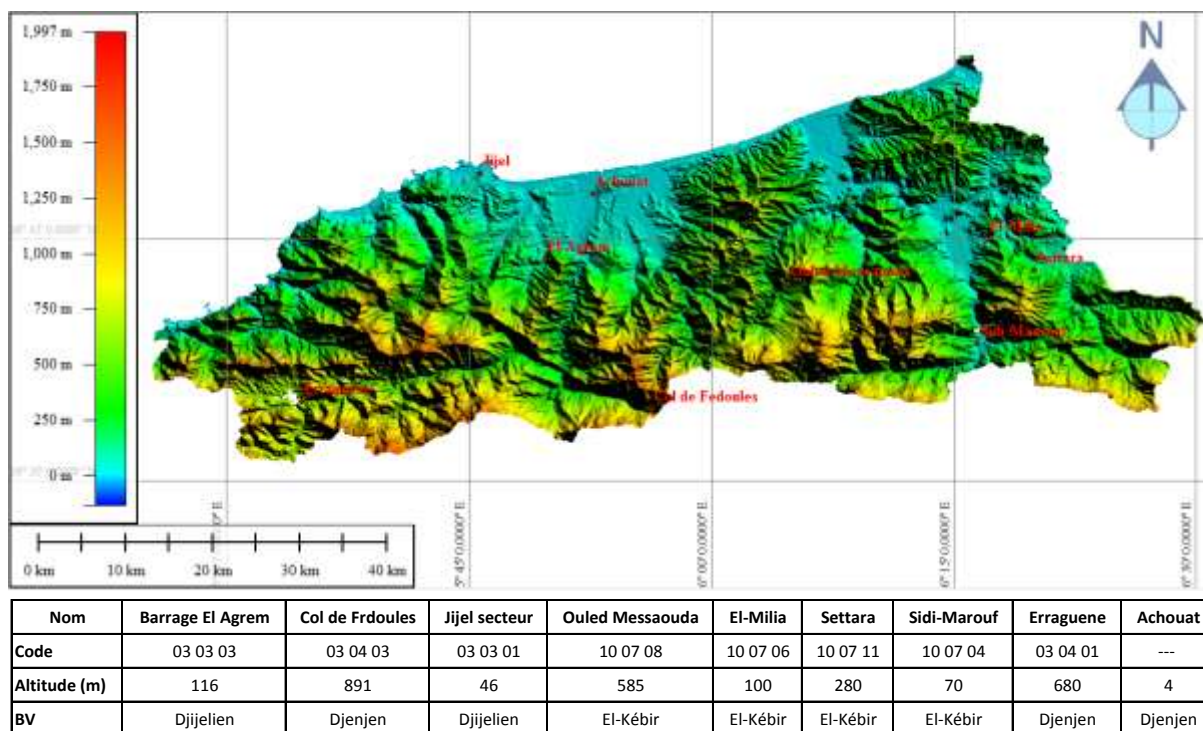


Figure III.1 : Situation des stations pluviométriques de la wilaya de Jijel

Les coordonnées géographiques des neuf stations sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.1. Coordonnées des stations pluviométriques**

Station	D-D 90°	
	X (km)	Y (km)
El-Agrem	5.829	36.728
Jijel	5.762	36.817
Erraguene	5.577	36.582
Fedoules	5.935	36.574
OuledMassaouda	6.080	36.703
Achouat	5.878	36.796
El Milia	6.285	36.749
Settara	6.334	36.717
Sidi Maarouf	6.274	36.641

### b) Période du suivi, type et paramètres mesurés des stations pluviométriques

Les données de précipitations des neuf stations de la wilaya de Jijel s'étendent de 2002 à 2014 (tableau III.2) et couvrent des périodes supérieures ou égale à 11 ans. La station météorologique d'Achouat est la plus complète avec un suivi continue de 27 ans et de sept paramètres climatiques. Les stations d'Erraguene et de Fedouse ont présenté une discontinuité de leur suivi, respectivement de 7 ans et 1 an.

**Tableau III.2 : Durée, type et paramètres mesurés des stations pluviométriques et météorologique**

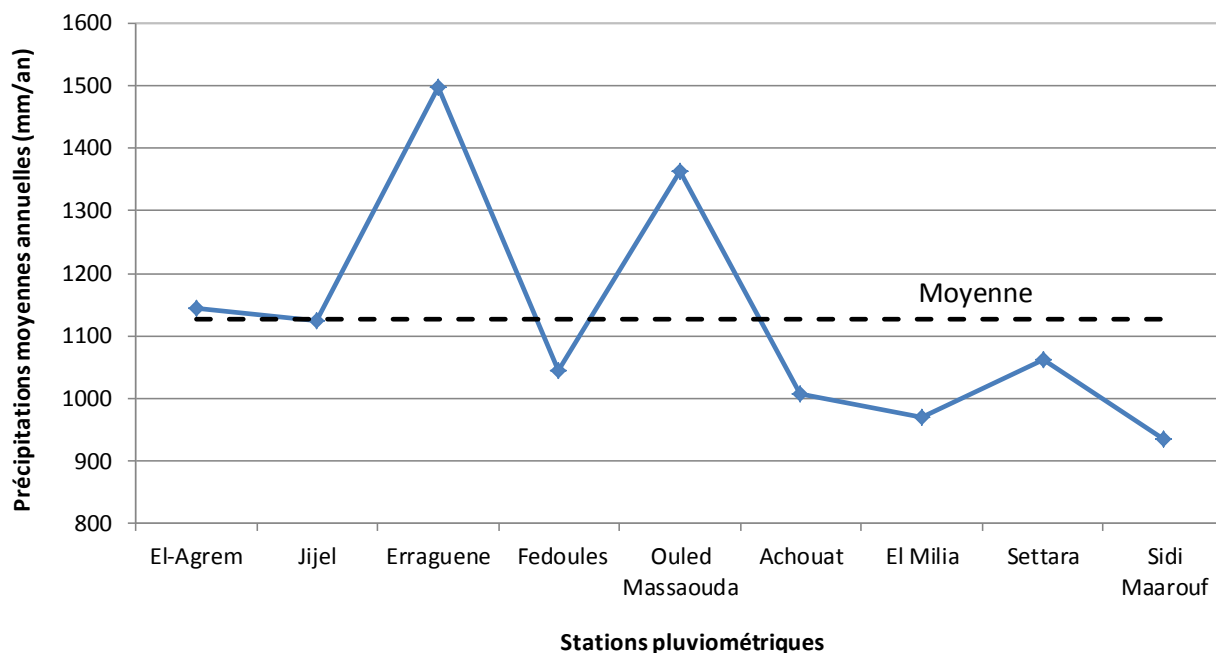
Station	El-Agrem	Jijel	Erraguene	Fedoules	Ouled Massaouda	Achouat	El Milia	Settara	Sidi Maarouf
Période de mesure	2004 – 2014	2004 - 2014	2003 – 2005 2011 – 2014	2004 – 2012 2013 – 2014	2002 – 2012	1991 - 2008	2002 – 2012	2004 – 2014	2002 - 2012
Durée (ans)	11	11	14	11	11	27	11	11	11
Type de station	Pluviométrique					Météorologique	Pluviométrique		
Paramètres mesurés	Précipitation					Précipitation Température Humidité relative Evaporation nombre de jours de tempête nombre de jours de grêle nombre de jour de brouillard	Précipitation		

## III.2.2. Etude des précipitations de la wilaya de Jijel

### III.2.2.1. Evolution des moyennes annuelles des précipitations

La figure III.2 montre que les précipitations dans toutes les stations pluviométriques

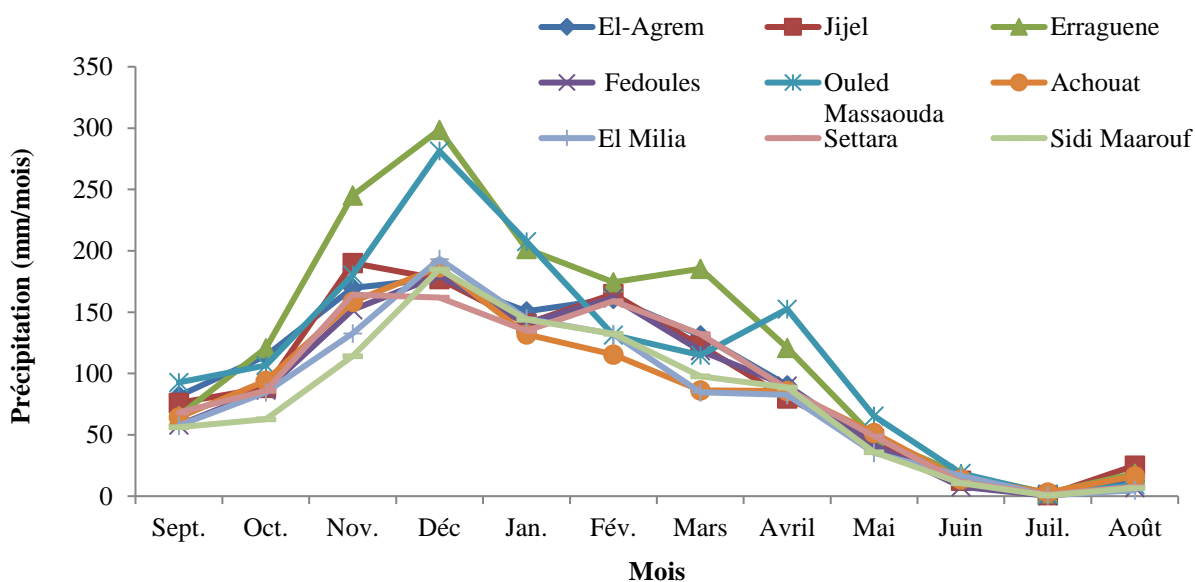
varient entre 900 et 1500 mm. Les précipitations les plus abondances sont observées dans les stations d'Erraguene(1500 mm) et d'OuledMassouada (1360 mm). Les précipitations moyennes annuelles sont de 1127 mm/an.



**Figure III.2.** Evolution des précipitations moyennes annuelles

### III.2.2.2. Evolution des moyennes mensuelles des précipitations

L'évolution des précipitations mensuelles des neuf stations sont présentées dans la figure III.3.



**Figure III.3:** Précipitations moyennes mensuelles des neuf stations de la wilaya de Jijel

Cette figure montre que :

- Le mois de décembre est le plus pluvieux dans les stations d'El-Agrem, Erraguene, Col de Fadoules, Ouled Messouada, Achouat, El-Milia et Sidi –Marouf respectivement 177.51 mm, 298 .6 mm, 179.8 mm, 281.3 mm, 186.69 mm, 193.28 mm, 184.95 mm et le mois de novembre pour les stations de Jijel et de Settera respectivement 190.03 mm et 164 .2 mm.
- Le mois de juillet est le plus sec de l'année pour tous les stations (El-Agrem , Jijel , Erraguene , Fadoules , OuledMessouada , Achouat , El-Milia , Settera , Sidi –Marouf) avec des précipitation inférieures à 4 mm et respectivement : 1.15mm , 0.81mm , 2.6 mm, 0.3 mm, 1.8 mm, 3.11 mm, 0.64 mm, 1.25 mm et 0,55mm.

