

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf -Mila**  
**Institut des Sciences et de la Technologie**  
**Département de Génie Civil et Hydraulique**



**Projet de Fin d'Etude préparé en vue de l'obtention du diplôme**  
**deMASTER**  
**Spécialité :Hydraulique Urbaine**

**Contribution à l'amélioration de la connaissance des**  
**paramètres climatique en utilisant plusieurs sources**  
**de données**

**Réalisé par :**  
**-Khellaf dounya**  
**-gharez malak**  
**-Mecheher mouataz billah**

**Soutenu devant le jury :**

**MAA. BOUMESSENEGH AMEL**  
**MCA. BERHAIL SABRI**  
**MCA. KEBLOUTI MEHDI**

**Président**  
**Examineur**  
**Promoteur**

**Année universitaire : 2022/2023**



## DÉDICACES



*Je dédie ce modeste travail :  
À celui qui m'a appris le succès et la  
patience À mon père bien-aimé, qu'Allah  
lui fasse miséricorde.*

*À ma mère bien-aimée qui a été la raison de mon succès et de mon  
bonheur : **BOUSSIUD SAMIAA***

*À tous les membres de ma chère et grande famille, chacun en son nom  
À mes amis mes compagnons de l'intérieur et de l'extérieur de  
l'université*

*À mes sœurs que ma mère n'a pas mises au monde :  
**Gharez malak ; ben chikhe le hocine Samer ;  
Khelfatni marwa ; roumaissa gaassis***

***Khellaf dounya***



## DÉDICACES

*Je m'incline devant Dieu Tout - Puissant qui m'a  
ouvert la porte du savoir et m'a aidé à la  
Franchir.*

*Mon père "**Abdelmadjide**", qui peut être fier et trouver ici le  
résultat de longues années de sacrifices et de privations  
pour m'aider à avancer dans la vie.*

*Ma mère "**kaouacheZahia**", qui a œuvré pour ma réussite,  
de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis  
et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa  
présence dans ma vie.*

*À mes chers frère et sœur : "**Amir**", "**Hadjer**" et toutes la famille sans exception  
et Mes amis pour leurs encouragements  
permanents, et leur soutien moral.*

*À mon encadreur : "**Mehdi Keblouti**" Qui a passé la nuit avec nous*

*Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien  
permanent venu de vous.*

*Al Hamdulillah .*

**Mecheher mouataz billah**



## DÉDICACES

*Dieu soit loué qui m'a permis de terminer  
ce travail.*

*Tout d'abord, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont soutenu dans mon  
cheminement*

*académique.*

*Je dédie cet ouvrage à ceux qui m'ont appris l'alphabet de l'existence,  
mes chers parents "**gheraz.bariza**" "**salah**".*

*Je présente cette réussite aux papillons mes chères sœurs  
**chayma,bouchra,youssra** et mon soutien dans la vie mon cher frère  
**Ayoub** et sans oublier mon cher grand-père et grand- mère et à mes  
compagnons sur mon chemin "**Doonya khellaf** ", "**roumaissa gaassis**",  
" **ben chikhe le hocine samer** " , "**khelfatni marwa**".*

*A toute la promotion d'hydraulique 2023, chacun par son nom, avec qui  
nous avons partagé nos meilleurs moments.*

**Gharez malak**



## ***REMERCIEMENT***

*Nous commençons par remercier Dieu le  
Tout-Puissant de nous avoir donné le  
courage, la volonté et l'amour du savoir pour pouvoir réaliser ce modeste  
travail.*

*Nos plus vifs remerciements vont à **Dr. KEBLOUTI Mehdi** pour avoir  
accepté de nous encadrer et de nous diriger tout au long de la réalisation  
de ce projet, ainsi que pour tous ses conseils instructifs et judicieux, ainsi  
que sa disponibilité.*

*Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers les membres  
du jury : **Dr. BERHAIL Sabri**, Président du jury, pour avoir accepté de  
diriger notre soutenance, ainsi que Monsieur **Dr. BOUMESSENEGH  
AMEL**, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner ce  
modeste travail.*

*Enfin, nous souhaitons exprimer notre gratitude envers tous les  
enseignants du département d'Hydraulique et de Génie civil qui ont  
contribué à notre formation*

## Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Abréviation

Résumé

Introduction général	I
----------------------	---

### Chapitre I: Bibliographie

Introduction	2
1. Type des pluies	3
1.1 Pluie frontale	3
1.2. Pluie convective	4
1.3. Pluie orographique	4
2. les instruments de mesure de la pluie	5
2.1. mesure directe	5
2.1.1. Pluviomètre	5
2.1.2 .Pluviographe	5
2.2. mesure indirecte	6
2.2.1. Radar météorologique	6
2.2.2. Satellites météorologiques	9
3. Les données en ligne	10
3.1. L'utilisation de données en ligne dans le domaine hydrologique	11
4. Problème de manque de donnée et la faible densité des stations pluviométriques	11
5. Présentation des méthodes de spatialisation	13
5.1. Méthode stochastique	13
5.1.1. Technique de krigéage	13
5.1.2. Méthode des surfaces de tendance	15
5.1.3. Méthode déterministe	16
6. synthèses des travaux	18
Conclusion	22

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

Description de la zone d'étude	24
1. La situation géographique de la ville de Mila	24
2. Topographie de la wilaya de Mila	25
3. Géologie	26
4. Climatologie	26
5. Précipitations	27
6. Réseau pluviométrique de la ville	28

## Sommaire

---

7.Réseau hydrographique	29
7.1. Les oueds	29
7.2.Les barrages	31
Synthèse	32

### Chapitre III: Analyse fréquentielle

Introduction	34
1.Ajustement des lois de probabilité	34
1.1. La loi log Normal	34
1.2. Loi de GUMBEL	35
1.3. Loi Exponentielle	36
2. Test d'adéquation	36
Synthèse	42

### Chapitre IV:Résultats et discussions

Introduction	44
1. Etude de la fiabilité des données en ligne	44
2. Arc-gis	45
2.1.Domain d'utilisation Arc-Gis	45
3. Evaluation des méthodes d'interpolation spatiale sur la wilaya de Mila	46
4. Un échantillon des pluies analysé	46
5. La moyenne d'erreur quadratique	47
5.1. Résultats de l'évaluation et observations	47
6. Application de la méthode d'interpolation spatiale sur les pluies de différentes périodes de retour	48
7.Application de la méthode d'interpolation spatiale sur les températures	52
8. L'évapotranspiration	58
8.1.Formule de Thornthwaite	58
8.2.Calcul d'évapotranspiration	59
9. Application de la méthode d'interpolation spatiale sur l'évapotranspiration	60
Discussion	64
Conclusion générale	66

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures :

**Chapitre I :**

<b>Figure 1</b>	PLUIE FRONTALE	<b><u>3</u></b>
<b>Figure 2</b>	Pluie convective	<b><u>4</u></b>
<b>Figure 3</b>	Pluie orographique	<b><u>4</u></b>
<b>Figure 4</b>	Pluviomètre	<b><u>5</u></b>
<b>Figure 5</b>	Présentation d'un pluviographe	<b><u>6</u></b>
<b>Figure 6</b>	Relève d'un pluviographe (Site collège Ste Foi, Abobo)	<b><u>6</u></b>
<b>Figure 7</b>	Radar météorologique	<b><u>7</u></b>
<b>Figure 8</b>	Le fonctionnement du radar météorologique	<b><u>8</u></b>
<b>Figure 9</b>	La Nasa un satellite météorologique de nouvelle génération	<b><u>10</u></b>
<b>Figure 10</b>	Diagramme	<b><u>13</u></b>
<b>Figure 11</b>	exemple d'estimation par la méthode d'interpolation polynomiale globale	<b><u>17</u></b>

**Chapitre II :**

<b>Figure 12</b>	Situation géographique de la ville de Mila	<b><u>24</u></b>
<b>Figure 13</b>	Carte des pentes de la ville de Mila	<b><u>25</u></b>
<b>Figure 14</b>	Carte des zones bioclimatiques	<b><u>26</u></b>
<b>Figure 15</b>	Carte des pluies moyenne annuelles de nord algérien	<b><u>27</u></b>
<b>Figure 16</b>	Réseaux de mesure pluviométrique de la région de Mila	<b><u>29</u></b>
<b>Figure 17</b>	Réseau hydrographique de la ville de Mila	<b><u>30</u></b>

**Chapitre III :**

<b>Figure 18</b>	principe du test du chi carré	<b><u>37</u></b>
<b>Figure 19</b>	loi Exponentiel	<b><u>39</u></b>
<b>Figure 20</b>	loi de Gumbel	<b><u>39</u></b>
<b>Figure 21</b>	loi de log normal	<b><u>39</u></b>
<b>Figure 22</b>	fonction de densité (03lois)	<b><u>39</u></b>

**Chapitre IV :**

<b>Figure 23</b>	Carte de Pjmax annuelle interpolée(période de retour 2 ans)	<b><u>48</u></b>
<b>Figure 24</b>	Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 05 ans)	<b><u>49</u></b>
<b>Figure 25</b>	Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 10 ans)	<b><u>49</u></b>
<b>Figure 26</b>	Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 20 ans)	<b><u>50</u></b>
<b>Figure 27</b>	Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour	<b><u>50</u></b>



## Liste des figures

---

	50 ans)	
<b>Figure 28</b>	Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 100 ans)	<b><u>51</u></b>
<b>Figure 29</b>	Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 1000 ans).	<b><u>51</u></b>
<b>Figure 30</b>	Carte de l'exposant climatique	<b><u>52</u></b>
<b>Figure 31</b>	Réseau météorologique (station swat)	<b><u>53</u></b>
<b>Figure 32</b>	Carte de température interpolée (mois de novembre)	<b><u>53</u></b>
<b>Figure 33</b>	Carte de température interpolée (mois de février)	<b><u>54</u></b>
<b>Figure 34</b>	Carte de température interpolée (mois de mai)	<b><u>54</u></b>
<b>Figure 35</b>	Carte de température interpolée (mois d'août)	<b><u>55</u></b>
<b>Figure 36</b>	Carte de température interpolée (saison d'automne)	<b><u>56</u></b>
<b>Figure 37</b>	Carte de température interpolée (saison d'hiver)	<b><u>56</u></b>
<b>Figure 38</b>	Carte de température interpolée (saison de printemps)	<b><u>57</u></b>
<b>Figure 39</b>	Carte de température interpolée (saison d'été)	<b><u>57</u></b>
<b>Figure 40</b>	Carte d'évapotranspiration interpolée (mois de novembre)	<b><u>60</u></b>
<b>Figure 41</b>	Carte d'évapotranspiration interpolée (mois de février)	<b><u>60</u></b>
<b>Figure 42</b>	Carte d'évapotranspiration interpolée (mois de mai)	<b><u>61</u></b>
<b>Figure 43</b>	Carte d'évapotranspiration interpolée (mois d'août)	<b><u>61</u></b>
<b>Figure 44</b>	Carte d'évapotranspiration interpolée (saison d'automne)	<b><u>62</u></b>
<b>Figure 45</b>	Carte d'évapotranspiration interpolée (saison d'hiver)	<b><u>62</u></b>
<b>Figure 46</b>	Carte d'évapotranspiration interpolée (saison de printemps)	<b><u>63</u></b>
<b>Figure 47</b>	Carte d'évapotranspiration interpolée (saison d'été)	<b><u>63</u></b>

## Liste des tableaux

---

### Liste des tableaux :

#### Chapitre I :

<b>Tableau 1</b>	Quelques études sur l'interpolation spatiale des variables pluviométriques ; les méthodes recommandées sont indiquées en gras	<b><u>20</u></b>
------------------	---	------------------

#### Chapitre II :

<b>Tableau 2</b>	Localisation des stations pluviométriques retenues dans la wilaya de Mila	<b><u>28</u></b>
------------------	---	------------------

#### Chapitre II :

<b>Tableau 3</b>	Classement des valeurs par ordre croissant (MCHIRA)	<b><u>38</u></b>
<b>Tableau 4</b>	Résultats de test de Khi-deux	<b><u>40</u></b>
<b>Tableau 5</b>	les pluies de différentes périodes de retour	<b><u>41</u></b>

#### Chapitre IV :

<b>Tableau 6</b>	les valeurs de coefficient de corrélation entre les stations d'ANRH et SWAT	<b><u>44</u></b>
<b>Tableau 7</b>	les valeurs de coefficient de corrélation entre les stations d'ANRH et NAZA	<b><u>44</u></b>
<b>Tableau 8</b>	Caractéristique statistiques des stations étudiées (Pjmax annuelle)	<b><u>46</u></b>
<b>Tableau 9</b>	Erreur d'estimation moyenne globale pour les six méthodes	<b><u>47</u></b>
<b>Tableau 10</b>	Le réseau de mesure (SWAT)	<b><u>52</u></b>
<b>Tableau 11</b>	Les coefficients de k.	<b><u>58</u></b>
<b>Tableau 12</b>	les valeurs d'ETP pour toutes les stations	<b><u>59</u></b>

## Abréviation

---

### **Abréviation**

**IDW** : Pondération inverse de la distance

**CRS** : Spline complètement régularisée

**KI** :Krigeage indicateur

**KO** :Krigeage ordinaire

**KR** :Kkrigeage

**KU** :Krigeage universel

**CK** :CoKriging

**KS** :Kkrigeage simple

**CKO** :CoKriging ordinaire

**TP** : Polygone de Thiessen

### Résumé

La disponibilité des données climatiques est essentielle pour de nombreuses analyses hydrologiques, telles que la conception de systèmes, la gestion des ressources en eau, et bien d'autres. Pour obtenir une représentation spatiale précise de ces paramètres climatiques (pluies, température, évapotranspiration) pour la wilaya de Mila, différentes méthodes d'interpolation spatiale sont disponibles. Le choix de la méthode appropriée dépend des objectifs spécifiques de l'étude, ainsi que du contexte territorial de la zone étudiée, y compris sa superficie et la densité du réseau de mesure. L'objectif principal de cette étude est d'améliorer la compréhension de la répartition spatiale de quelques paramètres climatiques pour la wilaya de Mila.