Cette figure montre que les stations d'Erraguene et d'Ouled Massaouda présentent des précipitations plus élevées aux autres stations durant presque toute la période pluvieuse de novembre à avril.

### III.2.2.3. Analyse statistique des précipitations

Cette analyse a pour objectifs d'étudier les relations possibles entre les stations pluviométriques et les précipitations mensuelles. On commencera par la matrice de corrélation et on terminera par l'analyse en composantes principales (ACP)

#### a) Matrice des corrélations linéaires

Les résultats obtenus de la matrice des corrélations sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.3 : Matrice de corrélation**

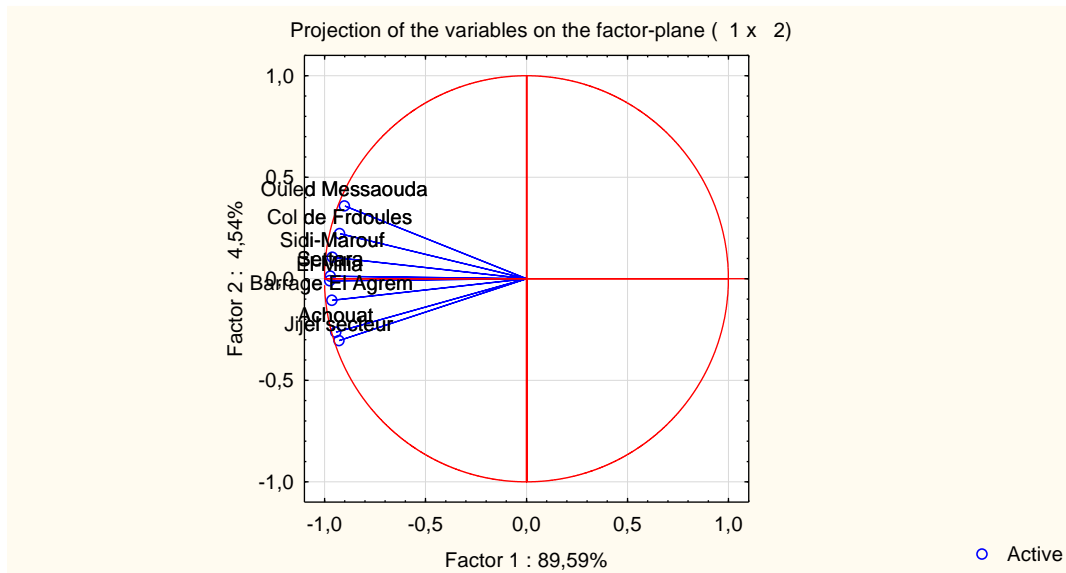
	Barrage El Agrem	Col de Frdoules	Jijel secteur	Ouled Messaouda	El-Milia	Settara	Sidi-Marouf	Achouat
Barrage El Agrem	1,00							
Col de Frdoules	0,87	1,00						
Jijel secteur	<b>0,91</b>	0,80	1,00					
Ouled Messaouda	0,85	0,88	0,74	1,00				
El-Milia	<b>0,92</b>	0,88	<b>0,90</b>	0,86	1,00			
Settara	<b>0,90</b>	0,87	0,88	0,86	<b>0,97</b>	1,00		
Sidi-Marouf	<b>0,90</b>	0,88	0,85	0,88	<b>0,94</b>	<b>0,96</b>	1,00	
Achouat	<b>0,95</b>	0,82	<b>0,94</b>	0,77	<b>0,91</b>	<b>0,90</b>	0,86	1,00

Ce tableau montre que l'ensemble des coefficients de corrélations sont bons (supérieurs à 0.8) à l'exception des relations Ouled Messaouda – Jijel secteur et Achout – Ouled Messaouda. Les stations qui présentent plus de bonnes relations est la station du Barrage d'El-Agrem avec

cinq relations avec d'autres stations et avec un coefficient de corrélation supérieur à 0,9, puis la station d'Achouat avec 4 relations.

### b) Analyse en composants principales

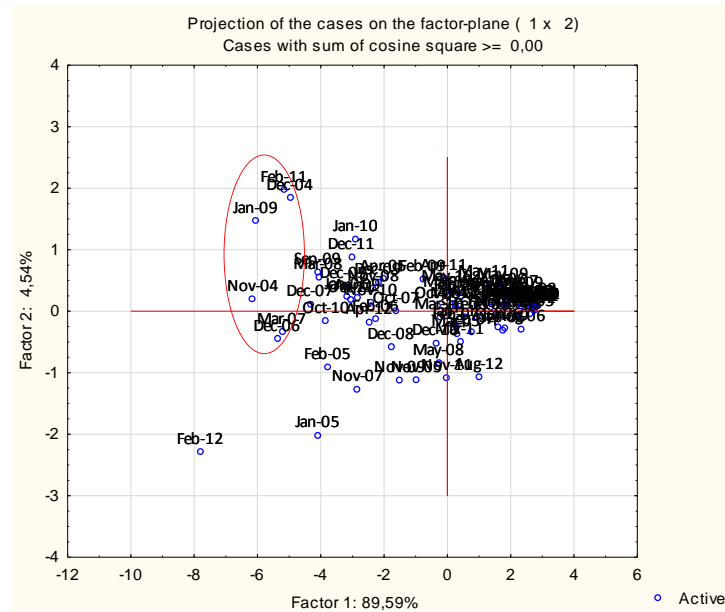
Cette analyse a pour objectif de trouver les relations possibles entre les variables, les individus et entre eux. Les résultats obtenus de cette analyse sont présentés dans les deux figures ci-dessous.



**Fig.III.4.** Projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2

La projection des variables sur le plan F1-F2 qui représente 94% de la variance et indique que l'ensemble des stations présentent des bonnes relations et proportionnelles. Les stations les plus corrélées sont présentées par trois groupes : le groupe 1 est composé des stations de Settara, El-Milia et Barrage El-Agrem et Sidi-Marouf, le groupe 2 composé des stations d'Achouat et de Secteur Jijel et le groupe 3 composé des stations d'Ouled Messaouda et Col de Fedoules.

La projection des individus sur les deux axes (figure III.5) montre que les relations des stations sont marquées principalement par les mois pluvieux tel qu'octobre, novembre, décembre, janvier et février.



**Fig.III.5.** Répartitions des individus dans le plan formé par l'axe F1 et F2

#### III.2.2.4. Modélisation spatiale des précipitations par krigéage

La répartition spatiale des pluies sur l'ensemble de la wilaya a été réalisée par l'ANRH en 1996. Depuis aucune carte n'a été réalisée d'où l'intérêt de cette étude.

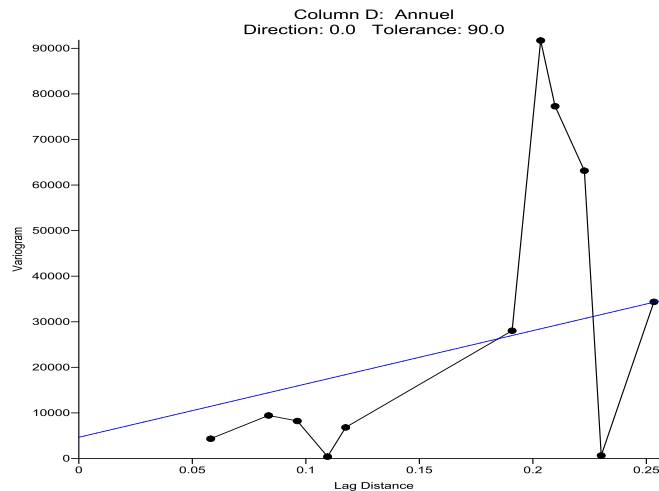
##### III.2.2.4.1. Modélisation par krigéage

Pour modéliser la variation spatiale des précipitations, nous avons utilisé le krigéage. Deux approches, ont été utilisées :

###### a) Modélisation en fonction des coordonnées Lambert

Dans cette modélisation, nous avons krigé l'évolution des précipitations moyennes annuelles en fonction des coordonnées Lambert (X (km), Y (km)) des neuf stations pluviométriques. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :





**Figure III.6.** Variogramme de la variation des précipitations en fonction des coordonnées Lambert

Ce variogramme montre qu’il n’y a pas un modèle représentatif des points pour modéliser la variation des précipitations, l’utilisation d’un modèle tel que le linéaire peut présenter des erreurs importantes. Ce résultat indique que les coordonnées Lambert ne sont pas les paramètres dominants pour contrôler la variabilité spatiale des précipitations.

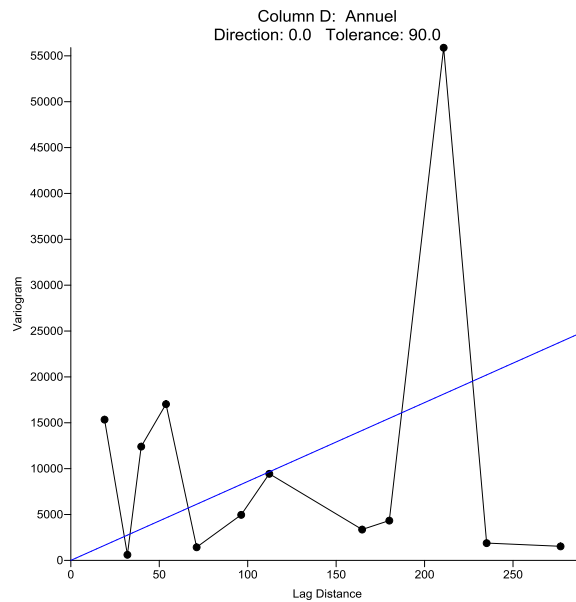
**b) Modélisation en fonction de la distance et de l’altitude**

La deuxième tentative de modélisation concerne la modélisation de la variation des précipitations en fonction de la distance qui sépare la station pluviométrique de la mer et de son altitude (Distance, Altitude). Les données concernées par cette modélisation sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.4. Données des stations pluviométriques**

Station	Distance par rapport à la mer (km)	Altitude (m)	Précipitations moyennes annuelles (mm)
El-Agrem	7.97	116	1114.80
Jijel	0.5	46	1124.19
Erraguene	12.53	680	1498.60
Fedoules	26.83	891	1043.52
Ouled Massaouda	17.05	585	1362.77
Achouat	1.01	4	1007.371
El Milia	18.34	100	969.57
Settara	23.15	280	1062.76
Sidi Maarouf	29.44	70	934.45

Les résultats du krigeage sont présentés dans la figure ci-dessous :



**Figure III.7.** Variogramme de la variation des précipitations en fonction de la distance par rapport à la mer et l'altitude