### Abstract

The availability of climate data is essential for many hydrological analyses, such as system design, water resources management, and many others. To obtain an accurate spatial representation of these climatic parameters (rainfall, temperature, evapotranspiration) for the town of Mila, different spatial interpolation methods are available. The choice of the appropriate method depends on the specific objectives of the study, as well as on the territorial context of the studied area, including its surface area and the density of the measurement network. The main objective of this study is to improve the understanding of the spatial distribution of some climatic parameters for the town of Mila.

### الملخص

يعد توافر البيانات المناخية أمرا ضروريا للعديد من التحليلات الهيدرولوجية ، مثل تصميم النظام و إدارة الموارد المائية و العديد من التحليلات الأخرى . للحصول على تمثيل مكاني دقيق لهذه المعلمات المناخية ( هطول الأمطار ، درجة الحرارة ، التبخر) لولاية ميلة ، تتوفر طرق مختلفة للاستيفاء المكاني . يعتمد اختيار الطريقة المناسبة على الأهداف المحددة للدراسة ، و كذلك على السياق الإقليمي للمنطقة المدروسة ، بما في ذلك مساحة سطحها و كثافة شبكة القياس . الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحسين فهم التوزيع المكاني لبعض العوامل المناخية لولاية ميلة .



# **Introduction générale**

### **Introduction générale**

Les données climatologiques, telles que les précipitations, la température, l'évaporation et l'évapotranspiration, revêtent une grande importance pour la gestion des ressources en eau, la modélisation hydrologique et écologique, l'évaluation de la recharge et la planification de l'irrigation. Ces données sont généralement collectées à l'aide de réseaux de stations climatologiques pour obtenir des observations complètes et fiables. Cependant, les relevés de précipitations sont souvent incomplets en raison d'une période de mesure limitée ou d'une faible densité de stations dans la région étudiée. Une bonne connaissance des paramètres climatologiques est essentielle pour comprendre le comportement de divers phénomènes hydrologiques tels que les inondations et les sécheresses. Par conséquent, il est impératif de maîtriser les techniques appropriées permettant d'obtenir le maximum d'informations à partir des échantillons disponibles, d'évaluer la qualité des conclusions déduites et de quantifier les risques liés à la généralisation à partir de données partielles. Il existe plusieurs techniques statistiques pour traiter les processus spatialement distribués et échantillonnés de manière plus ou moins aléatoire. Ces techniques sont des outils privilégiés pour les hydrologues qui cherchent à obtenir une représentation précise des paramètres climatiques, telle que la cartographie, ou à calculer des valeurs moyennes à l'échelle régionale. En utilisant ces techniques d'interpolation spatiale, il est possible d'améliorer la connaissance spatiale des données climatiques et de combler les lacunes résultant du manque de stations ou de données incomplètes. Parmi ces techniques qui sont disponibles pour une bonne présentation des paramètres climatiques, on trouve l'interpolation spatiale. L'objectif de notre travail est d'étudier la fiabilité des données en ligne fournies par plusieurs sources à savoir Global weather data for swat et les données de Naza, après faire une analyse comparative afin de déterminer la meilleure méthode d'interpolation spatiale, cette dernière est ensuite utilisée pour la création des cartes des pluies, le coefficient climatique, la température et l'évapotranspiration pour la wilaya de Mila

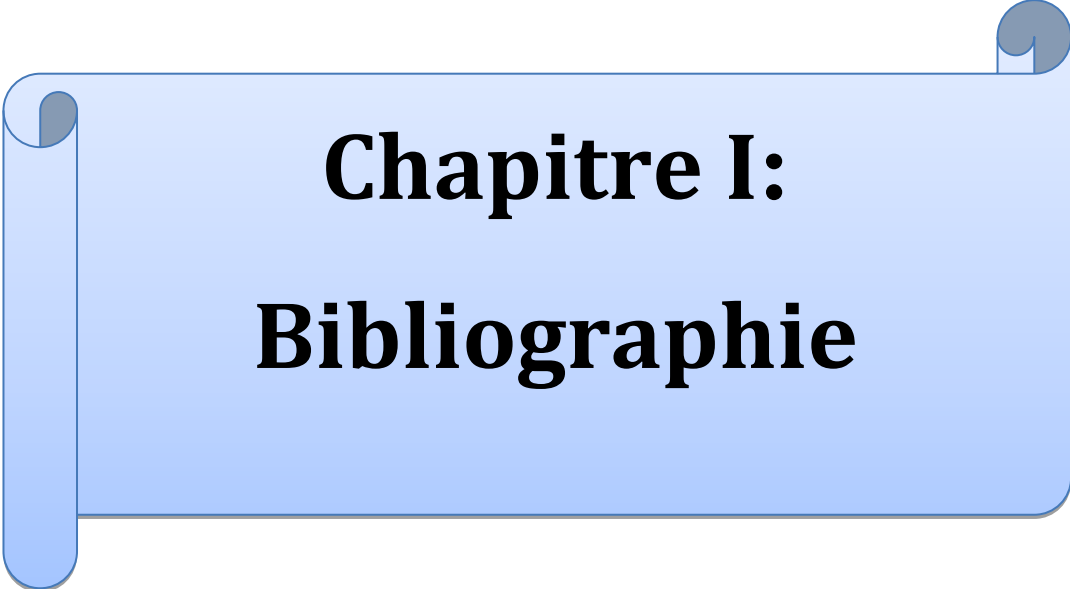
Notre travail de recherche est organisé de la manière suivante :

Chapitre I : Bibliographie ;

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude;

Chapitre III : Analyse fréquentielle;

Chapitre IV : Résultats et discussion.



# **Chapitre I: Bibliographie**

## **Introduction**

L'hydrologie est une discipline scientifique qui étudie les eaux de la Terre, notamment leur distribution, leur mouvement et leur qualité. Cette étude est essentielle pour comprendre et gérer les ressources en eau de la planète, qui sont vitales pour la vie et le développement économique.

Les précipitations sont la principale source d'eau pour la plupart des régions du monde. Par conséquent, la quantification et la modélisation des précipitations sont des enjeux majeurs pour l'hydrologie. Dans cette optique, différents outils et techniques sont utilisés pour quantifier les précipitations, modéliser les écoulements et améliorer la gestion des ressources en eau.

Les mesures directes de la pluie sont effectuées à l'aide de pluviomètres, tandis que les mesures indirectes sont effectuées à l'aide de radars météorologiques qui mesurent la réflectivité des précipitations dans l'atmosphère. Les méthodes d'interpolation spatiale sont également utilisées pour estimer les précipitations dans les zones où les données sont manquantes ou rares. Les modèles hydrologiques sont utilisés pour prédire les écoulements d'eau dans les bassins versants et pour la gestion des ressources en eau.

Enfin, l'hydrologie est une discipline essentielle pour comprendre les ressources en eau de la planète et leur gestion. Les outils et les techniques utilisés en hydrologie permettent de quantifier les précipitations, de modéliser les écoulements et de prédire les événements hydrométéorologiques, ce qui est crucial pour la gestion des ressources naturelles, la prévention des inondations et la planification territoriale.

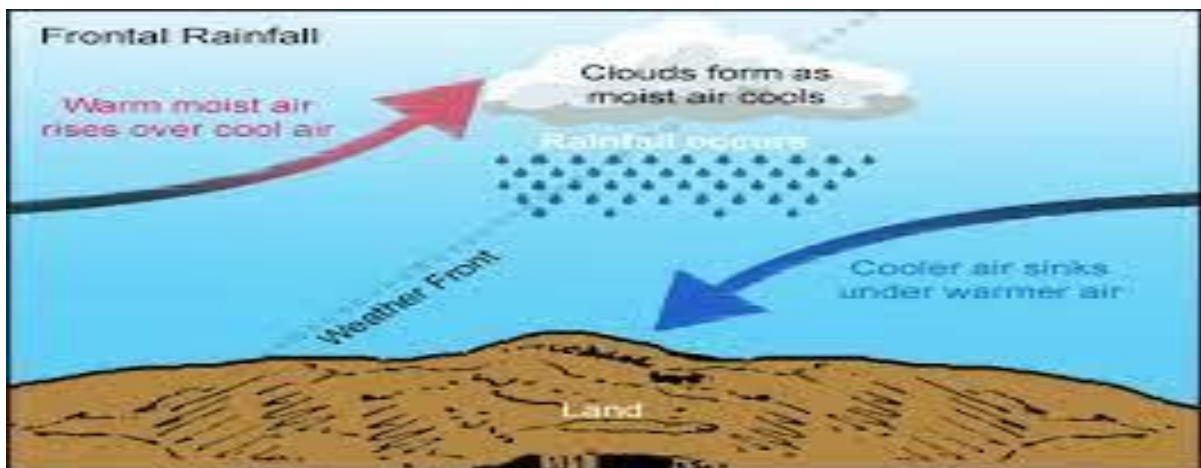


## 1. Type des pluies[1]

La pluie peut être classée en plusieurs types :

### 1.1. Pluie frontale

Ce type de pluie est souvent associé à des fronts météorologiques, qui sont des zones où deux masses d'air se rencontrent. Il existe deux types de fronts : les fronts chauds et les fronts froids. Lorsqu'un front chaud rencontre une masse d'air plus froide, il se soulève au-dessus de la masse d'air froide, ce qui provoque la formation de nuages de pluie. Dans le cas d'un front froid, la masse d'air froid est plus dense que la masse d'air chaud, ce qui force l'air chaud à monter et provoque la condensation de la vapeur d'eau en nuages de pluie.



**Figure 1 : PLUIE FRONTALE**

## 1.2. Pluie convective

Ce type de pluie est souvent associé à des conditions météorologiques instables, où l'air est chaud et humide à la surface et plus froid en altitude. L'air chaud monte, se refroidit en altitude et provoque la condensation de la vapeur d'eau en nuages de pluie. Les orages peuvent également se former dans ces conditions.



Figure 2 : Pluie convective

## 1.3. Pluie orographique

Ce type de pluie est souvent associé à des montagnes, où l'air humide est forcé de monter en raison de l'obstacle créé par la montagne. À mesure que l'air monte, il se refroidit et la vapeur d'eau se condense en nuages de pluie. Ce type de pluie peut être très localisé, car il dépend de la topographie du terrain.



Figure 3 : Pluie orographique

Ces différents types de pluies ont des caractéristiques différentes et peuvent être associés à des conditions météorologiques spécifiques

## 2. les instruments de mesure de la pluie

### 2.1. mesure directe

#### 2.1.1. Pluviomètre

Le pluviomètre est l'instrument le plus couramment utilisé pour mesurer la quantité de pluie tombée. Il est constitué d'un cylindre en métal ou en plastique gradué qui est installé sur une surface plane. La précision de la mesure dépend de la précision de la graduation et de la qualité de la surface de collecte de la pluie.

Il est important de noter que les pluviomètres doivent être installés dans un endroit dégagé, loin des arbres et des bâtiments, pour éviter que la pluie ne soit déviée ou bloquée. De plus, il est essentiel de vider régulièrement le pluviomètre pour éviter que l'eau ne s'évapore ou ne déborde. [2]



**Figure 4 :** Pluviomètre

#### 2.1.2. Pluviographe

Le pluviographe est un type de pluviomètre qui mesure non seulement la quantité de pluie tombée, mais également la distribution temporelle de la pluie. Il utilise un enregistreur mécanique pour tracer un graphique de la pluie tombée au fil du temps. Les pluviographes modernes utilisent des capteurs électroniques pour mesurer la quantité de pluie et pour enregistrer les données de façon continue.

Les pluviographes permettent une mesure plus précise de la pluie tombée, en particulier dans les régions où la pluie est intermittente ou de faible intensité. Ils sont souvent utilisés pour étudier les phénomènes météorologiques tels que les orages ou les moussons. [3]



**Figure 5 :** Présentation d'un pluviographe.



**Figure 6 :** Relève d'un pluviographe (Site collège Ste Foi, Abobo)

En résumé, les instruments de mesure de la pluie directe permettent de mesurer avec précision la quantité de pluie tombée sur une surface donnée. Ils sont utilisés dans de nombreuses applications, notamment la surveillance des précipitations, la gestion des ressources en eau et la recherche scientifique. Il est important de choisir l'instrument de mesure approprié en fonction des besoins de l'utilisateur et de l'application spécifique

## 2.2. mesure indirecte

Il existe plusieurs instruments de mesure indirecte de la pluie

### 2.2.1. Radar météorologique

Le RADAR est l'acronyme de Radio Detection And Ranging (Détection et Télémétrie par onde Radio). Il s'agit d'un système de télédétection active basé sur le principe de l'émission/réception d'ondes électromagnétiques. Durant la seconde guerre mondiale, les radars émettaient des faisceaux électromagnétiques dans des longueurs d'onde de l'ordre du mètre et étaient utilisés pour la détection et l'estimation de la vitesse d'obstacles de taille importante, tels que des avions ou des bateaux. Ce n'est qu'à la fin de la guerre, avec

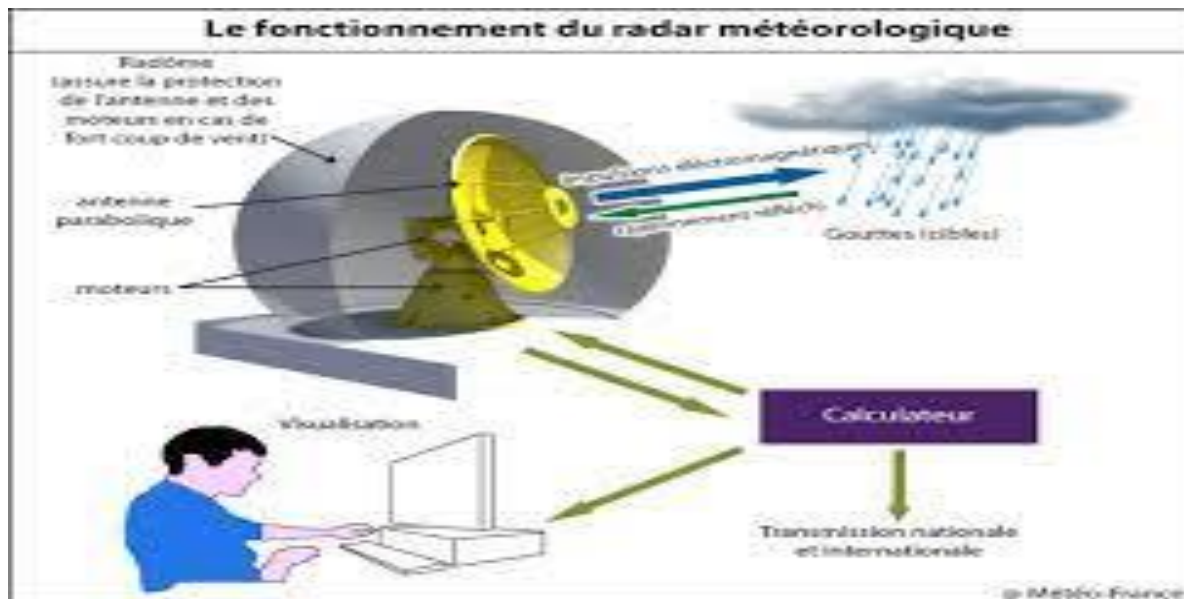
l'amélioration des techniques et du matériel, que les premières études sur les précipitations sont réalisées avec les premiers radars météorologiques. Il a fallu attendre que les longueurs d'onde utilisées par les systèmes radars deviennent plus petites, de l'ordre du centimètre, pour que les précipitations deviennent identifiables et étudiables.