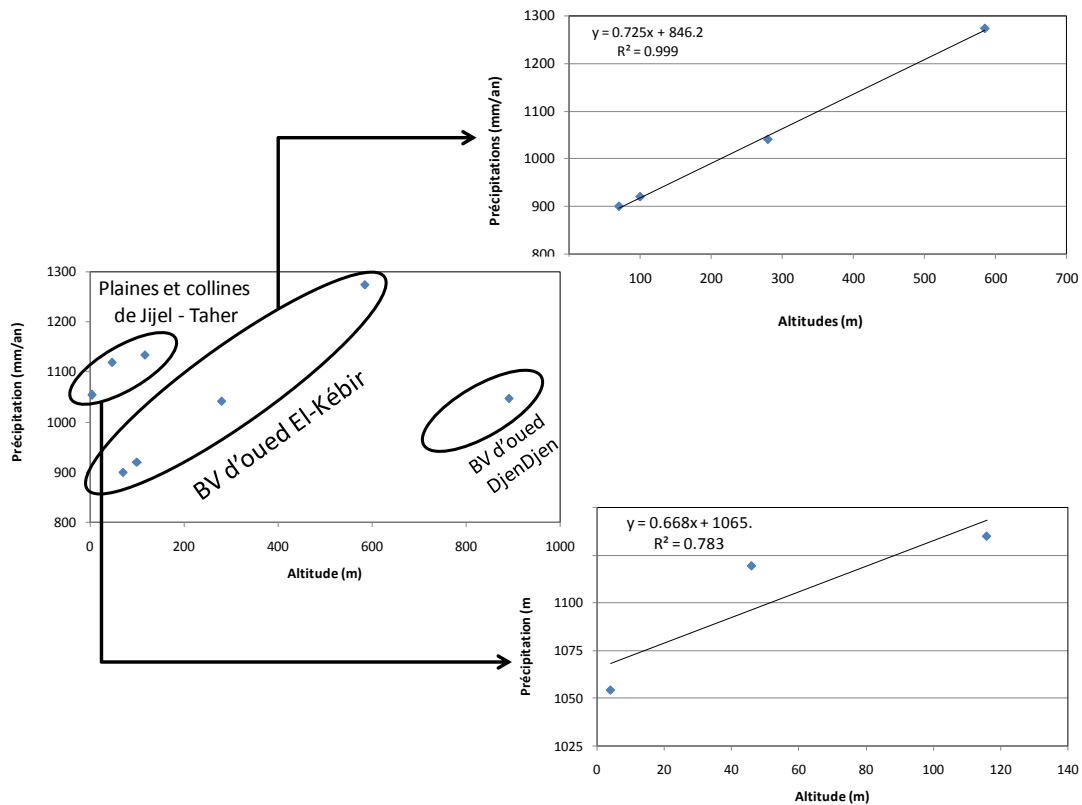
L'observation de la répartition des points sur le variogramme montre qu'il n'y a aucun modèle qui se dégage. Cela indique que la distance et l'altitude ne contribuent pas d'une manière efficace dans la répartition spatiale des pluies.

### c) Conclusion sur la modélisation par krigeage

Ces deux tentatives de modélisation montrent que la modélisation de la variation spatiale des précipitations dans la wilaya de Jijel n'a pas aboutie par ces quatre paramètres (X, Y, Distance et Altitude). Cela peut être reviens au faible nombre (neuf) des stations utilisées dans la modélisation et à la possibilité de l'existence d'autre paramètres qui influencent sur la variation spatiale des pluies.

#### III.2.2.4.2. Modélisation spatiale par corrélation linéaire

Parmi les quatre paramètres étudiés précédemment dans le krigéage, le paramètre qui semble le plus influe des précipitations est l'altitude. Dans ce paragraphe, nous allons présenter la relation directe entre les précipitations et l'altitude (debieche et al. 2015). La représentation graphique de cette relation est présentée dans la figure III.12.



**Figure III.8 :** Relation précipitation – altitude des stations pluviométriques de la wilaya de Jijel (Debieche et al. 2015)

Cette figure montre des relations linéaires croissantes des précipitations en fonction de l'altitude pour chaque bassin versant. Le BV d'oued El-Kébir est le plus représentatif par un alignement de quatre points par une relation linéaire (précipitation =  $0.725 * \text{altitude} - 846.2$ ) et un bon coefficient de détermination ( $R^2 = 0.999$ ). Pour les plaines et collines de Jijel-Taher qui se trouvent dans le nord et limitent la mer méditerranéenne, on trouve une relation linéaire entre trois stations, mais avec un coefficient de détermination moyen ( $R^2 = 0.783$ ). Par contre pour la station de Col de Fedelous (BV Djenjen), on trouve une faible précipitation (1048 mm/an) malgré l'altitude élevée (891 m) de la station, cela revient au fait que la station se trouve derrière une montagne qui empêche l'arrivée des pluies du côté mer.

### III.2.3. Etude des paramètres climatologiques de la station d'Achouat–Taher

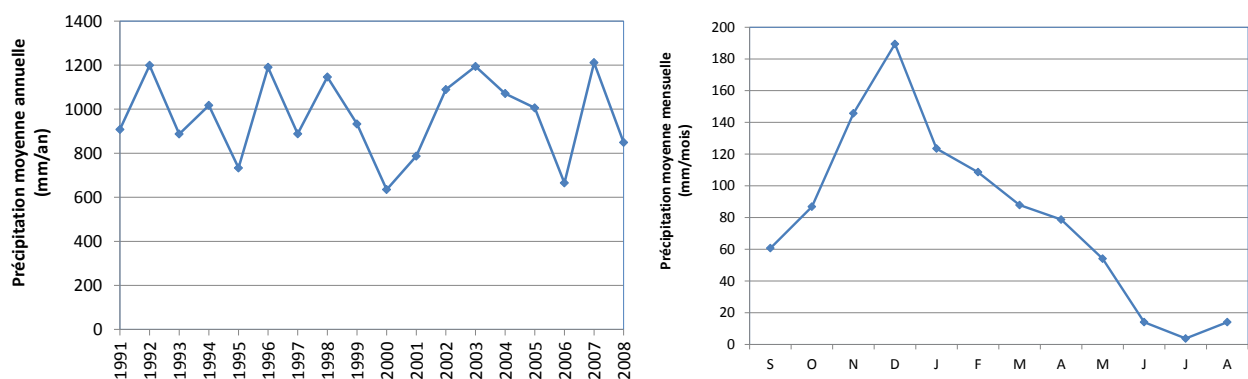
La station météorologique d'Achouat est la seule dans la wilaya de Jijel qui mesure 7 paramètres climatologiques, pour cela cette étude sera concentrée sur la station d'Achouat. On commencera par l'évolution temporelle de ces paramètres puis on réalisera l'analyse statistique descriptive et on terminera par l'ACP.

#### III.2.3.1. Evolution temporelle des paramètres climatiques

Cette étude illustre l'évolution temporelle de chaque paramètre.

##### a) Précipitation

La répartition des moyennes annuelles et mensuelles des précipitations est présentée dans la figure ci-dessous :



**Figure III.9:** Précipitation moyenne annuelle et mensuelle à la station Taher-Achouat (1991-2008)

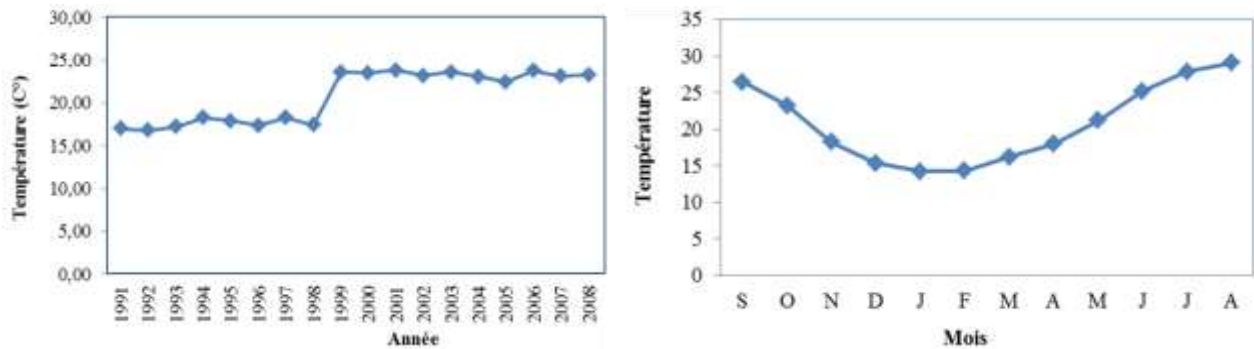
Cette figure montre que les précipitations varient entre 600 mm et 1200 mm. Les années les plus arrosées sont 1992, 1996, 2003 et 2007 avec une précipitation d'environ 1200 mm et les années les plus sèches sont 2000 et 2006 avec une précipitation inférieure à 650 mm.

L'évolution des précipitations moyenne mensuelle montre que les mois les plus pluvieux sont novembre, décembre et janvier avec des précipitations supérieures à 120 mm et les mois les plus secs sont juin, juillet et août avec une précipitation inférieure à 20 mm.

##### b) Température

La température est le facteur qui contrôle le bilan hydrologique, elle consiste avec les précipitations élément majeur qui régit le climat d'une région.

La représentation graphique de l'évolution de la température est présentée dans la figure ci-dessous :



**Figure III.10.** Température moyenne annuelle et mensuelle à la station Taher-Achouat (1991-2008)

Cette figure montre que la variation des températures moyenne annuelles pour la période 1991-2008 marque une augmentation brusque en 1999 d'environ 6°C !

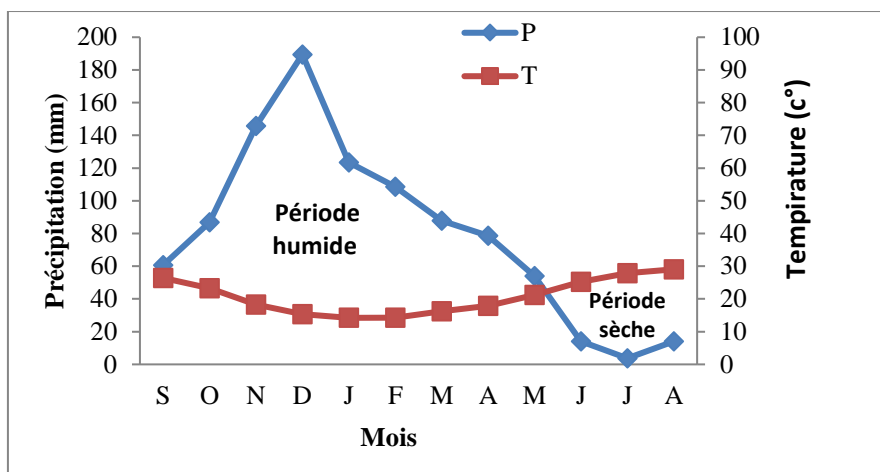
L'année la plus froide 1999 avec une moyenne de température 17.03 C°, et la plus chaude est celle de 2006-2007 avec une moyenne de température 23.78 C° .

Les variations mensuelles montrent que les mois les plus chauds sont observés pendant l'été (Juillet et Août) avec des températures de 27.87 et 29.05, par contre les valeurs les plus basses ont été observée pendant la période hivernale (janvier et février) avec des valeurs de 14.22°C à 14.27°C.

### c) Diagramme Ombro-Thermique

Le diagramme Ombro-Thermique est un type particulier de diagramme climatique représentant les variations mensuelles sur une année des températures et des précipitations selon des graduations standardisées : une graduation de l'échelle des précipitations correspond à deux graduations de l'échelle des températures ( $P = 2T$ ).

D'après Gaussen et Bagnouls (1969), un mois sec est celui où le total moyen des précipitations en mm est inférieure ou égale au double de la température moyenne du même mois exprimé en c°:  $P \leq 2TC^\circ$ .

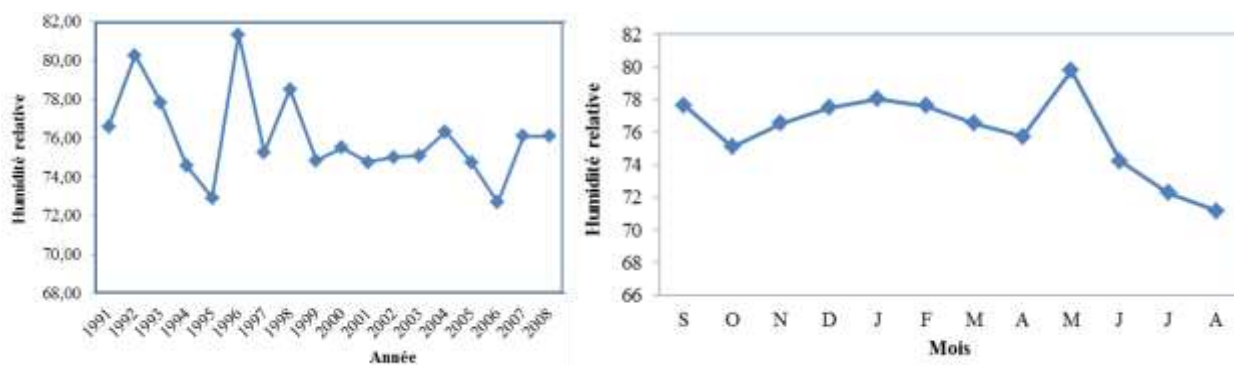


**Figure III.11.** Diagramme Omro-thermique de la station Taher-Achouat (1991-2008)

Cette figure montre que l'année hydrologique est caractérisée par deux saisons, la première est humide et s'étend de la fin du mois de septembre jusqu' à mai et la deuxième est sèche et s'étends de mai jusqu'au mois d'août.

**d) L'Humidité relative**

Elle joue un rôle très important dans le cycle hydrologique, car non seulement elle indique l'état plus ou moins proche de la condensation de l'atmosphère mais également elle contrôle le taux d'évaporation du sol et de la couverture (Bellour&Boudouda, 2010).



**Figure III.12.** Les valeurs moyennes annuelles et mensuelles de l'humidité relative des stations Taher-Achouat (1991-2008)

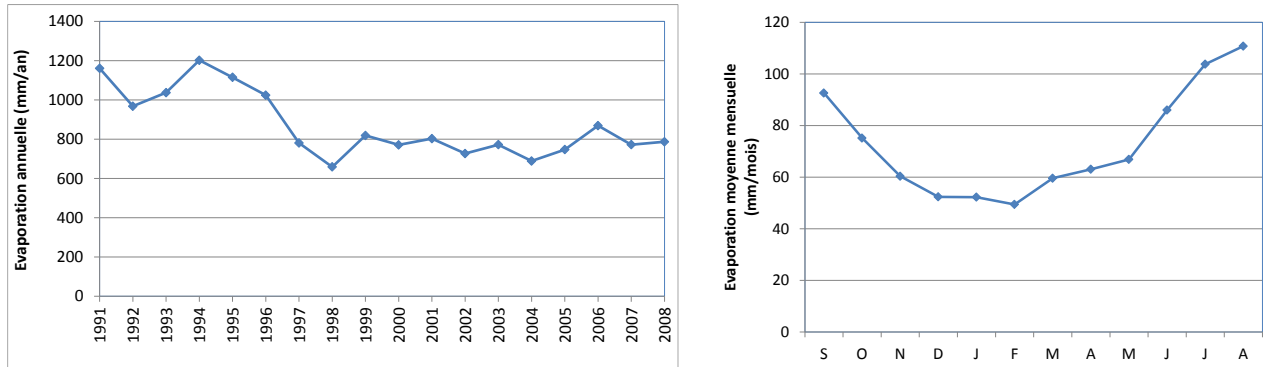
Cette figure montre que l'humidité relative est en moyen de 75 % avec les valeurs les plus élevées en 1996 avec une valeur d'environ 82% et les années les plus secs sont celle de l'année 1995 et 2006 avec une valeur d'environ 73%.

Les valeurs moyennes mensuelles d'humidité relative sont en général élevées toute l'année, le minimum (71.17) s'observé aux mois Août et le maximum (79.78) aux mois de mai.

### e) l'Évaporation

C'est le phénomène physique de la transformation de l'eau en vapeur d'eau, il intervient à toutes les phases du cycle de l'eau.

L'estimation de l'évaporation dont il est question ci-dessous se base sur des mesures effectuées à la station de Taher-Achouat durant la période de 1991-2008 (figure ci-dessous).



**Figure III.13.** Les valeurs moyennes annuelles et moyenne mensuelle de l'évaporation de la station Taher-Achouat (1991-2008)

Selon la figure, le maximum d'évaporation a été enregistré durant les années 1991 et 1994 avec une évaporation d'environ 1200 mm et l'année la plus humide est celle de 1998 et 2004. Pour l'évolution mensuelle montre que le moi d'Août (110.78mm) est plus évaporé et le mois de février (49.44 mm) est le moins évaporé.

#### III.2.3.2. Analyse statistique descriptive

Ce paragraphe sera consacré à la statistique élémentaire et les relations possibles entre les paramètres climatologiques.

##### a) Statistique élémentaire

Les résultats de l'analyse élémentaire sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.5.** Statistique élémentaire des paramètres climatiques

	Précipitation	Température	Humidité relative	Evaporation	Tempête	Grêle	Brouillard
Valid N	216	216	214	216	216	216	216
% Valid obs.	100	100	99	100	100	100	100
Mean	80,59	20,77	75,64	72,70	2,64	0,09	0,32
Median	61,50	20,03	76,00	69,50	2,00	0,00	0,00
Mode	1,00	13,50	77,00	Multiple	1,00	0,00	0,00
Frequency	9	5	36	8	43	206	176
Sum	17408,00	4487,35	16187,00	15703,00	570,00	20,00	69,00
Minimum	0,00	10,00	65,00	28,00	0,00	0,00	0,00
Maximum	407,00	33,90	88,00	179,00	8,00	4,00	3,00
Lower	15,00	15,90	73,00	51,00	1,00	0,00	0,00
Upper	122,00	25,35	78,00	89,00	4,00	0,00	0,00
Percentile	3,00	12,80	70,00	43,00	0,00	0,00	0,00
Percentile	178,00	29,70	81,00	107,00	5,00	0,00	1,00
Variance	6248,48	37,32	15,68	737,02	4,32	0,21	0,58
Std.Dev.	79,05	6,11	3,96	27,15	2,08	0,46	0,76
Coef.Var.	98,08	29,40	5,23	37,34	78,72	500,36	238,65

Ce tableau montre que cette étude est basée sur 216 individus, ce qui donne une crédibilité à ses résultats. Le paramètre le plus variable est les précipitations avec un écart type de 97%, puis l'évaporation (27%), puis la température (6%).

#### b) Matrice de corrélation

La corrélation entre les différents paramètres climatologiques est présentée dans le tableau ci-dessous :

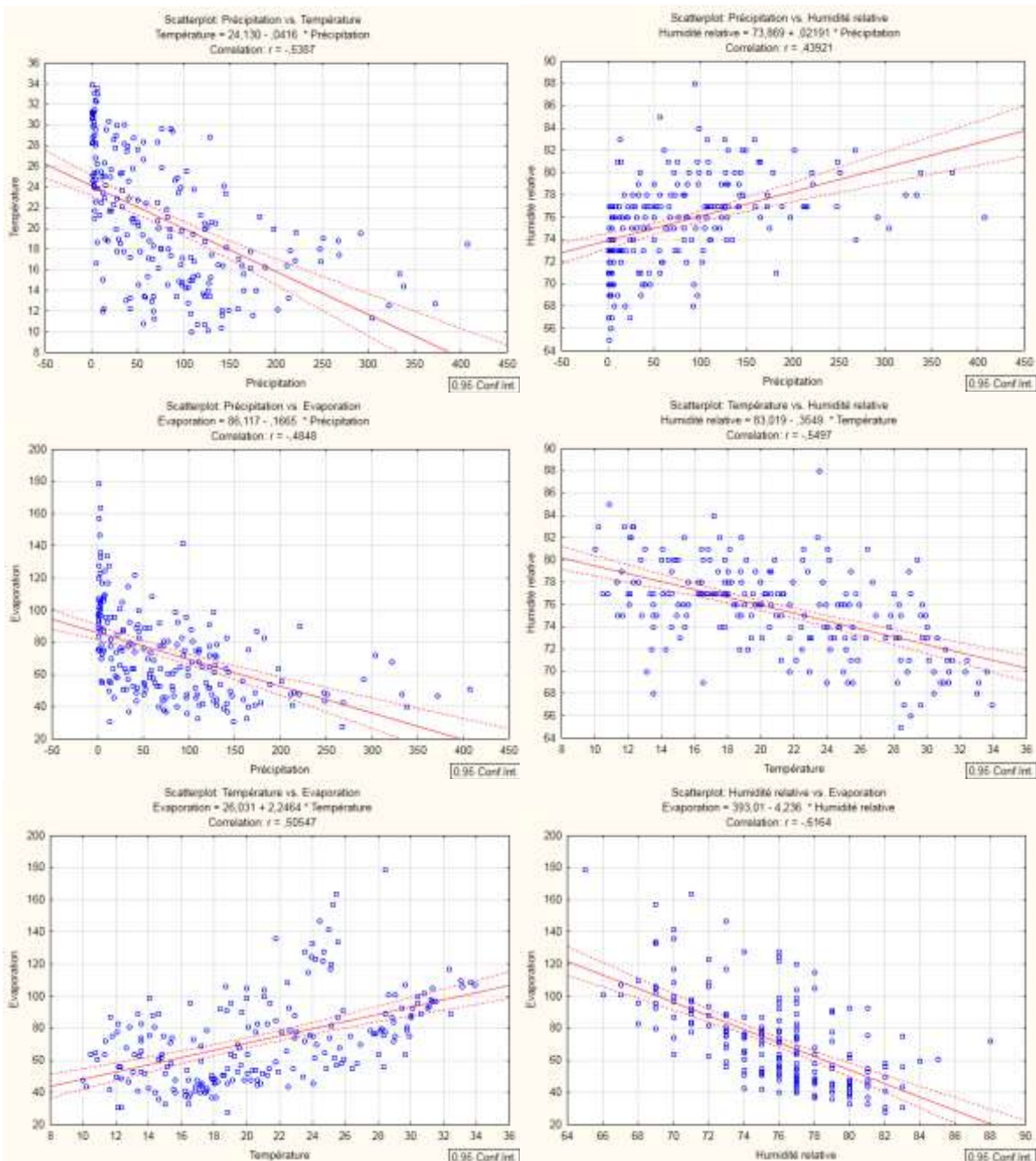
**Tableau III.6.** Matrice de corrélation des paramètres climatiques