Le radar météorologique constitue donc un outil indispensable à l'observation de l'atmosphère (surveillance et détection des zones pluvieuses) et à l'élaboration des prévisions météorologiques à courte échéance. Il peut apporter également des informations nécessaires aux services d'annonce des crues puisqu'il permet de fournir, après traitement approprié, une estimation des cumuls de précipitations. Il permet de localiser les précipitations (pluie, neige, grêle) et de mesurer leurs intensités en temps réel.

Les radars utilisés en météorologie sont des radars à impulsion. Pour cela, un signal de haute fréquence issu d'un oscillateur pilote est modulé en amplitude par une impulsion rectangulaire. Selon sa configuration électronique, un radar à impulsion est cohérent ou non. Le signal produit par un radar non cohérent, permet de déterminer la nature de la cible, la distance à laquelle elle se trouve et sa position angulaire dans l'espace. Par contre, un radar cohérent donne, en plus des informations données par un radar non cohérent, la vitesse de déplacement de la cible par mesure de l'effet Doppler dû à son mouvement. [4]



**Figure 7** : Radar météorologique



**Figure 8 :** Le fonctionnement du radar météorologique

- **Equation du radar**

L'équation du radar est un bilan des puissances sur le trajet aller-retour d'une onde émise. Cette équation exprime la relation entre la puissance de l'onde émise par le radar et celle rétrodiffusée par les précipitations. Elle révèle les propriétés du volume diffusant d'une cible située à une distance  $r$ , en fonction des caractéristiques du radar et des conditions météorologiques. Soient  $P_t$ , la puissance totale émise par le radar,  $G_m$  le gain maximum de son antenne et  $\sigma$ , la section efficace de rétrodiffusion de la cible. La distance entre l'émetteur et le récepteur est déduite du décalage de temps entre émission et réception. Si on néglige l'atténuation atmosphérique, le rapport entre la puissance reçue et celle transmise est donné par la relation suivante[4] :

$$P / P_t = \sigma G_m^{2\lambda^2} / (4\pi)^3 r^4$$

La cible interceptée par le radar est aussi caractérisée par la réflectivité radar qui est donnée par :

$$\eta = \sigma i / V$$

Où  $V$  est le volume d'impulsion contenant une multitude de centres diffuseurs de section efficace  $\sigma_i$ . En tenant compte de l'atténuation atmosphérique ( $L_a$ ) et de l'affaiblissement ( $L_r$ ) dans le récepteur, l'équation du radar prendra la forme générale qui est donnée par la relation suivante[4] :

$$P / P_t = G_m^2 \lambda^2 \theta_0 \phi_0 c \tau L_a^2 L_r / 1024 \pi^2 L n^2 * \eta / r^2$$

Avec  $\theta_0$   $\phi_0$  sont des angles d'ouvertures à 3 dB en site et en azimut,  $c$ 'est la vitesse de propagation des ondes, et  $\tau$  la durée de l'impulsion radar. L'équation peut se mettre sous la forme suivante:

$$P = A. L_a^2 * \eta / r^2$$

A est la constante du radar considéré, est obtenue par la mesure des caractéristiques de ce dernier.

### 2.2.2. Satellites météorologiques

Les satellites météorologiques sont des satellites artificiels qui sont utilisés pour observer et surveiller les conditions météorologiques de la Terre. Ils sont équipés de différents instruments et capteurs qui leur permettent de recueillir des informations sur les nuages, les températures de surface, les précipitations, la vitesse et la direction du vent, les phénomènes atmosphériques tels que les tempêtes et les ouragans, et bien plus encore.[5]

Les données recueillies par les satellites météorologiques sont utilisées pour produire des images et des cartes météorologiques qui sont utilisées par les prévisionnistes pour prévoir le temps dans les prochaines heures, les jours et même les semaines. Les images satellitaires sont également utilisées pour surveiller les phénomènes météorologiques extrêmes tels que les tempêtes tropicales, les ouragans et les typhons, afin de fournir des avertissements précoces aux populations concernées.

Les satellites météorologiques sont en orbite géostationnaire ou en orbite polaire, en fonction de leur mission et de leur utilisation prévue. Les satellites en orbite géostationnaire restent à une altitude de 36 000 km au-dessus de l'équateur et suivent la rotation de la Terre, ce qui leur permet de surveiller une région géographique spécifique en permanence. Les satellites en orbite polaire, quant à eux, suivent une orbite circulaire autour de la Terre à une altitude d'environ 800 km, ce qui leur permet de survoler la totalité de la surface de la Terre à chaque orbite.[6]

Les principales agences spatiales qui exploitent des satellites météorologiques sont la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) aux États-Unis, l'Agence spatiale européenne (ESA) en Europe, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Centre national d'études spatiales (CNES) en France.[7]

- **Quelques satellites météorologiques**

GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) de la NOAA : une série de satellites en orbite géostationnaire qui surveillent les conditions météorologiques en Amérique du Nord, centrale et du Sud.

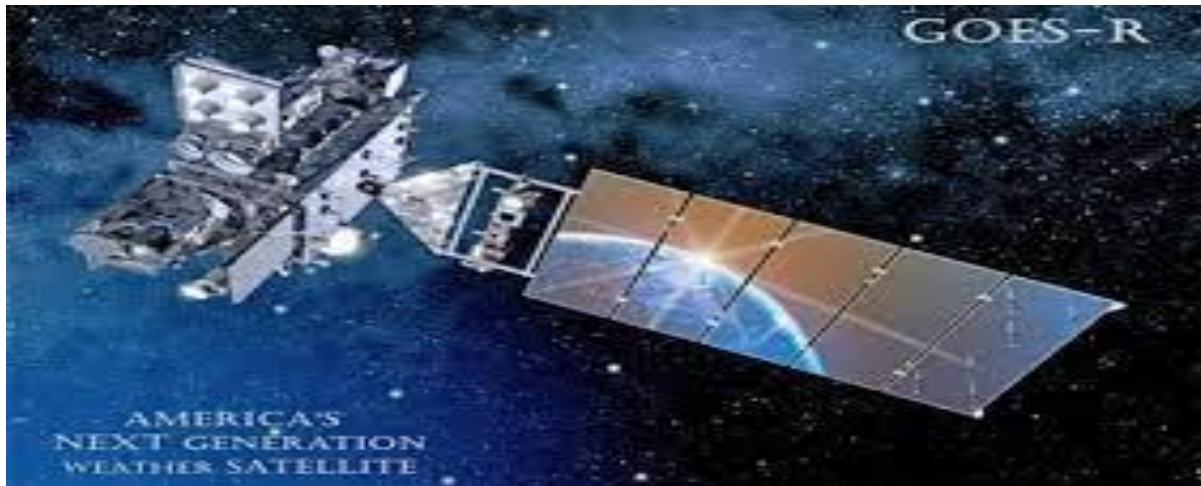
Meteosat de l'ESA : une série de satellites en orbite géostationnaire qui surveillent les conditions météorologiques en Europe, en Afrique et en Asie.

Himawari de l'Agence météorologique du Japon : un satellite en orbite géostationnaire qui surveille les conditions météorologiques dans la région Asie-Pacifique.

NOAA-20 : un satellite en orbite polaire qui fait partie du programme JPSS (Joint Polar Satellite System) de la NOAA, qui surveille les conditions météorologiques et climatiques de la Terre.

Sentinel-3 de l'ESA : un satellite en orbite polaire qui fait partie du programme Copernicus de l'Union européenne, qui surveille les océans, les surfaces terrestres et les conditions météorologiques pour la surveillance de l'environnement.

Il y a beaucoup d'autres satellites météorologiques qui sont en service ou qui ont été lancés dans le passé, chacun ayant sa propre mission et ses propres instruments de surveillance météorologique.



**Figure 9** : La Nasa un satellite météorologique de nouvelle génération

### 3. Les données en ligne

Les données en ligne de pluie font référence aux informations sur la pluviométrie qui sont disponibles sur Internet et accessibles au public. Ces données peuvent inclure les mesures de précipitations en temps réel, les prévisions météorologiques, les cartes des précipitations, les statistiques de pluviométrie historique, et bien plus encore.

Les agences météorologiques et les services nationaux de surveillance de la pluie sont des sources importantes de données en ligne de pluie. Ils fournissent des informations actualisées sur les conditions météorologiques, les prévisions et les alertes de précipitations pour les zones géographiques qu'ils couvrent.

En outre, il existe également des sites web et des applications mobiles qui rassemblent des données en ligne de pluie à partir de diverses sources pour offrir des informations complètes sur la pluviométrie. Ces sites peuvent également fournir des cartes interactives, des graphiques et des alertes personnalisées pour aider les utilisateurs à surveiller les conditions météorologiques dans leur région.

Les données en ligne de pluie sont utiles pour une variété de domaines, tels que la planification des activités extérieures, l'agriculture, la gestion des ressources en eau, la prévention des inondations et la recherche scientifique sur les changements climatiques. [8]



### 3.1. L'utilisation de données en ligne dans le domaine hydrologique

Comprendre comment utiliser les données en ligne dans le domaine hydrologique est un sujet qui peut être approfondi de différentes manières. Voici quelques pistes pour vous aider à étoffer et approfondir les idées :

#### a-Évaluation de la précision des données de précipitation en ligne

Pour évaluer la précision des données de précipitation en ligne, il est possible d'utiliser plusieurs approches. Par exemple :

-Étudier les différences entre les données de précipitation en ligne et les données provenant de stations météorologiques terrestres pour différents types d'événements pluvieux (intensité, durée, etc.)

-Identifier les principales sources d'erreur dans les données de précipitation en ligne (telles que les erreurs de mesure, la qualité des données, les différences dans les algorithmes de correction, etc.)

-Évaluer l'impact de l'utilisation de différentes sources de données de précipitation en ligne (par exemple, les données radar, les données satellite...etc.) sur la précision des résultats hydrologiques.

-Explorer les différents modèles de correction et d'ajustement de données de précipitation en ligne pour améliorer la précision des données de précipitation utilisées en hydrologie.

### 4. Problème de manque de donnée et la faible densité des stations pluviométriques

Le manque de données et la faible densité des stations pluviométriques sont des problèmes courants dans la collecte de données sur la pluviométrie. Ces problèmes peuvent entraîner une incertitude dans les prévisions météorologiques, des prévisions de précipitations imprécises et des difficultés dans la gestion des ressources en eau.

L'un des principaux problèmes est le manque de données. De nombreuses régions du monde ne disposent pas de stations pluviométriques adéquates pour mesurer les précipitations. Les stations météorologiques peuvent être coûteuses à installer et à entretenir, ce qui peut limiter le nombre de stations disponibles. Dans les régions rurales ou isolées, il peut être difficile d'accéder aux stations météorologiques existantes en raison de la distance ou de l'absence de routes.

Un autre problème est la faible densité des stations pluviométriques. Même dans les régions où des stations sont installées, leur répartition peut être inégale, ce qui signifie qu'il y a des zones où les précipitations ne sont pas mesurées ou sont mal mesurées. Cela peut conduire à des prévisions de précipitations erronées pour ces zones.

Ces problèmes peuvent avoir des conséquences graves. Par exemple, dans les régions où l'eau est rare, une mauvaise estimation des précipitations peut conduire à une utilisation excessive ou insuffisante des ressources en eau. Cela peut entraîner des pénuries d'eau ou des coûts

élevés pour le transport de l'eau. Dans les régions où les inondations sont fréquentes, une mauvaise prévision des précipitations peut entraîner des pertes de vies et de biens.

Cependant, il existe des moyens de surmonter ces problèmes. Les capteurs de pluie à distance peuvent être utilisés pour collecter des données sur les précipitations dans les zones où il n'y a pas de stations météorologiques. Ces capteurs peuvent être installés dans des zones difficiles d'accès, telles que les régions montagneuses ou les zones reculées. Les données des capteurs peuvent ensuite être combinées avec des données des stations météorologiques pour améliorer les prévisions de précipitations.