	Précipitation	Température	Humidité relative	Evaporation	Tempête	Grêle	Brouillard
Précipitation	1,00						
Température	<b>-0,54</b>	1,00					
Humidité relative	<b>0,44</b>	<b>-0,55</b>	1,00				
Evaporation	<b>-0,48</b>	<b>0,51</b>	<b>-0,62</b>	1,00			
Tempête	-0,08	0,27	-0,12	-0,03	1,00		
Grêle	0,04	0,07	-0,04	-0,03	0,09	1,00	
Brouillard	0,25	-0,17	0,27	-0,14	-0,01	-0,02	1,00



Ce tableau montre une relation proportionnelle entre les précipitations et l'humidité relative (0.44) et entre la température et l'évaporation (0.51) et une relation inverse entre les précipitations, la température (-0.54) et l'évaporation (-0.48) et entre la température et l'humidité relative (-0.55) et entre l'humidité relative et l'évaporation (-0.48).

La représentation graphique de ces relations est présentée dans la figure ci-dessous :



**Figure III.14.** Représentation graphique des relations significatives entre les paramètres climatologiques

### III.2.3.3. Analyse en composantes principales

Cette analyse a pour intérêt de trouver les relations possibles entre les paramètres climatologiques et les évolutions mensuelles.

#### a) Poids des axes

La figure ci-dessous montre que l'axe 1 présente 38.63% de la variance et l'axe 2 présente 16.25%. Cela indique une variance de 54.88%.

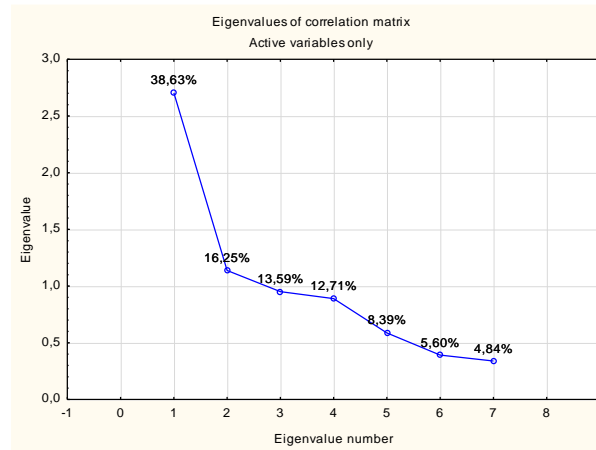


Figure III.15. Projection de la variance des facteurs

#### b) Projection des variables

La projection des variables sur le plan F1-F2 est présentée dans la figure ci-dessous :

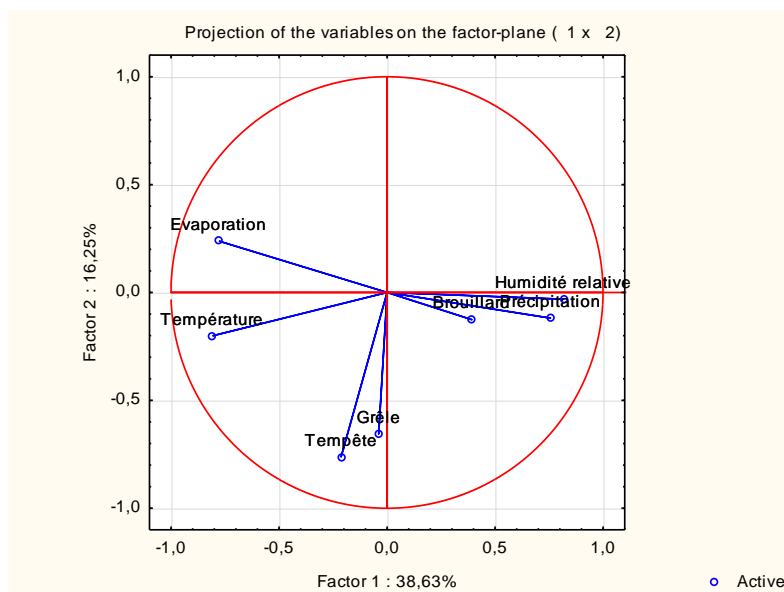
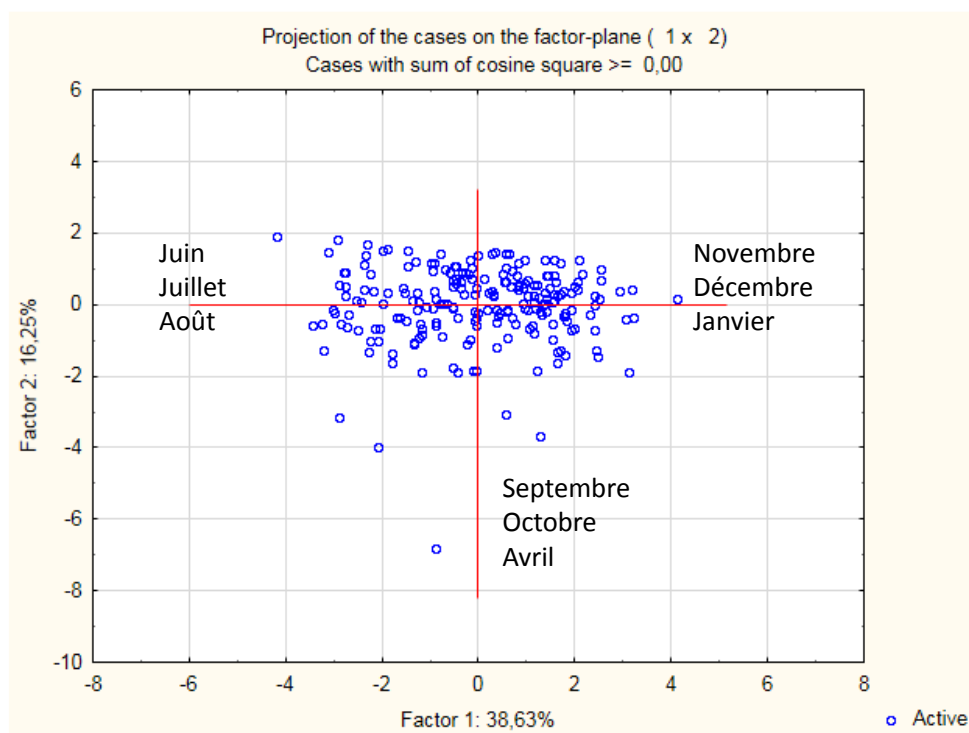


Figure III.16. Projection des variables (paramètres climatiques) sur le plan F1-F2

Cette figure montre l'existence de trois groupes à relations proportionnelles, le premier concerne l'humidité relative, les précipitations et le brouillard, le deuxième concerne l'évaporation et la température et le troisième concerne la grêle et la tempête.

### c) Projection des individus

La projection des individus dans la figure ci-dessous montre que le groupe 1 est présenté principalement par les mois de novembre, décembre et janvier, et le deuxième groupe est présenté par les mois de juin, juillet et août et en fin le groupe 3 est présenté par les mois de septembre, octobre et avril.



**Figure III.17.** Projection des individus (mois) sur le plan F1-F2

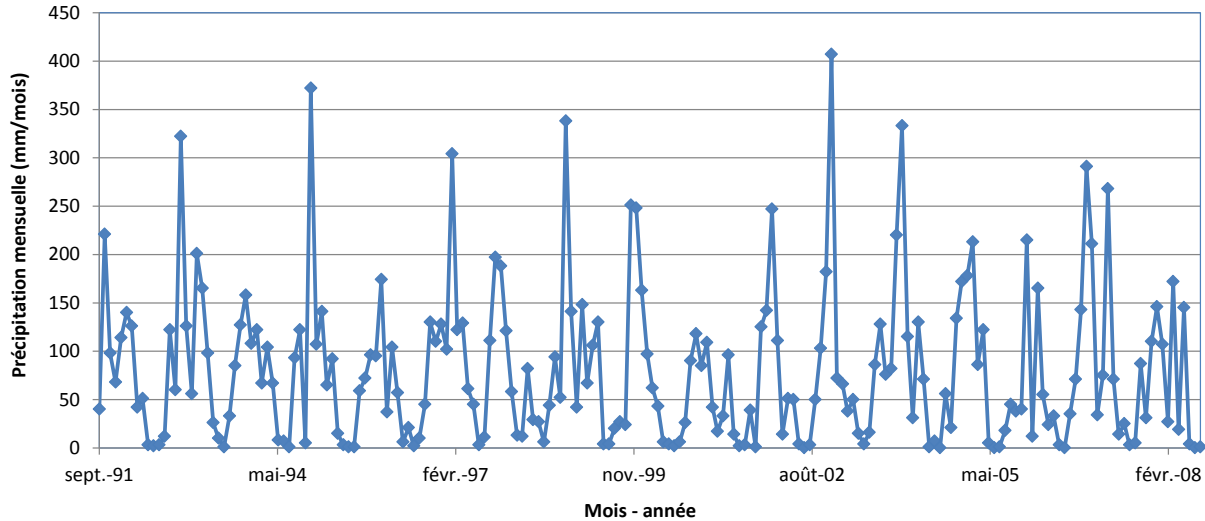
### III.2.3.4. Modélisation de l'évolution temporelle des précipitations

#### III.2.3.4.1. Introduction

Pour modéliser la répartition spatiale des présentations, nous commencerons par une présentation temporelle des précipitations, puis une modélisation et en fin l'établissement de la carte de la variation temporelle.

**a) Variation temporelle des précipitations**

Pour cette étude, nous avons choisi la station météorologique de Taher qui dispose d'une série de données mensuelles de pluie de 17 années hydrologiques (1991/1992 - 2007/2008). La représentation graphique de ces précipitations est présentée dans le graphe ci-dessous :

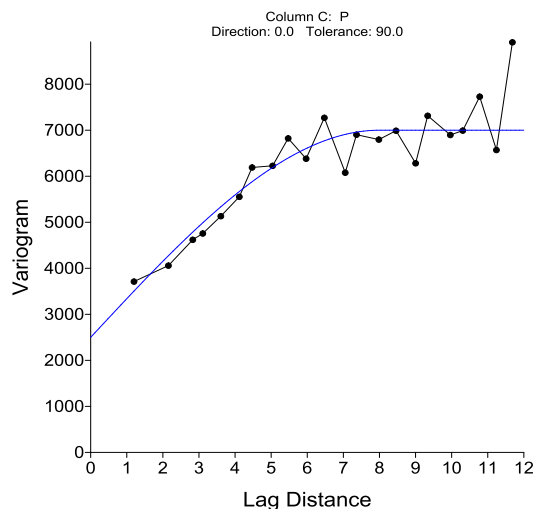


**Figure III.18.** Variation mensuelle des précipitations (station d'achouat)

Cette figure montre une cyclicité dans la variation des précipitations de douze mois.