En outre, les progrès technologiques dans les domaines de la télédétection et des réseaux de capteurs ont permis de développer des outils de modélisation de précipitations à haute résolution spatiale et temporelle. Ces outils peuvent fournir des informations précises sur les précipitations dans des zones où les données sont limitées [9], [10],[11]

Enfin l'interpolation spatiale des pluies est une solution efficace pour améliorer la connaissance spatiale des précipitations. Dans de nombreuses régions, les stations de mesure des pluies sont limitées en nombre et peuvent être dispersées, ce qui entraîne une couverture inégale de l'information sur les précipitations. L'interpolation spatiale consiste à estimer les valeurs de précipitation entre les stations de mesure existantes en utilisant des techniques statistiques ou géostatistiques. Cela permet de créer une représentation plus complète et continue des pluies sur une zone donnée. L'interpolation spatiale des pluies offre de nombreux avantages, notamment en fournissant des informations plus précises pour la modélisation hydrologique, la gestion des ressources en eau et la prévision des inondations.

## 5. Présentation des méthodes de spatialisation

Il existe une multitude de méthodes d'interpolation spatiale, allant de la plus basique à la plus évoluée. Ces techniques sont en général regroupées en deux catégories, bien que d'autres typologies existent. La première catégorie regroupe les méthodes d'interpolation déterministes qui ne modélisent pas la variable régionalisée par une fonction aléatoire, au contraire de la deuxième catégorie des méthodes stochastiques, où toute valeur régionalisée est considérée comme le produit d'une variable aléatoire (Baillargeon, 2005).

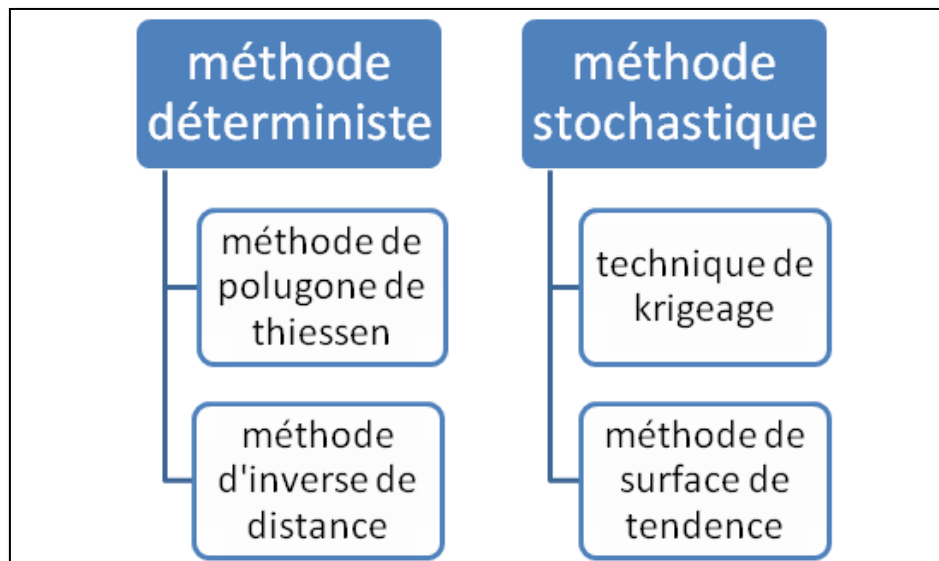


Figure 10 : Diagramme.....

### 5.1. Méthode stochastique

#### 5.1.1. Technique de krigeage

Le krigeage est, en géostatistique, la méthode d'estimation linéaire garantissant le minimum de variance. Le krigeage réalise l'interpolation spatiale d'une variable régionalisée par calcul de l'espérance mathématique d'une variable aléatoire, utilisant l'interprétation et la modélisation du variogramme expérimental. C'est le meilleur estimateur linéaire non-biaisé ; il se fonde sur une méthode objective. Il tient compte non seulement de la distance entre les données et le point d'estimation, mais également des distances entre les données deux-à-deux.

Les méthodes de krigeage se sont développées ces trente dernières années dans l'industrie minière et la climatologie.

Le krigeage est une méthode d'interpolation spatiale stochastique qui tient compte à la fois de la configuration géométrique des points observés et de la structure spatiale propre à la variable estimée. On distingue trois principaux types de krigeage : le krigeage simple,

le krigeage ordinaire, et le krigeage universel (**Laborde, 2000**).

- **Krigeage simple**

Soit  $Z$  une fonction aléatoire stationnaire d'ordre 2. Son espérance  $m$  et sa matrice de covariance pour les sites d'échantillonnage sont supposées connues. On suppose sans perte  $m=0$ . On cherche le krigeage de  $Z$  en un point .

### Écriture du krigeage simple

1. Par linéarité, le problème devient la recherche des poids  $\lambda_i$ , dépendants du point d'estimation, tels que
2. L'autorisation est assurée dans le cas stationnaire
3. L'universalité est assurée par hypothèse
4. L'optimalité suppose

Le système de krigeage simple s'écrit matriciellement

Où  $K$  est la matrice de covariance aux sites d'échantillonnage

$\lambda$  est la matrice des poids de krigeage

et est la matrice de covariance du point krigé avec les sites d'échantillonnage

- **Krigeage ordinaire**

L'espérance  $m$  est supposée inconnue (mais définie).

### Écriture du krigeage ordinaire

1. La linéarité donne ;
2. L'autorisation est assurée dans le cas stationnaire;
3. L'universalité ne permet pas de supposer  $m=0$ , et donne ;
4. L'optimalité est réalisée par la méthode du multiplicateur de Lagrange. Soit  $\mu$  ce paramètre, on obtient le système de krigeage ci-après

Le système de krigeage ordinaire s'écrit matriciellement :

La variance d'estimation en krigeage ordinaire est On peut utiliser la même démarche pour évaluer l'espérance inconnue. Soit son estimateur  $M^*$ .

### Écriture du krigeage de l'espérance

1. La linéarité donne
2. L'autorisation est assurée
3. L'universalité impose, donc
4. L'optimalité se résout par multiplicateur de Lagrange (noté  $\mu_M$ ) en le système ci-après.

- **Krigeage universel**

Le modèle supposé est  $Z(x)=Y(x)+m(x)$ , comportant une dérive  $m(x)$  déterministe et un résidu  $Y(x)$  voulu stationnaire (résidu vrai), et d'espérance nulle. La difficulté est de séparer les deux composantes  $m$  et  $y$  dans la variable régionalisée. Cette dichotomie peut représenter une opposition explicative entre basses et hautes fréquences, entre tendance régionale et anomalies.

La dérive est supposée décomposable selon un nombre connu de fonctions de base , généralement des monômes des coordonnées, avec  $f_0=1$  la fonction constante unité. Les coefficients  $a_l$  sont inconnus. Le modèle de dérive calculé par les algorithmes ci-après ne décrit pas forcément la tendance du phénomène, mais une approximation à l'échelle de travail. Les hypothèses sur le résidu  $Y$  sont appelés sous-jacents sur  $Z$ .

#### 5.1.2.Méthode des surfaces de tendance

Il est possible de réaliser des ajustements de surfaces d'équations polynomiales à partir de données enregistrées ponctuellement. En effet, si les données se rapportent à des surfaces, il est possible de considérer dans la plupart des cas un point représentatif de chacune des surfaces. Les interpolations polynomiales sont aussi couramment appelées « Analyses en Surfaces de Tendance » (AST). La méthode d'interpolation spatiale par AST s'apparente à une technique de lissage spatial qui élimine les variations locales pour retenir une surface qui rend compte au mieux de la variabilité spatiale globale de la variable analysée (**Waniez, 2003**).

### 5.1.3. Méthode déterministe

- **Polygone de Thiessen**

La méthode du polygone de Thiessen permet d'estimer des valeurs pondérées en prenant en considération chaque station pluviométrique. Elle affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont l'aire, exprimée en %, représente le facteur de pondération de la valeur locale. Les différentes zones d'influence sont déterminées par découpage géométrique du bassin sur une carte topographique. Les stations disponibles étant reportées sur une carte géographique, on trace une série de segments de droites reliant les stations adjacentes. On élève des perpendiculaires au centre de chacune des droites (médiatrices) ; les intersections de ces perpendiculaires déterminent des polygones. Dans chaque polygone, la hauteur de précipitation choisie est celle relevée à la station située à l'intérieur de celui-ci. Les côtés des polygones et/ou la ligne de partage des eaux représentent les limites de l'aire (et du poids) accordée à chaque station. L'aire de chaque polygone  $A_i$  est déterminée par planimétrie ou numériquement.

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

$$p_{moy} = \frac{\sum P_i \cdot A_i}{A} \quad \text{Avec :}$$

$P_{moy}$ : Précipitation moyenne sur le bassin,

$A$  : aire totale du bassin ( $=\sum A_i$ ),

$P_i$  : précipitation enregistrée à la station  $i$ ,

$A_i$  : superficie du polygone associée à la station  $i$ .

- **Méthode d'inverse de distance**

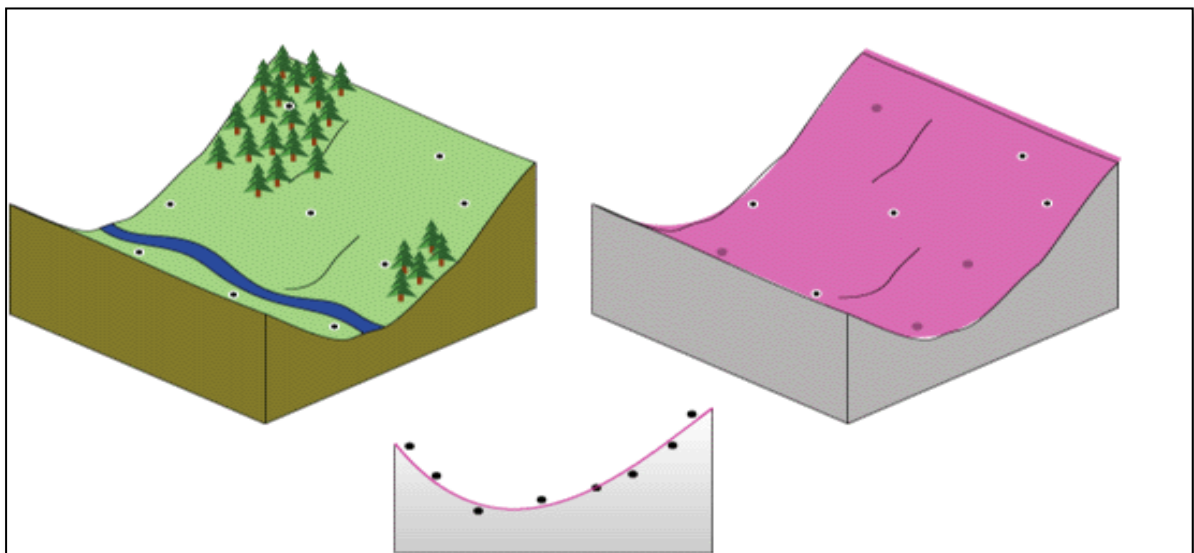
La méthode de l'inverse des distances prend en compte un plus grand nombre de données, en affectant une pondération plus élevée aux valeurs proches qu'aux valeurs éloignées

Cette méthode présente en théorie plusieurs points faibles, car les valeurs interpolées sont toujours comprises entre la valeur minimale et la valeur maximale, et elle ne tient compte que de la distance entre les sites d'observation et le point à estimer, et non de la configuration géométrique des sites d'observation entre eux. Cela implique que la représentativité de l'interpolation est directement corrélée à la densité du réseau (ce qui n'est d'ailleurs pas spécifique à cette méthode).

- **Méthode d'interpolation polynomiale globale (Global Polynomial Interpolation)**

L'interpolation polynomiale globale ajuste une surface lisse définie par une fonction mathématique (un polynôme) aux points d'échantillonnage d'entrée. La surface polynomiale globale change progressivement et capture un modèle à grande échelle dans les données.

Conceptuellement, l'interpolation polynomiale globale revient à prendre une feuille de papier et à l'ajuster entre les points surélevés (élevés à la hauteur de la valeur). Ceci est démontré dans le diagramme ci-dessous pour un ensemble de points d'échantillonnage d'élévation pris sur une colline en pente douce. (**Figure 11**)



**Figure 11** : exemple d'estimation par la méthode d'interpolation polynomiale globale

L'interpolation polynomiale globale est utilisée pour les éléments suivants :

- Ajuster une surface aux points d'échantillonnage lorsque la surface varie lentement d'une région à l'autre sur la zone d'intérêt (par exemple, la pollution sur une zone industrielle).
- Examiner et/ou supprimer les effets des tendances à long terme ou mondiales. Dans de telles circonstances, la technique est souvent appelée analyse de surface de tendance.
- L'interpolation polynomiale globale crée une surface variant lentement à l'aide de polynômes d'ordre inférieur qui décrivent éventuellement certains processus physiques (tels que la pollution et la direction du vent). Cependant, il convient de noter que plus le polynôme est complexe, plus il est difficile de lui attribuer une signification physique. De plus, les surfaces calculées sont très sensibles aux valeurs aberrantes (valeurs extrêmement élevées et faibles), en particulier sur les bords.

## **6. Synthèses des travaux**

### **1/ Interpolation spatiale des variables pluviométriques à l'aide d'un réseau de neurones artificiels**

Il s'agit d'un travail de recherche qui tente d'appliquer la technique de réseau neuronal artificiel (ANN) pour l'interpolation spatiale des données pluviométriques dans le Chhattisgarh, en Inde. L'étude a utilisé un ensemble de données variables de précipitations moyennes homogénéisées pour 102 stations météorologiques, qui ont été divisées en deux sous-ensembles de 76 et 26 stations pour la formation et la validation, respectivement. Le modèle 3LP FFBP ANN proposé avait quatre vecteurs d'entrée, y compris l'attitude, longitude, l'altitude et la température maximale moyenne, qui ont été utilisés pour entrer des données de géo-coordonnées, et un neurone de sortie utilisé pour observer les données variables de précipitations. Le processus de formation impliquait l'utilisation de l'algorithme de rétropropagation pour déterminer les poids optimaux qui minimisaient l'erreur quadratique moyenne (MSE) entre la sortie du réseau et la valeur souhaitée. L'étude a révélé que l'utilisation de deux neurones dans la couche cachée fournissait le résultat le plus favorable. Le document fournit des détails techniques sur la méthodologie utilisée dans l'étude, y compris la structure du réseau de neurones, la fonction de transfert utilisée et l'algorithme de formation du réseau.[12]



## **2/ Évaluation de l'interpolation géostatistique Méthodes d'estimation des données pluviométriques en Libye**

Ce travail traite des défis de la gestion des ressources en eau en Libye en raison de la sécheresse de l'eau et souligne l'importance d'estimer avec précision les précipitations surfaciques pour éclairer la prise de décision et la planification. L'étude évalue six méthodes d'interpolation géostatistique et identifie les méthodes les plus fiables et les plus précises pour générer des distributions spatiales des précipitations totales mensuelles à partir de 63 stations de surveillance à travers la Libye. Les résultats montrent que les méthodes RBF et IDW sont plus fiables et précises que les autres méthodes testées, et l'étude recommande des mises à jour et des améliorations régulières des ressources de données climatiques et la construction de nouvelles stations météorologiques pour améliorer la distribution spatiale des mesures. Les cartes pluviométriques précises et fiables produites dans le cadre de l'étude peuvent être utiles dans divers domaines tels que les études environnementales, agricoles et hydrologiques.[13]

## **3/ Etude de la variabilité spatiale de la pluviométrie par la méthode géostatistique et idw (inverse distancepondere) au centre-ouest de la côte d'ivoire**

Les auteurs ont traité la variabilité climatique et de l'impact qu'elle a sur la disponibilité en eau et la productivité agricole en Côte d'Ivoire et dans les pays d'Afrique de l'Ouest. Les auteurs soulignent l'importance de la modélisation spatiale pour la gestion de la ressource en eau et l'interpolation des données de précipitations. Les méthodes d'interpolation les plus couramment utilisées sont l'inverse de la distance et le Krigeage Ordinaire. L'étude vise à comparer la performance de ces méthodes dans la cartographie de la variation spatio-temporelle de la pluviométrie au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire afin de trouver la méthode la plus appropriée pour faire l'interpolation des valeurs pluviométriques sans biais.[14]

## **4 /Analyse de distribution et interpolation spatiale de la pluie à bogota, colombie**

Le travail traite de l'importance des précipitations dans l'hydrologie urbaine et des défis associés à la modélisation hydrologique dans les zones urbaines en raison de la forte variabilité spatiale et temporelle des précipitations. L'étude analyse les données de précipitations dans la ville de Bogotá, en Colombie, de janvier 1995 à décembre 1996 en utilisant des données de 77 stations avec des précipitations quotidiennes et de 37 stations avec des précipitations sous-horaires, dont la cohérence et la précision ont été validées. Les auteurs ont examiné également les différentes méthodes d'interpolation telles les méthodes de modélisation physique telles que le kriging et l'inversion de distance pondérée comme résultats les auteurs recommandent l'utilisation du méthode

d'interpolation IDW pour la génération de champs continus de précipitations dans les zones urbaines[15]

### **5 /Analyse spatiale des précipitations saisonnières à l'aide de diverses méthodes d'interpolation dans le bassin de l'Euphrate, Turquie :**

Ce travail présente une étude sur la détermination de la distribution spatiale des moyennes de précipitations saisonnières dans le bassin de l'Euphrate en Turquie à l'aide de 13 méthodes d'interpolation spatiale différentes. L'étude a révélé que les méthodes géostatistiques produisent des estimations plus précises que les méthodes déterministes et que les méthodes OCK, LPI, OK et OCK sont les méthodes d'interpolation les plus efficaces pour le printemps, l'été, l'automne et l'hiver, respectivement. L'étude a également révélé que la méthode OCK, qui inclut les valeurs d'altitude comme variable secondaire, était plus efficace en raison de la nature montagneuse du bassin. L'étude fournit des informations importantes pour l'agriculture, les ressources en eau, l'industrie et l'énergie.[16]

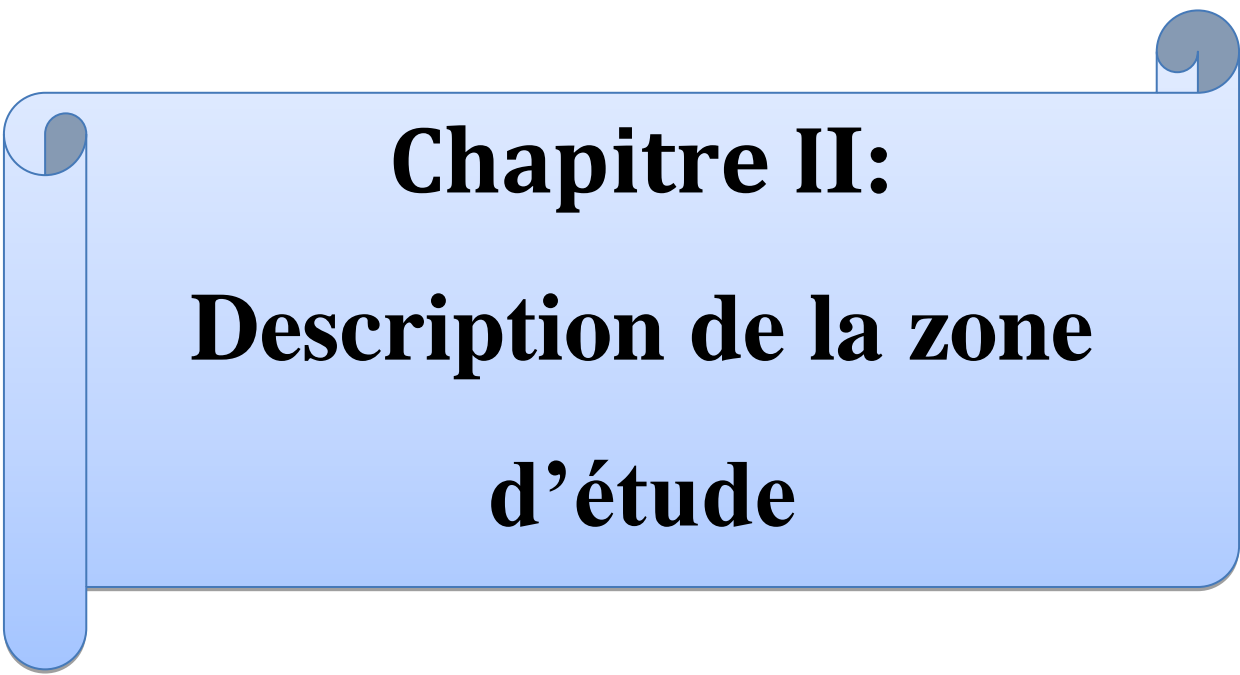
**Tableau 1 .**Quelques études sur l'interpolation spatiale des variables pluviométriques ; les méthodes recommandées sont indiquées en gras.

<b>Région</b>	<b>Variable</b>	<b>Interpolation methods</b>	<b>Source</b>
<b>Libye</b>	Rainfall	<b>Spline- KR ; IDW ; SK ; CK</b>	[27]
<b>India Famanapuram</b>	Rainfall	<b>CK ; KS</b>	[28]
<b>Chine (Xinjiang)</b>	Rainfall	<b>KO ; IDW</b>	[29]
<b>Alpes suisses</b>	Rainfall	<b>KO ; KR ; IDW</b>	[30]
<b>Italie du Sud</b>	Rainfall	<b>IDW ; KR</b>	[31]

<b>Turquie</b>	Rainfall	<b>KS ; KO ; KU ; CKO ; TP ; CRS</b>	[16]
<b>Corée du sud</b>	Rainfall	<b>IDW ; KR</b>	[17]
<b>États-Unis (Floride)</b>	Rainfall	<b>Kr ; IDW ; SPLINE;KO</b>	[18]
<b>Colombie (Bogota)</b>	Rainfall	<b>KR ; IDW</b>	[13]
<b>MEDJERDA</b>	Rainfall	<b>KR</b>	[19]
<b>SWITZERLAND</b>	Rainfall	<b>KO,KI</b>	[20]
<b>RUSSIA</b>	Rainfall	<b>Locally weighted polynomial regression</b>	[21]
<b>NORFLK ISLAND</b>	Rainfall	<b>KR,IDW,TP,areal mean</b>	[22]
<b>CENTRAL USA</b>	Rainfall	<b>KU, optimal interpolation, KO, TP, inverse square distance</b>	[23]
<b>INDIA</b>	Rainfall	<b>CK,KS</b>	[24]
<b>SOUTH AFRICA</b>	Rainfall	<b>IDW,KS,CKO,KU</b>	[24]
<b>GERMANY</b>	Rainfall	<b>IDW,TP,KO,CKO,KOR</b>	[25]
<b>ANNABA (algeria)</b>	Rainfall	<b>IDW,KO,CRS</b>	[26]

## **Conclusion**

Le manque de stations pluviométriques pose un problème majeur dans l'obtention de données précises sur les précipitations. Cette situation entraîne une couverture limitée et inégale de l'information sur les pluies dans une région donnée. En conséquence, il devient difficile d'avoir une connaissance spatiale complète et détaillée des schémas de précipitations. Le manque de stations pluviométriques peut entraîner des lacunes dans la surveillance des précipitations, ce qui compromet la modélisation hydrologique, la gestion des ressources en eau et la prévision des inondations. L'utilisation de l'interpolation spatiale des pluies présente plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, cela permet de combler les lacunes causées par le manque de stations pluviométriques en fournissant des estimations précises des précipitations sur des zones non couvertes. Cela permet d'obtenir une connaissance plus complète et détaillée des schémas de pluie à travers une région donnée.

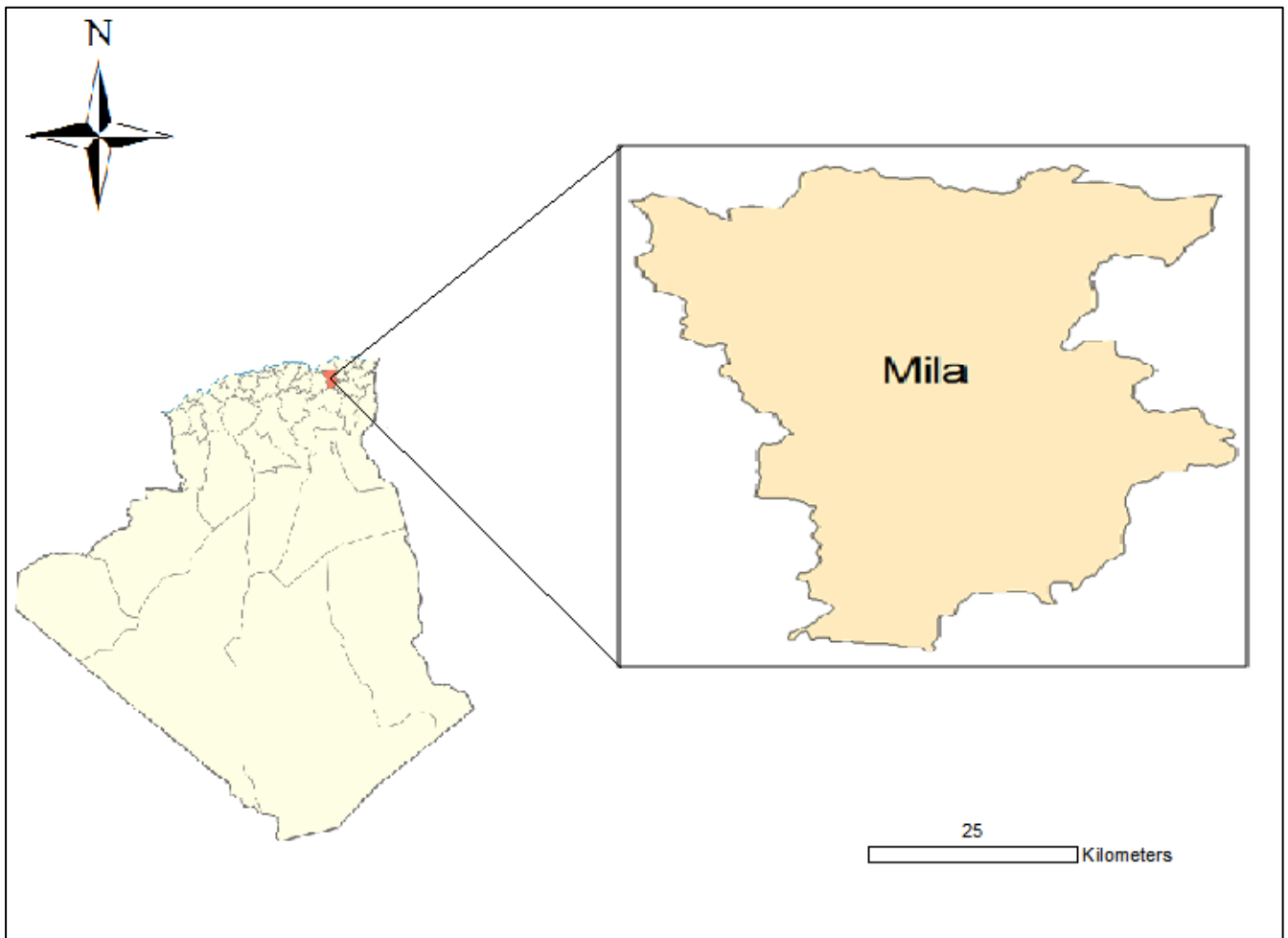


**Chapitre II:**  
**Description de la zone**  
**d'étude**

## Description de la zone d'étude

### 1. La situation géographique de la ville de Mila

La wilaya de Mila occupe une superficie de 3 478 km<sup>2</sup> et se situe dans le nord-est de l'Algérie. Elle est entourée de six wilayas : Jijel et Skikda au nord, Sétif à l'ouest, Constantine à l'est, Batna au sud, et Oum El Bouaghi au sud-est. Cette région offre un paysage montagneux et vallonné, avec un accès côtier vers la mer Méditerranée.