**b) Modélisation du semi-variogramme**

Pour modéliser la variation mensuelle des précipitations, nous avons utilisé un pas maximum de modélisation de 12 mois. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :

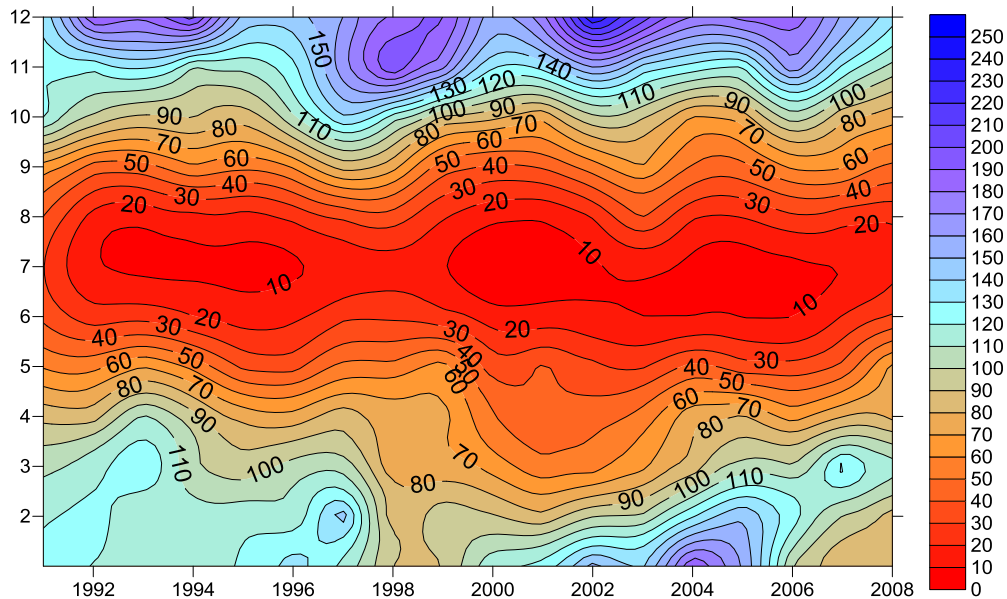


**Figure III.19.** Modélisation du semi-variogramme

Cette figure montre que les points s'arrangent selon un modèle sphérique (portée de 8 et un palier de 7000) et un effet de pépité de 2500.

### c) Krigeage

Le krigeage de l'évolution mensuelle des précipitations est présentée dans la figure ci-dessous :



**Figure III.20.** Carte de Krigeage de l'évolution des précipitations temporelles

Cette figure montre que les mois les plus arrosés sont novembre, décembre, janvier et février et les mois les plus secs sont juin, juillet et août. Les années hydrologiques les plus secs sont les années 1998/1999 et 2007/2008 et l'année la plus arrosée est celle de 1997/1998.

### III.2.3.5. Conclusion

Cette étude climatologique de la région de Jijel montre que la modélisation spatiale des précipitations n'a pas pu être réalisée avec neuf stations pluviométriques, nous recommandons d'utiliser plus de stations pour trouver un bon modèle du semi-variogramme et de modéliser aussi par bassin versant.

La modélisation temporelle a bien fonctionné, cela revient au fait du nombre important des données (216) et à la modélisation d'une seule station pluviométrique.

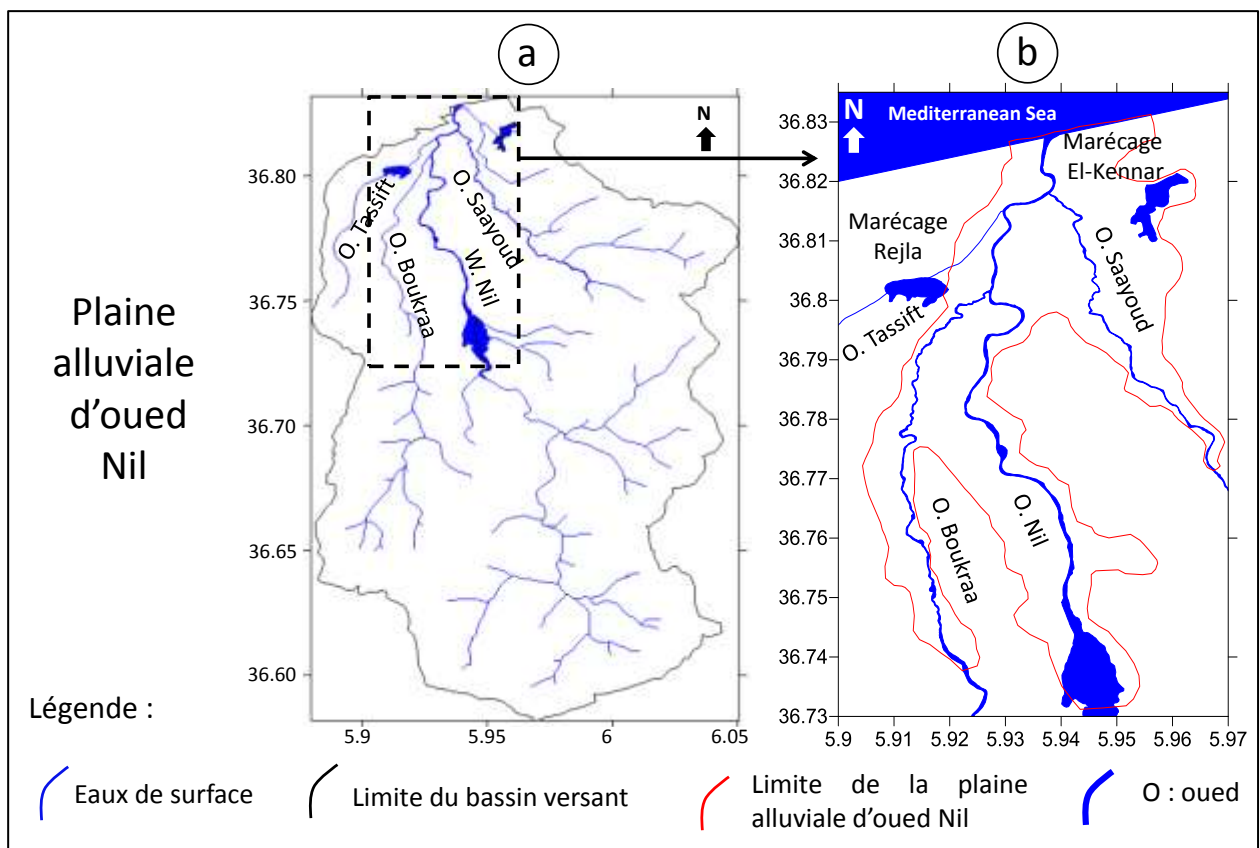
### III.3. Analyse et modélisation géostatistique des données hydrogéologiques

#### III.3.1. Introduction

Vu l'indisponibilité des données hydrogéologique dans notre base de données, nous avons concentrée cette étude sur la plaine alluviale d'oued Nil, où nous étudierons la répartition spatiale du substratum de la nappe alluviale.

#### III.3.2. Situation de la plaine alluviale d'oued Nil

La plaine alluviale d'oued Nil se situe dans la partie aval de son bassin versant (figure III.21). Elle est traversée par l'oued Nil et ses trois affluents (Saayoud, Boukraa et Tassift) et elle couvre une superficie de 50 Km<sup>2</sup>.

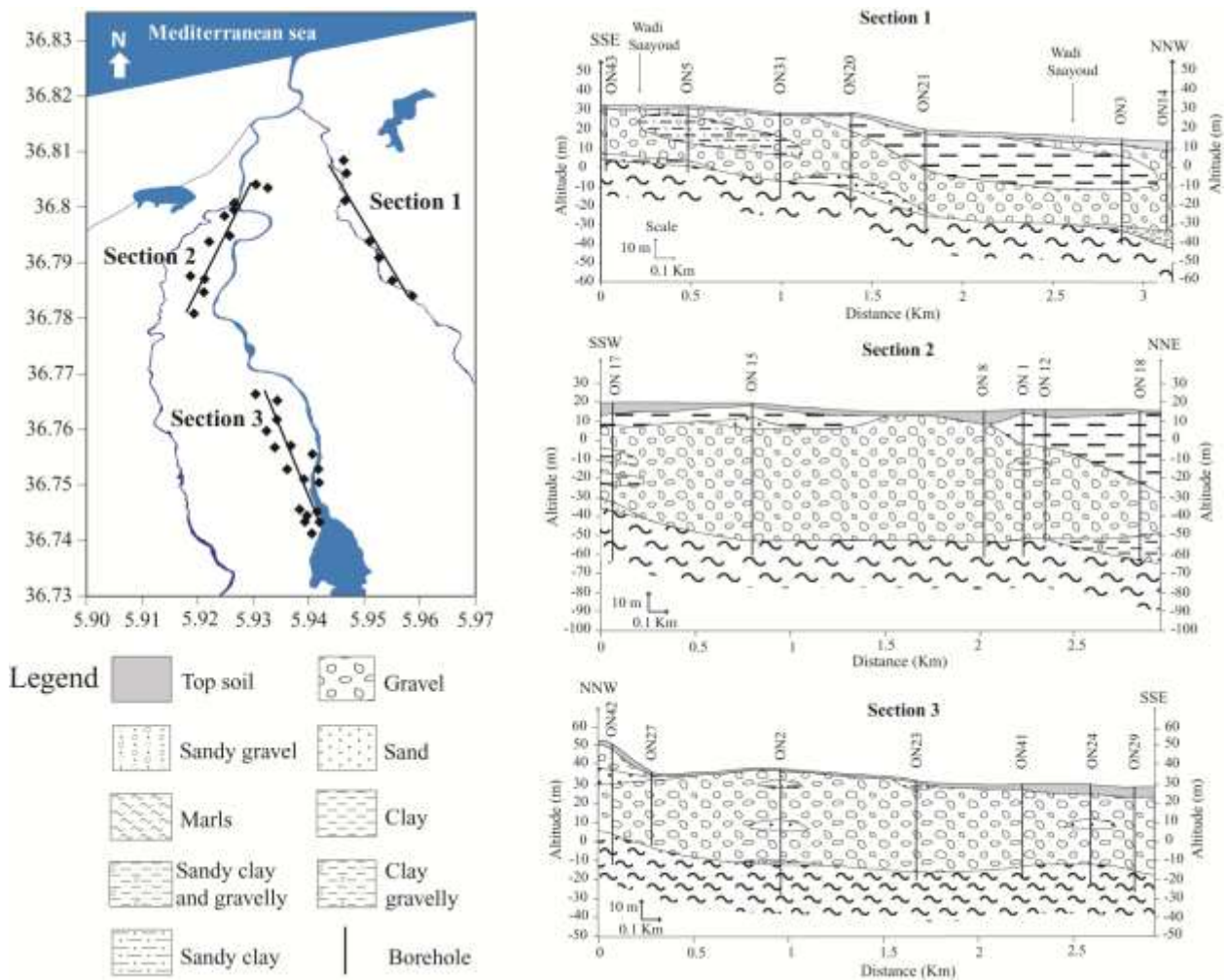


**Figure III.21.** Situation de la plaine alluviale d'oued Nil (Mahdid et al. 20022)

#### III.3.3. Evolution du substratum de la nappe à partir des log-stratigraphiques

Environ 43 forages d'eau ont été implanté dans la plaine alluviale d'oued Nil pour répondre aux besoins d'eau (potable et irrigation). Mais seulement 29 log stratigraphiques ont été obtenu de la Direction des Ressources en Eau (DRE) de la wilaya de Jijel. La réalisation des coupes géologiques en utilisant les log stratigraphiques (figure III.22) montre que la nappe