**Figure 12 :** Situation géographique de la ville de Mila

## 2. Topographie de la wilaya de Mila

La région de Mila est marquée par une topographie variée, comprenant des massifs isolés dans les Hautes Plaines. Les massifs telliens situés au nord de la wilaya présentent une structure accidentée et morcelée, favorisant la formation d'un dense réseau hydrographique constitué de petits cours d'eau qui traversent toute la région et alimentent d'importants oueds tels que l'Oued Endja dans les secteurs de Redjas, Rouached et Ferdjioua, l'Oued Rhumel (amont) dans le secteur d'Oued Athmenia et l'Oued Kébir (amont) dans le secteur de Tassadane. L'Oued Rhumel, qui traverse la région des Hautes Plaines d'est en ouest, est accompagné de cours d'eau importants tels que l'Oued Mehari, l'Oued Seguin, l'Oued Tadjnanet et l'Oued Athmenia.

La wilaya abrite également le plus grand barrage d'eau du pays, le barrage de Béni-Haroun, qui fournit une grande partie de l'est de l'Algérie en eau potable et en eau d'irrigation.

La région présente différents types de relief : des massifs montagneux dans la partie nord de la wilaya, atteignant une altitude maximale de 1600 mètres, des collines et des piémonts le long des communes limitrophes avec la wilaya de Jijel, des hautes plaines dans la partie centrale de la wilaya, et des massifs montagneux d'une altitude de 1400 mètres au sud.

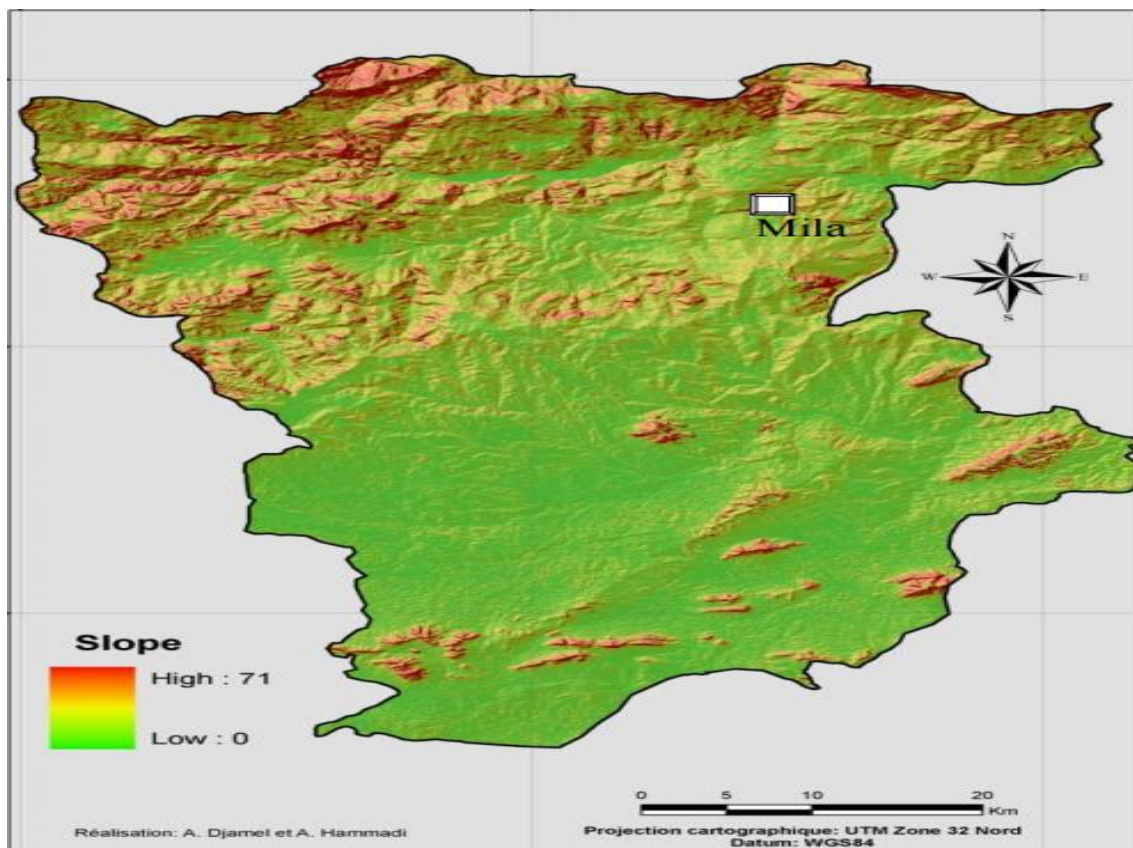


Figure 13 : Carte des pentes de la ville de Mila

**3.Géologie**

Le bassin de Mila fait partie du domaine externe de la chaîne alpine en Algérie du Nord-Est, qui est liée à la branche sud des montagnes du Maghreb, s'étendant du détroit de Gibraltar à l'ouest à la Sicile et à la Calabre à l'Est. La partie nord-orientale de cette branche est généralement divisée en deux grandes zones :

Un domaine interne comprenant le socle kabyle et les formations de flysch.

Un domaine externe englobant les formations telliennes et de l'avant-pays [33].

En ce qui concerne le bassin de Mila, son remplissage débute dans une direction Est-Ouest avec des formations marines datant du Burdigalien terminal au Langhien, qui évoluent vers des formations continentales du Miocène et du Plio-Quaternaire à des niveaux plus élevés.



#### 4. Climatologie

La wilaya de Mila bénéficie d'un climat méditerranéen typique. Ce climat se caractérise par des hivers doux et pluvieux, ainsi qu'une longue période estivale chaude et sèche, s'étendant de mai à octobre, avec des variations saisonnières et spatiales. Selon A. MEBARKI, la wilaya de Mila peut être subdivisée en deux zones distinctes : une zone semi-aride au sud et au centre, tandis que l'autre zone est sub-humide et se concentre dans la partie nord de la wilaya (voir figure 15).

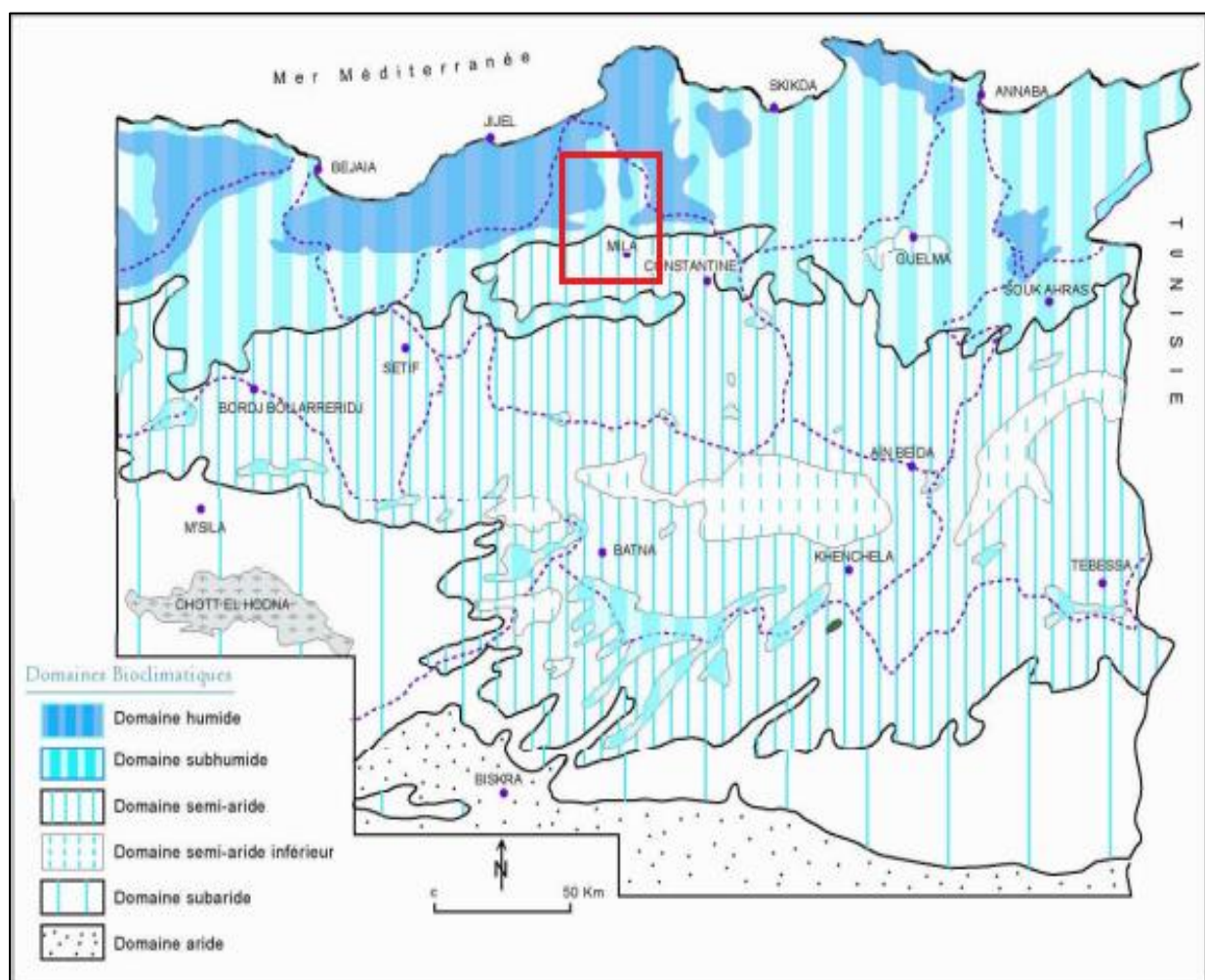


Figure 14 : Carte des zones bioclimatiques

## 5. Précipitations

Les précipitations jouent un rôle crucial dans le cycle écologique, le régime hydrographique et l'activité agricole. Dans la wilaya de Mila, la variation des précipitations annuelles est un élément marquant. La pluviométrie à Mila présente une répartition inégale tout au long de l'année, avec des précipitations concentrées principalement pendant le semestre frais, qui s'étend de novembre à mars. Le manque ou l'abondance de précipitations a un impact significatif sur les réserves en eau, tant en termes de quantités mobilisées que de quantités exploitées [35].