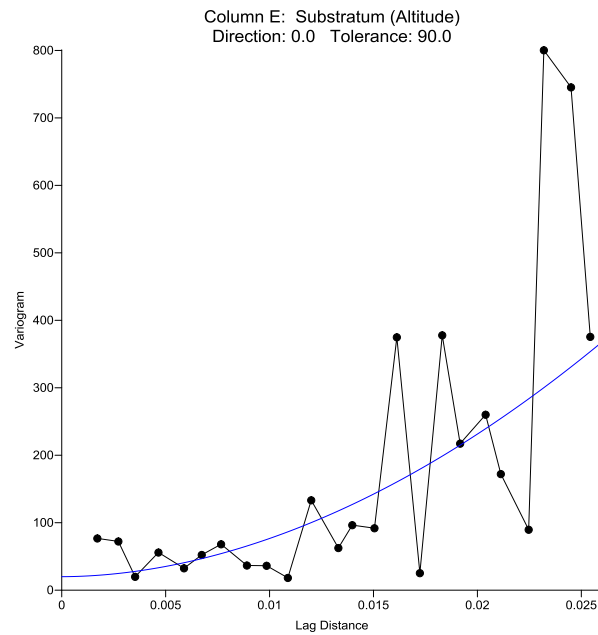
principale est celle du gravier et se repose sur un substratum marneux. Elle est superficielle en amont est profonde en aval et elle contient des lentilles argileuses.



**Figure III.22.** Coupes géologiques dans la plaine alluviale d’oued Nil à partir des log stratigraphiques (Mahdid et al. 20022)

### III.3.4. Modélisation du semi-variogramme

Afin de déterminer la répartition spatiale du substratum, nous avons utilisé le krigéage. Pour atteindre cet objectif, nous avons commencé par la modélisation du semi-variogramme de la variation de l’altitude du substratum des 29 forages. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure III.23.



**Figure III.23.** Modélisation du semi-variogramme du toit substratum

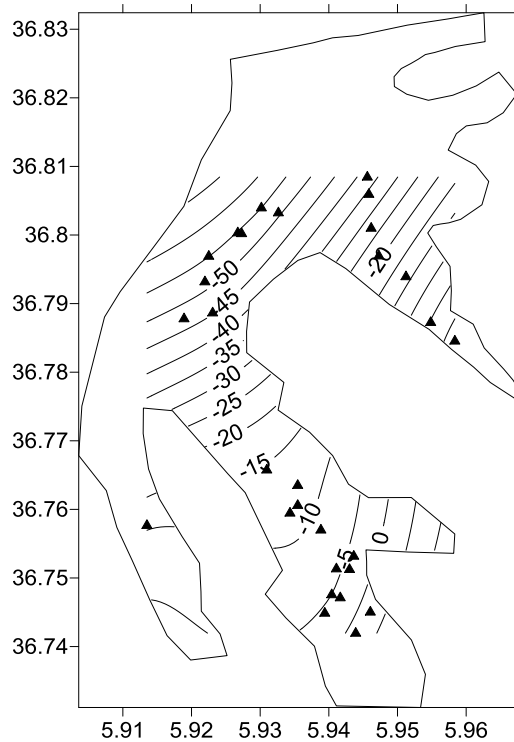
Cette figure montre un modèle en puissance avec effet de pépité. Ses caractéristiques sont :

- Effet de pépité : Erreur variance 20 et micro variance 0
- Modèle en puissance : Palier 300, portée 0.04, puissance : 1.9, rapport d'anisotropie 1.8, angle d'anisotropie 62.63.

### III.3.5. Krigeage de la répartition spatiale du substratum

Le krigeage de la carte de la répartition spatiale du substratum en utilisant le modèle du semi-variogramme, nous a permis d'obtenir la carte ci-dessous :





**Figure III.24.** Répartition spatiale du toit substratum en utilisant le krigeage

Cette carte nous a permis de connaître l'extension du substratum entre et hors les forages à travers l'interpolation et l'extrapolation.

#### III.4. Conclusion

Cette modélisation géostatistique nous a permis de montrer l'efficacité du krigeage dans la détermination de la répartition spatiale des variables hydrogéologiques telle que l'altitude du substratum.

Cette technique de modélisation est d'actualité et elle montre de plus en plus son efficacité dans le domaine des géosciences. Elle est très recommandée dans le domaine d'hydrogéologie.

# CONCLUSION GÉNÉRAL ET RECOMMANDATIONS



La wilaya de Jijel est caractérisée par une situation stratégique marquée par son littoral qui donne à la région un climat méditerranéen avec des apports d'eau sous forme de pluies, et son contexte topographique qui favorise des précipitations élevées dans les montagnes et leur drainage vers les zones côtières à travers les bassins versants.

La modélisation géostatistique de la variation temporelle des précipitations par le krigeage a montré son efficacité dans la modélisation, vu le nombre important des données (246). Le modèle obtenu est un modèle combiné entre l'effet de pépité et le modèle sphérique.

Pour la modélisation spatiale des précipitations, nous n'avons pas pu obtenir un modèle représentatif des points expérimentaux et cela revient en grande partie au faible nombre des données (9 stations). Nous recommandons pour les futures modélisations d'utiliser plus de stations pluviométriques.

La modélisation du toit du substratum par krigeage a montré aussi son efficacité avec 29 points d'observation (forage) avec un modèle combiné (effet de pépité et modèle en puissance).

Ces résultats nous ont permis de conclure que la modélisation géostatistique (krigeage) est efficace seulement lorsqu'on dispose suffisamment de données. Les géostatisticiens recommandent un nombre minimum de 30.



## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

### [A]

**Abdeddaim. H.(2018).**Contribution à l'étude de l'influence de la structure du réseau hydrographique sur le risque hydrologique« cas des bassins de l'est de l'algerien».Thèse de Doctorat En Sciences Hydrauliques, Université Mohamed Khider – Biskra.

**ANRH 1996** Agence Nationale des Ressources hydroaulique

**Armstrong. M et Carignan . J.(1997).** Géostatistique linéaire, Application au domaine minier. Les presses de l'école de Mines – Paris.

### [B]

**Belkebir. Y. (2015).**Approche géostatistique de l'impact des changements climatiques sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines (cas de la Mitidja). Mémoire de Master en Hydraulique, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique – Arbaoui Abdellah –.

**Benamor. Z et Fassi. S.(2017).** Etude et modélisation du fonctionnement hydrologique du bassin versant d'oued Kissir (Jijel, NE algérien). Mémoire Master, Option : Eau et Environnement. Département des Sciences de la Terre et de l'Univers Université Mohamed Seddik Benyahia -Jijel.

**Benazza et Bouregb .(2007).** Inventaire et identification des basidiomycetes de le foret de M'Sila (Oran). Thèse de doctorat en Buitechnologie. Université d'Oran.

### [C]

**Chekroun A. (2017/2018).** Statistiques descriptives et exercices. Université Abou BekrBelkaid Tlemcen.

### [D]

***Direction Déménagement de la wilaya Jijel 2011***

**Debieche. T.H (2021a).** Mathématiques 2. Cours de licence 1 en géologie. Département STU, Faculté SNV, Université Mohammed SeddikB en yahia– Jijel.

<http://elearning.univ-jijel.dz/course/view.php?id=1228>

**Debieche. T.H. (2021b).** Géostatistiques. Cours de licence 3 en géologie. Département STU, Faculté SNV, Université Mohammed SeddikBenyahia– Jijel.

<http://elearning.univ-jijel.dz/course/view.php?id=6399>

**Debieche. T.H. (2021c).** Techniques avancées de traitement de données et géostatistique. Cours de Master 2 en hydrogéologie. Département STU, Faculté SNV, Université Mohammed SeddikBenyahia– Jijel.

<http://elearning.univ-jijel.dz/course/view.php?id=2807>

**Debieche. T.H. Bendjazia. L, Benmoubarek. N, Mayeche .B 2015** Potentialité et qualité des ressources en eaux dans la région de Jijel (NE Algérie). IVème Colloque international (eau et climat) : regard croisés Nord-Sud. Défis de l'eau et stratégies d'adaptation autour du Bassin Méditerranéen, 24-25 Novembre 2015. Université Les Frères Mentouri de Constantine P. 35.

**De Murray R. Spiegel (1996).** Statistique – cours et problèmes, série Schaum, 2<sup>ème</sup> édition. Edition France Mac Graw Hill, 432 p.

**Drouiche. A, Zahi. F, Debieche.T.H. Lekoui .A, Mahdid .S (2022).**Assessment of surface water quality: a case of Jijel region, North-EastAlgeria

**ArabianJournal** of Geosciences 15:252.

<https://doi.org/10.1007/s12517-022-09458-9>

[F]

**Ferrache. R. et Leghouchi. S.(2022).** Caractérisation de l'écoulement des oueds temporaires de la wilaya de Jijel (NE Algérie) en utilisant les images satellitaires. Mémoire de Master Hydrogéologie, Dpt. STU, Faculté SNV, Univ. Mohamed Seddik Ben yahia – Jijel. 48 p.

[L]

**Leham . A. et Taleb. Z. (2014).** Etude géologique et géophysique et géotechnique de POS n°03 et 04 de région de tassift (Taher) -Willaya de Jijel. Mémoire de fin d'études, Ingénieur d'état en géologie, Option : Géologie de l'ingénieur. Université Mohamed Seddik Ben yahia – Jijel. 183 p.

[M]

**Mahdid\_Souhi\_ C., Debieche.T.H. Drouiche. A, Pistre\_Séverin .(2022).**Robustness of DRASTIC Method for Groundwater Vulnerability. Case of Wadi Nil Aquifer in Jijel, NE Algeria. Indonesian Journal on Geoscience Vol. 9 No. 2 August 2022: 229-246

**Matheron. G. (1962).** Traité de géostatistique appliquée, tome I. In E. Technip (ed.).Mém. Bur. Rech. Géo. Min. 14. Paris.333 p.

**Mebarki.A. (2005).** Hydrologie des bassins de l'est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'état. Université Mentouri- Constantine.360 p.

**Mimoune .M et Bourkoua. A .(2016).** Etude statistique des données hydrodynamique et hydro chimique de la plaine alluviale de l'oud Nil (wilaya de Jijel). Mémoire Master Eau et Environnement, Département STU, Université Mohamed Seddik Ben yahia – Jijel.

[V]

**Vila JM. (1978).** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse de Doctorat. Univ. P. M. Curie (Paris

**Site web**

Stéphane Jaubert : Analyse en Composantes Principales (ACP) et applications avec R. Consultée le 22/08/2022.

<https://fr.linkedin.com/pulse/analyse-en-composantes-principales-et-applications-avec-jaubert>

Géostatistique, Wikipédia. Consultée le 22/08/2022.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ostatistique>



## **ANNEXES**



**Annexe 1 : Données climatologiques (Station d'Achouat - Taher)**

Précipitation														
Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total	Moy
1991	40	221	98	68	114	140	126	42	51	3	2	3	908	75,67
1992	12	122	60	322	126	56	201	165	98	26	10	1	1199	99,92
1993	33	85	127	158	108	122	67	104	67	8	7	1	887	73,92
1994	93	122	5	372	107	141	65	92	15	3	1	1	1017	84,75
1995	59	72	96	95	174	37	104	57	6	21	2	10	733	61,08
1996	45	130	110	128	102	304	122	129	61	45	3	11	1190	99,17
1997	111	197	188	121	58	13	12	82	29	27	6	44	888	74,00
1998	94	52	338	141	42	148	67	106	130	4	4	20	1146	95,50
1999	27	24	251	248	163	97	62	43	6	4	2	6	933	77,75
2000	26	90	118	85	109	42	17	33	96	14	2	3	635	52,92
2001	39	1	125	142	247	111	14	51	50	4	0	3	787	65,58
2002	50	103	182	407	72	66	38	50	15	4	16	86	1089	90,75
2003	128	76	82	220	333	115	31	130	71	1	7	0	1194	99,50
2004	76	35	267	159	137	83	75	97	81	56	1	4	1071	89,25
2005	56	21	134	172	178	213	86	122	5	0	1	18	1006	83,83
2006	45	38	40	215	12	165	55	24	33	3	0	35	665	55,42
2007	71	143	291	211	34	75	268	71	14	25	3	5	1211	100,92
2008	87	31	110	146	107	27	172	19	145	4	0	1	849	70,75
<b>Total</b>	<b>1092</b>	<b>1563</b>	<b>2622</b>	<b>3410</b>	<b>2223</b>	<b>1955</b>	<b>1582</b>	<b>1417</b>	<b>973</b>	<b>252</b>	<b>67</b>	<b>252</b>		
<b>Moy</b>	<b>60,67</b>	<b>86,83</b>	<b>145,67</b>	<b>189,44</b>	<b>123,50</b>	<b>108,61</b>	<b>87,89</b>	<b>78,72</b>	<b>54,06</b>	<b>14,00</b>	<b>3,72</b>	<b>14,00</b>		

**Annexe 2 : Donnée de la température (Station d'Achouat - Taher)**

la température													
Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
1991	24,6	19,65	14,8	11,3	10,75	10,45	14,05	13,3	14,6	21	24,4	25,4	<b>204,3</b>
1992	23,5	18,75	15,35	12,6	10,2	10,85	12,15	14,05	17,15	19,95	22,55	24,65	<b>201,75</b>
1993	23,7	19,95	14,75	12,25	10	10,75	12,05	14,35	18,35	21,35	23,9	25,1	<b>206,5</b>
1994	24,95	20,5	16,7	12,75	11,75	12,1	13	13,5	19	21,7	25,2	28,4	<b>219,55</b>
1995	22,45	20,05	16,5	14,9	11,65	13,1	12,8	13,5	18,7	21,7	24,15	25,5	<b>215</b>
1996	21	17,5	15,4	13,5	14,25	11,35	13,5	15,3	17,15	20,6	23,95	25,05	<b>208,55</b>
1997	23,8	20	16,3	13,7	13,4	12,3	12	14,6	19	22,9	25,5	25,8	<b>219,3</b>
1998	23,5	17,8	14,4	11,6	12,3	12,1	13,5	15	17,5	22,6	24	25	<b>209,3</b>
1999	30	28,6	19,1	16,8	16,4	14,6	18,8	20,9	26,3	28,1	30,4	33,6	<b>283,6</b>
2000	29	24,7	21,3	19,2	15	17,2	18,8	22,1	24	26,4	31,3	33,1	<b>282,1</b>
2001	28	28,9	20,2	16,4	18	16,8	23	20,3	22,8	29,6	30,6	31,5	<b>286,1</b>
2002	27,7	25,6	21,2	18,5	16,2	17,1	19,4	20,6	24,2	28,3	29,6	29,7	<b>278,1</b>
2003	28,9	25,9	21,2	16,9	15,6	15,5	18,6	20,6	22,5	31	33	33,9	<b>283,6</b>
2004	29,7	28,2	18,8	17,1	16,5	18	18	19,8	21,9	26,7	29,9	32,4	<b>277</b>
2005	28,4	25,7	20,5	16,2	14	13,3	17,4	20	24,8	28,3	30,8	30,4	<b>269,8</b>
2006	28,8	27,5	22,9	17,9	15,1	15,6	19,4	22,4	25,4	29	31,3	30,1	<b>285,4</b>
2007	28,4	24,1	19,6	16,4	17,8	18,1	17,5	20,8	25,1	27,8	30	32,3	<b>277,9</b>
2008	29,4	25,3	19,5	18,2	17,2	17,8	17,8	21,7	23,4	26,9	31,2	31,1	<b>279,5</b>
<b>Total</b>	<b>475,8</b>	<b>418,7</b>	<b>328,5</b>	<b>276,2</b>	<b>256,1</b>	<b>257</b>	<b>291,75</b>	<b>322,8</b>	<b>381,85</b>	<b>453,9</b>	<b>501,75</b>	<b>523</b>	
<b>Moy</b>	<b>26,43</b>	<b>23,26</b>	<b>18,25</b>	<b>15,34</b>	<b>14,23</b>	<b>14,28</b>	<b>16,21</b>	<b>17,93</b>	<b>21,21</b>	<b>25,22</b>	<b>27,88</b>	<b>29,06</b>	

## Annexe 3 : Donnée de l'humidité relative (Station d'Achouat - Taher)

Année	l'humidité relative												Total	Moy
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A		
1991	76	79	80	78	77	77	77	77	77	77	73	71	919	76,58
1992	76	79	82	78	83	85	82	81	84	78	81	74	963	80,25
1993	78	76	80	83	81	77	76	77	76	77	76	77	934	77,83
1994	70	79	77	80	83	77	81	68	76	70	69	65	895	74,58
1995	72	73	69	75	75	70	75	77	72	76	72	69	875	72,92
1996	114	77	74	74	72	75	76	76	119	77	69	73	976	81,33
1997	74	76	77	75	72	83	77	74	77	73	74	71	903	75,25
1998	88	77	80	79	78	82	75	76	82	75	74	76	942	78,50
1999	74	67	80	81	81	79	75	75	73	73	70	70	898	74,83
2000	77	74	77	72	80	77	78	71	81	81	69	69	906	75,50
2001	77	71	77	78	77	77	73	77	79	67	73	71	897	74,75
2002	74	73	71	76	78	77	75	76	73	76	75	76	900	75,00
2003	79	76	75	80	78	75	75	79	80	69	68	67	901	75,08
2004	73	69	82	77	80	78	79	76	78	78	75	71	916	76,33
2005	71	77	74	77	80	77	79	76	76	73	69	68	897	74,75
2006	70	73	70	77	73	76	73	74	79	66	70	71	872	72,67
2007	75	80	76	77	80	81	74	80	72	75	73	70	913	76,08
2008	80	76	77	78	77	74	78	73	82	75	71	72	913	76,08
<b>Total</b>	<b>1398</b>	<b>1352</b>	<b>1378</b>	<b>1395</b>	<b>1405</b>	<b>1397</b>	<b>1378</b>	<b>1363</b>	<b>1436</b>	<b>1336</b>	<b>1301</b>	<b>1281</b>		
<b>Moy</b>	<b>77,67</b>	<b>75,11</b>	<b>76,56</b>	<b>77,50</b>	<b>78,06</b>	<b>77,61</b>	<b>76,56</b>	<b>75,72</b>	<b>79,78</b>	<b>74,22</b>	<b>72,28</b>	<b>71,17</b>		

## Annexe 4: Donnée de l'évaporation (Station d'Achouat - Taher)

Année	l'évaporation												Moy	
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A		
1991	122	90	64	64	65	64	99	89	89	104	147	164	96,75	
1992	128	91	58	68	44	61	56	76	60	105	93	128	80,67	
1993	115	99	62	56	48	65	78	81	92	96	125	120	86,42	
1994	142	78	73	47	75	83	53	83	96	136	157	179	100,17	
1995	109	81	96	75	87	64	81	74	106	85	123	134	92,92	
1996	100	79	74	66	88	72	72	71	69	83	133	117	85,33	
1997	76	64	54	52	63	31	50	61	64	88	87	91	65,08	
1998	72	51	40	42	49	31	53	52	41	79	75	74	54,92	
1999	87	101	48	44	33	36	55	52	75	79	100	109	68,25	
2000	75	65	55	63	33	44	46	78	46	55	105	106	64,25	
2001	64	84	48	37	49	41	78	54	55	107	89	97	66,92	
2002	77	68	83	51	38	40	53	48	70	56	64	79	60,58	
2003	72	61	51	48	48	42	51	45	44	93	110	107	64,33	
2004	81	80	28	45	39	47	46	48	53	58	75	89	57,42	
2005	89	58	54	41	43	41	40	52	55	76	102	96	62,25	
2006	87	79	74	49	56	40	70	66	57	101	97	93	72,42	
2007	78	62	57	48	37	37	43	46	82	77	88	117	64,33	
2008	93	62	68	47	46	51	49	59	50	70	98	94	65,58	
<b>Total</b>	<b>1667</b>	<b>1353</b>	<b>1087</b>	<b>943</b>	<b>941</b>	<b>890</b>	<b>1073</b>	<b>1135</b>	<b>1204</b>	<b>1548</b>	<b>1868</b>	<b>1994</b>		
<b>Moy</b>	<b>92,61</b>	<b>75,17</b>	<b>60,39</b>	<b>52,39</b>	<b>52,28</b>	<b>49,44</b>	<b>59,61</b>	<b>63,06</b>	<b>66,89</b>	<b>86,00</b>	<b>103,78</b>	<b>110,78</b>		