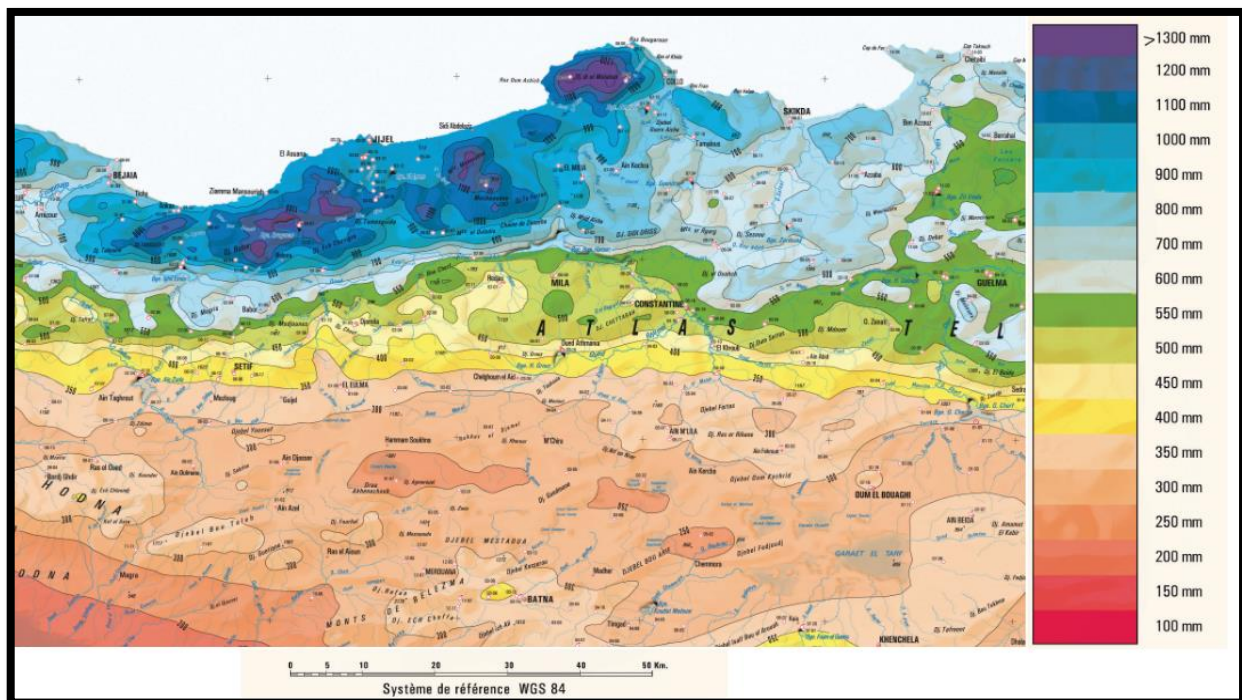


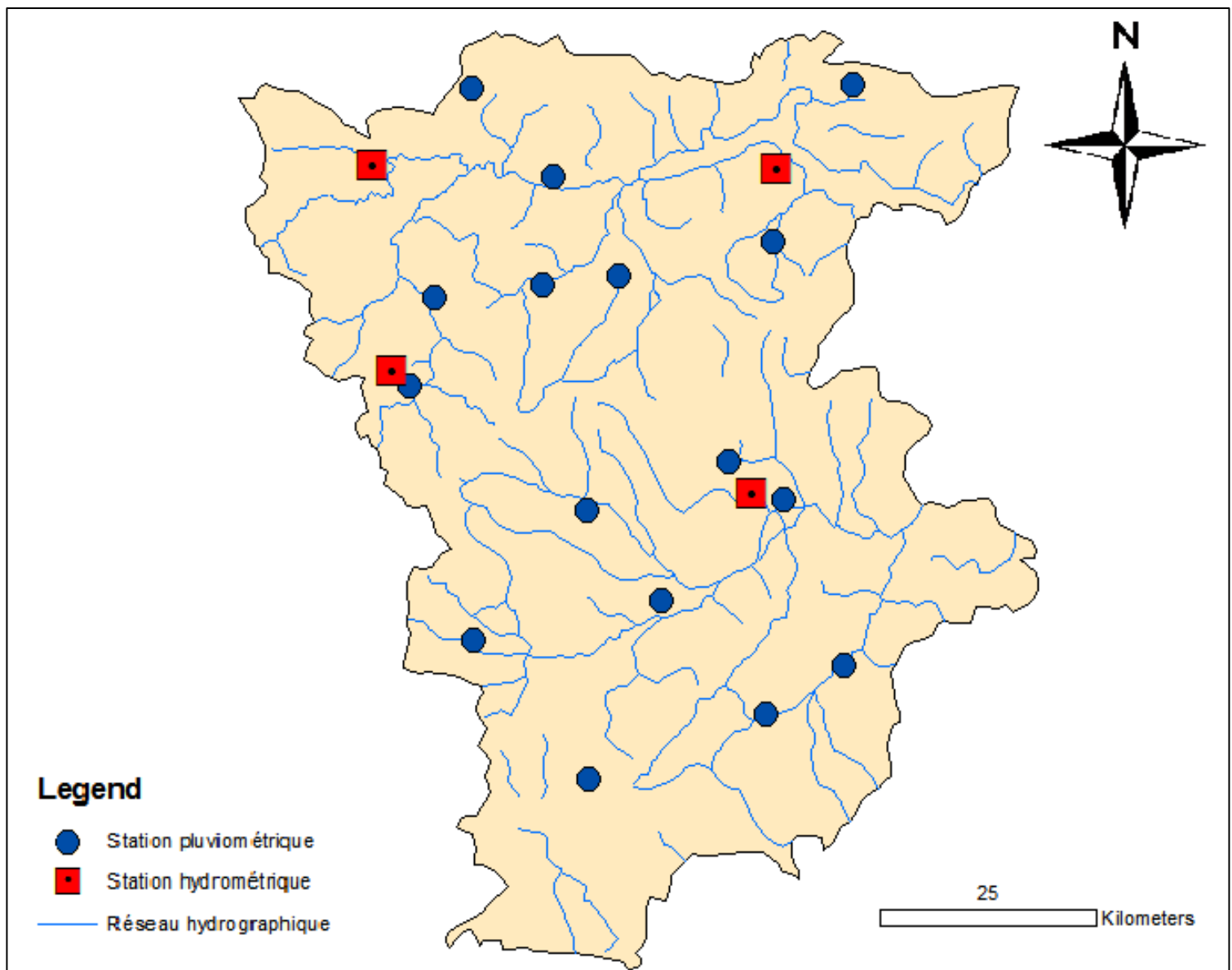
Figure 15 : Carte des pluies moyenne annuelles de nord algérien

## 6. Réseau pluviométrique de la ville

La ville de Mila dispose d'un réseau de mesure de faible densité comporte 16 stations sur une surface de 3478 km<sup>2</sup>, ce qui correspond à une densité moyenne d'un poste pour 217 km<sup>2</sup>. Les séries de données pluviométriques utilisées dans cette étude ont été fournies par l'ANRH de Constantine (Tableau 2), (Figure 7).

**Tableau 2 :** Localisation des stations pluviométriques retenues dans la wilaya de Mila

n	Code	X(m)	Y (m)	Période d'observation
1	100206	800000.00	360300.00	1980-2011
2	100208	789150.00	340350.00	1980-2011
3	100303	796150.00	318000.00	1980-2011
4	100306	804843.1238	331705.69	1980-2011
5	100402	829050.00	319250.00	1980-2011
6	100401	817150.00	337000.00	1980-2011
7	100404	821933.54	314925.36	1980-2011
8	100703	826050.00	369700.00	1980-2011



**Figure 16** :Réseaux de mesure pluviométrique de la région de Mila

## 7. Réseau hydrographique

En géographie physique, un réseau hydrographique est un organisme qui assure le drainage d'une aire délimitée par une ligne de partage des eaux. Il est composé de l'ensemble des cours d'eau et points d'eau irriguant un territoire.

### 7.1. Les oueds

#### ➤ Oued Rhumel

Est caractérisé par un réseau hydrographique très dense vu l'importante superficie qu'il draine d'un linéaire de plus de 123 Km, c'est l'oued le plus important. Il prend naissance dans les hautes plaines Sétifiennes, entaille les gorges de Constantine jusqu'à la confluence de l'Oued Endja autour de Sidi Merouane dans la ville de Mila.

Le principal affluent de la rivière est Oued Boumerzoug qui draine les zones industrielles et urbaines.

➤ **Oued Enndja**

D'un linéaire de 15 Km, il naît à la confluence de l'Oued El Kébir et de L'Oued Redjas, à l'instar de la haute vallée du Rhumel, il suit une direction Sud-Ouest Nord Est, mais cette fois à travers les reliefs montagneux, parallèlement à la chaîne numidique qui le borde au Nord. Il collecte les eaux des oueds Rarama (ou Djemila) ainsi que ceux de Bou Selah, de Redjas et d'El Melah. Son lit possède une forme lithologique très intéressante du point de vue hydrogéologique ce qui explique le réseau hydrologique dense du barrage de Beni Haroun.

➤ **Oued El Kébir**

L'oued Kébir résultant de la jonction des deux grands cours d'eau précédents (Rhumel et Endja) prend d'abord une direction Sud-Nord et franchit vigoureusement la chaîne numidique, bien exposée aux vents pluvieux en provenance de la Méditerranée. Puis en prenant une orientation Sud-Est Nord-Ouest, il traverse les massifs très arrosés de la petite Kabylie d'El Milia, avant de s'écouler dans une large vallée vers la mer.

Le bassin Beni Haroun présente un chevelu hydrographique très dense, totalisant un réseau de plus de 4200 km. Quarante oueds ont une longueur supérieure à 10 km.

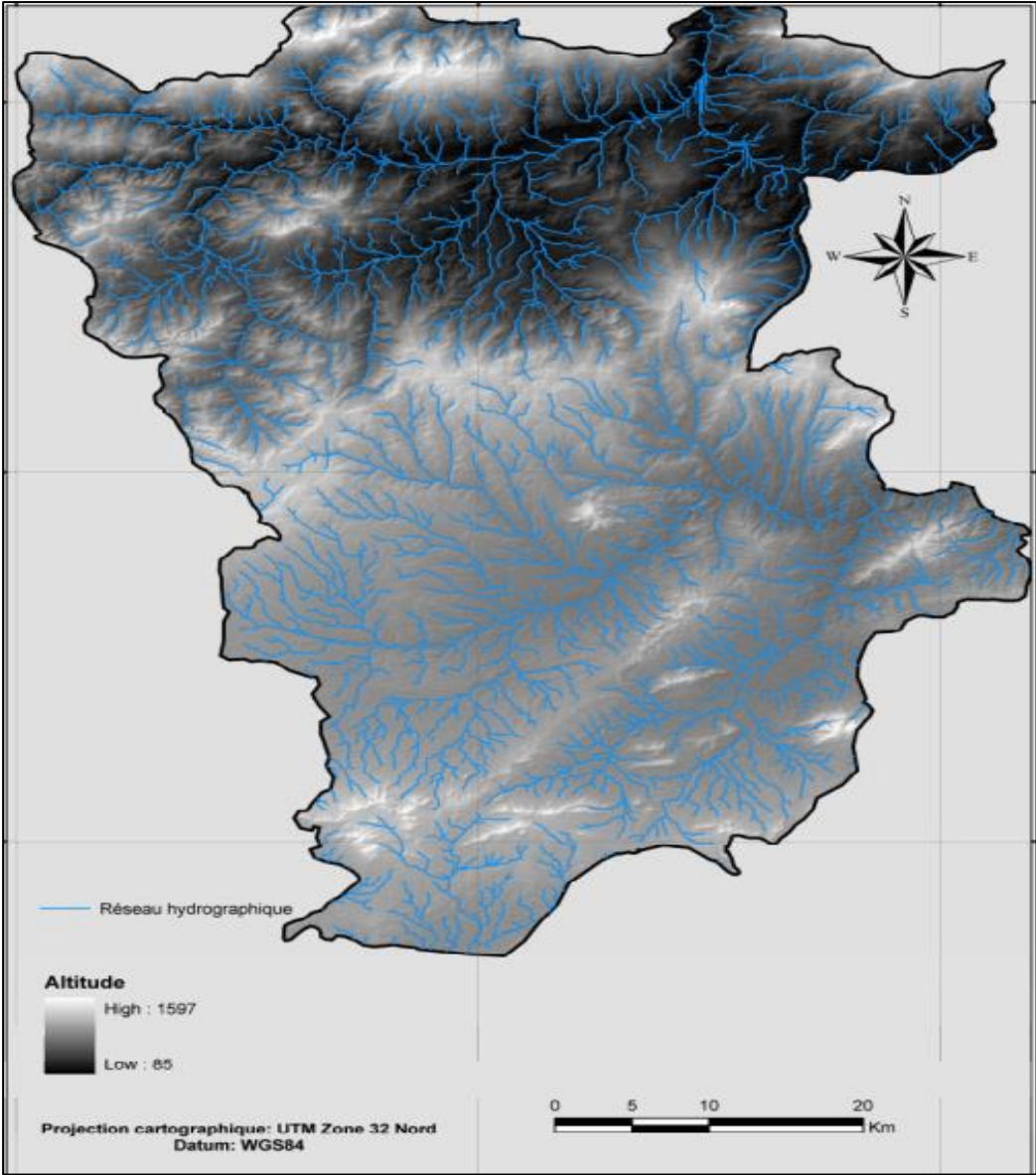


Figure 17 : Réseau hydrographique de la ville de Mila

### 7.2. Les barrages

Le barrage de Beni Haroun (40G60'-N-4G-36'E) considéré comme la plus grande zone humide superficielle algérienne et la seconde du continent africain (après le barrage de Al Sad El Alli en Egypte) couvre une superficie de 5328Km<sup>2</sup>, est situé au Nord Est du chef-lieu de la wilaya. Distant de moins de 15 km de Mila, il est implanté dans la commune de Hamala, daïra de Grarem Gouga, considéré avec une réserve de 1 milliard de m<sup>3</sup>d'eau atteinte en février 2012, répartis sur 3 900 hectares. Est situé sur l'oued el Kébir, est alimenté par deux bras principaux de Oued Rhumel et Oued Endja (nord-ouest de la région de El-Grarem wilaya de Mila). Sa mise en eau a commencé en aout 2003 et se poursuit lentement par étape jusqu'à ce jour [34].

### Synthèse

La région de Mila en Algérie se distingue par sa diversité géographique et sa géologie, qui se compose de formations rocheuses variées. Son climat est de type méditerranéen, avec des saisons bien marquées. La topographie de la région comprend des massifs montagneux ainsi que des cours d'eau importants tels que l'Oued Rhumel. Un élément notable est la présence du barrage de Béni Haroun, qui joue un rôle crucial dans l'approvisionnement en eau de la région. Cependant, la disponibilité limitée de données météorologiques et pluviométriques constitue un défi, pouvant affecter l'analyse précise des précipitations dans la région.





# **Chapitre III: Analyse fréquentielle**

## Introduction

La première étape de l'évaluation des risques hydrologiques consiste à caractériser l'aléa pluviométrique. Une connaissance approfondie de la pluviométrie d'une région permet d'obtenir des mesures de précipitations plus précises. Les séries de données pluviométriques disponibles nécessitent un traitement spécifique pour déterminer les valeurs centrales et les valeurs extrêmes. Pour parvenir à ces valeurs, différentes étapes de traitement sont nécessaires, telles que la création de séries de mesures et l'ajustement aux lois statistiques les plus couramment utilisées. Dans ce chapitre, nous appliquerons une analyse fréquentielle en utilisant les lois les plus connues en hydrologie (loi log-normale, loi de Gumbel, loi exponentielle) sur les précipitations journalières maximales annuelles.

### 1. Ajustement des lois de probabilité

#### 1.1. La loi log Normal

La loi log-normale est une distribution de probabilité continue où le logarithme de la variable aléatoire suit une distribution normale. Elle est utilisée pour modéliser des variables positives qui ont une distribution normale après avoir été transformées par le logarithme. Cette loi est souvent utilisée pour modéliser des phénomènes tels que les valeurs monétaires, les tailles des particules, les revenus, etc.[36]

On présente généralement la loi log-normale sous forme :

$$FD(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_u^{\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2} du$$

Avec

$$u = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}}$$

L'équation de la variable réduite  $U = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}}$ , présentée sous la forme :

$$\ln x = \overline{\ln x} + u\sigma_{\ln x} \dots \dots \dots ()$$

Est l'équation d'une droite tracée sur papier à probabilité log normale (papier GALTON) qui est un système de coordonnées dont l'abscisse est échelle une Gaussienne et l'ordonnée est en échelle Logarithmique

## 1.2. Loi de GUMBEL

La loi de Gumbel, également connue sous le nom de distribution de valeur extrême de type I, est une distribution statistique utilisée pour modéliser des valeurs extrêmes. Elle est souvent utilisée dans l'analyse des risques naturels et des phénomènes extrêmes tels que les crues, les tempêtes et les séismes. La loi de Gumbel est caractérisée par sa fonction de densité de probabilité exponentielle décroissante.[37]

La fonction de répartition de la loi de GUMBEL est :

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-x_0)}} \dots\dots\dots ()$$

Avec  $F(x)$  = Fréquence de non-dépassement de la valeur  $x$

$\alpha, x_0$  = coefficients d'ajustement.

Par un changement de variable:

$$y = \alpha(x-x_0) \dots\dots\dots ()$$

La loi de GUMBEL s'écrit :

$$F(x) = F(y) = e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots ()$$

Où  $y$  est la variable réduite de Gumbel, liée à la probabilité attachée à la valeur  $x$ .

$F(y)$  = Fréquence de non-dépassement de la variable réduite  $y$ .

L'équation  $y = \alpha(x-x_0)$  présentée sous la forme :

$$x = \frac{1}{\alpha}y + X_0 \dots\dots\dots ()$$

Une loi exponentielle correspond au modèle suivant :

$X$  est une variable aléatoire définissant la durée de vie d'un phénomène. Si l'espérance de vie du phénomène est  $E(X)$  et si la durée de vie est *sans vieillissement*, c'est-à-dire si la durée de vie au-delà de l'instant  $T$  est indépendante de l'instant  $T$ , alors  $X$  a pour densité de probabilité :

- $f(t) = 0$  si  $t < 0$

- $f(t) = \frac{1}{E(X)} e^{-\frac{t}{E(X)}}$  pour tout  $t \geq 0$ .

### 1.3. Loi Exponentielle

La loi exponentielle est une distribution continue qui modélise le temps écoulé entre deux événements successifs d'un processus de Poisson. Elle est caractérisée par sa fonction de densité de probabilité décroissante exponentiellement. Cette loi est largement utilisée dans le domaine de la fiabilité et des études de durée de vie.[38]

Fonction de densité de probabilité (PDF) :

$$\begin{cases} F(t) = \frac{1}{E(x)} * e^{-\frac{t}{E(x)}} & \dots\dots\dots( \\ F(t) = 0 \text{ si: } t < 0 \end{cases}$$

### 2. Test d'adéquation

Lorsqu'il s'agit d'évaluer la pertinence d'un ajustement statistique, plusieurs tests d'adéquation sont disponibles. Ces tests permettent de vérifier si la distribution statistique choisie pour représenter les données est en accord avec les observations réelles. Parmi les tests les plus couramment utilisés, on peut citer le test de Kolmogorov-Smirnov, le test de Chi-square ( $\chi^2$ ). Chacun de ces tests présente ses propres caractéristiques et hypothèses, et le choix du test approprié dépend de la nature des données et du contexte de l'étude.

- **Test du Chi-Carre**

Le test du chi-carré est soit un test d'ajustement, soit un test de conformité. Dans le premier cas on teste si la fréquence cumulée empirique (ou observée)  $F(x)$  est identique à la fonction de répartition théorique  $F_Q(x)$  qui résulte de l'ajustement. Dans le second cas (test de conformité) on compare la fréquence cumulée observée  $F(x)$  à un modèle théorique  $F_Q(x)$  défini a priori.

Bien que le test du chi-carré soit appliqué ici aux variables continues, il peut également l'être à des variables discrètes.

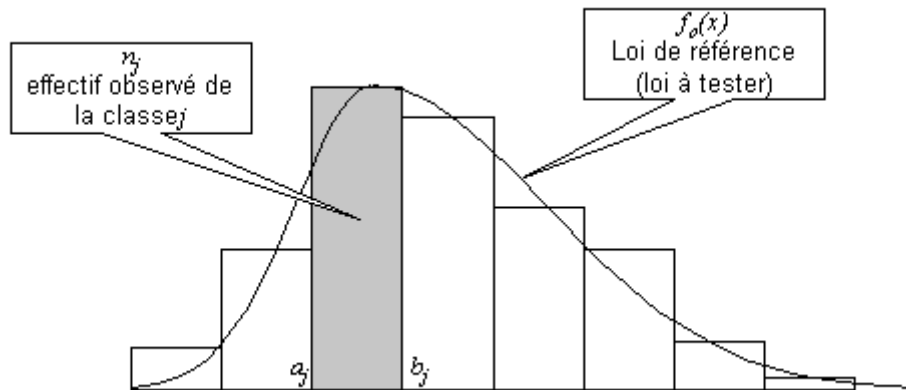
- **Principe et caractéristiques**

Le Principe du test repose sur la comparaison, pour une classe donnée, de l'effectif observé  $n_j$  et de l'effectif théorique  $n_{0j}$ , c'est-à-dire l'effectif de la classe  $j$  pour la fonction de répartition théorique  $F_0(x)$  (Figure). Le test lui-même consiste à vérifier que la somme des carrés des différences  $n_j - n_{0j}$  reste dans des limites compatibles avec les fluctuations d'échantillonnage auxquelles il faut s'attendre.

- $H_0: F(x) = F_0(x), \forall x.$

- $H_1 : F(x) \neq F_0(x)$ , pour au moins une valeur  $x$ .

Le test  $\chi^2$  est non paramétrique.



**Figure 18** : principe du test du chi carré

A condition que  $n$  (effectif total de l'échantillon) soit suffisamment grand il n'y a malheureusement que peu de renseignements plus précis dans la littérature! La quantité:

$$\chi_{\text{obs}}^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_j - n_{0j})^2}{n_{0j}} \dots \dots (40)$$

Suit une loi du chi-carré à  $\nu$  degrés de libertés ( $k$  est le nombre de classes considérées).

Le nombre de degrés de liberté  $\nu$  vaut  $k-1-p$ , où  $k$  est le nombre de classes et  $p$  le nombre de paramètres de la loi  $F_0(x)$  à tester qui ont été estimés à partir de l'échantillon. Le nombre de degrés de liberté dépend donc du type de test effectué:

- Pour un test de conformité  $\nu = k - 1$ .
- Pour un test d'ajustement  $\nu = k - p - 1$ .

**- Ajustements des pluies journalières maximales :**

Dans la suite du travail, à titre explicative, nous allons détailler les calculs pour la station MCHIRA Pour le reste des stations seulement des synthèses des résultats voir (**Annexe01**).

**Tableau 3:** Classement des valeurs par ordre croissant (MCHIRA)

N°	Années	$P_{jmax}$	Valeurs ordonnées	Fréquence. expér	Variable de Gumbel	Valeurs Théorique	Valeurs. expér	Bornes .Inf	Bornes .Sup
1	1980	35,9	10,00	0,02	-1,425	-10,18	10,00	-29,31	0,40
2	1981	12,7	10,20	0,05	-1,119	-3,76	10,20	-19,88	5,77
3	1982	143,9	10,40	0,08	-0,936	0,06	10,40	-14,39	9,09
4	1983	25,14	10,70	0,11	-0,794	3,02	10,70	-10,22	11,75
5	1984	15	12,00	0,14	-0,674	5,55	12,00	-6,75	14,09
6	1985	12	12,70	0,17	-0,566	7,80	12,70	-3,71	16,25
7	1986	13	13,00	0,20	-0,466	9,89	13,00	-0,96	18,32
8	1987	10	14,00	0,23	-0,372	11,86	14,00	1,56	20,33
9	1988	16	15,00	0,27	-0,282	13,75	15,00	3,93	22,32
10	1989	10,7	16,00	0,30	-0,194	15,58	16,00	6,16	24,32
11	1990	81	18,50	0,33	-0,108	17,38	18,50	8,28	26,34
12	1991	37,5	22,30	0,36	-0,023	19,16	22,30	10,32	28,40
13	1992	24	24,00	0,39	0,062	20,94	24,00	12,30	30,53
14	1993	22,3	24,50	0,42	0,147	22,73	24,50	14,23	32,72
15	1994	37,1	24,50	0,45	0,234	24,54	24,50	16,12	35,00
16	1995	59,7	24,60	0,48	0,322	26,38	24,60	17,99	37,37
17	1996	24,9	24,90	0,52	0,412	28,27	24,90	19,85	39,86
18	1997	40,4	25,00	0,55	0,505	30,22	25,00	21,72	42,49
19	1998	24,6	25,14	0,58	0,602	32,24	25,14	23,60	45,26
20	1999	28,4	28,40	0,61	0,703	34,35	28,40	25,52	48,21
21	2000	37,5	28,60	0,64	0,809	36,58	28,60	27,50	51,37
22	2001	36,9	29,70	0,67	0,922	38,95	29,70	29,56	54,77
23	2002	29,7	35,90	0,70	1,043	41,49	35,90	31,72	58,46
24	2003	25	36,90	0,73	1,175	44,25	36,90	34,02	62,51
25	2004	10,4	37,10	0,77	1,320	47,28	37,10	36,51	67,02

26	2005	75,3	37,50	0,80	1,483	50,68	37,50	39,26	72,10
27	2006	24,5	37,50	0,83	1,668	54,56	37,50	42,35	77,96
28	2007	10,2	40,40	0,86	1,887	59,14	40,40	45,95	84,91
29	2008	14	59,70	0,89	2,156	64,76	59,70	50,31	93,52
30	2009	28,6	75,30	0,92	2,509	72,16	75,30	55,98	104,89
31	2010	18,5	81,00	0,95	3,036	83,20	81,00	64,35	121,96
32	2011	24,5	143,90	0,98	4,151	106,53	143,90	81,82	158,26

- Ajustement des lois de probabilité :

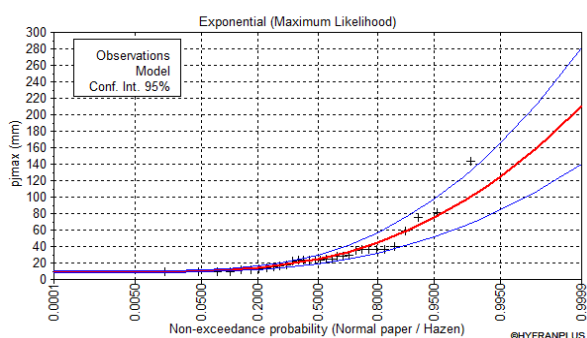


Figure 19 : loi Exponentiel

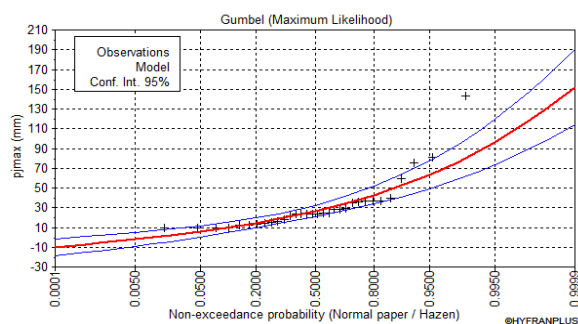


Figure 20 : loi de Gumbel

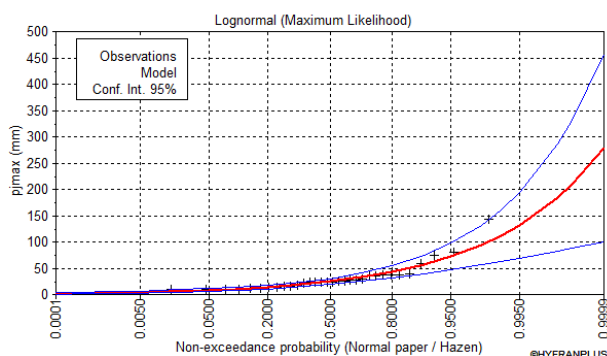


Figure 21 : loi de log normal

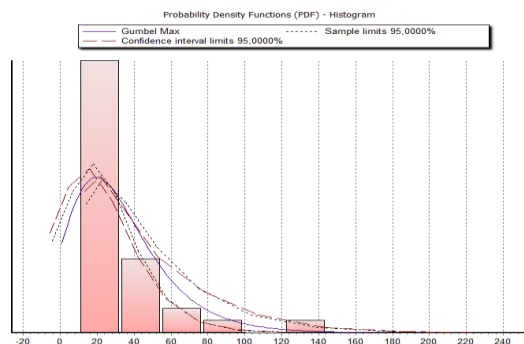


Figure 22: fonction de densité (03lois)

### 2.b. Test d'adéquation de l'ajustement

Pour vérifier l'adéquation de l'ajustement des trois lois utilisées avec la moyenne et l'écart type calculés, nous avons utilisé de test de Khi-deux pour un seuil de signification de signification de 95%.

**Tableau 4** : Résultats de test de Khi-deux

Loi	Gumbel	LogNormal	Exponentielle		Observation	Observation	Observation
station	$X^2_{\text{Calculé}}$	$X^2_{\text{Calculé}}$	$X^2_{\text{Calculé}}$	$X^2_{\text{tableau}}$	Loi de Gumbel	Loi Log Normal	Loi Exponentielle
100206	8.55	2.18	4.91	5.991	vérifier	vérifier	vérifier
100208	3.5	2.5	14.5	11.07	vérifier	vérifier	Non vérifier
100303	5.00	4.50	18.00	11.07	vérifier	vérifier	Non vérifier
100306	6.00	5.00	15.00	11.07	vérifier	vérifier	Non vérifier
100402	3.5	2.5	14.5	11.07	vérifier	vérifier	Non vérifier
100401	7.00	5.00	4.5	11.07	vérifier	vérifier	vérifier
100404	10.00	5.00	6.00	11.07	vérifier	vérifier	vérifier
100703	3.50	3.50	10.00	11.07	vérifier	vérifier	vérifier

D'après les résultats de test d'adéquation sur les pluies journalières maximales annuelles des stations de la wilaya de Mila avec l'examen visuel et le test de Khi-deux, les données de toutes les stations s'ajustent bien aux lois log normal, Gumbel, mais seulement quatre stations qui s'ajustent bien avec la loi exponentielle sur un intervalle de confiance à 95%.

Après nous avons utilisé la loi de Gumbel pour estimer les pluies de différentes périodes de retour.

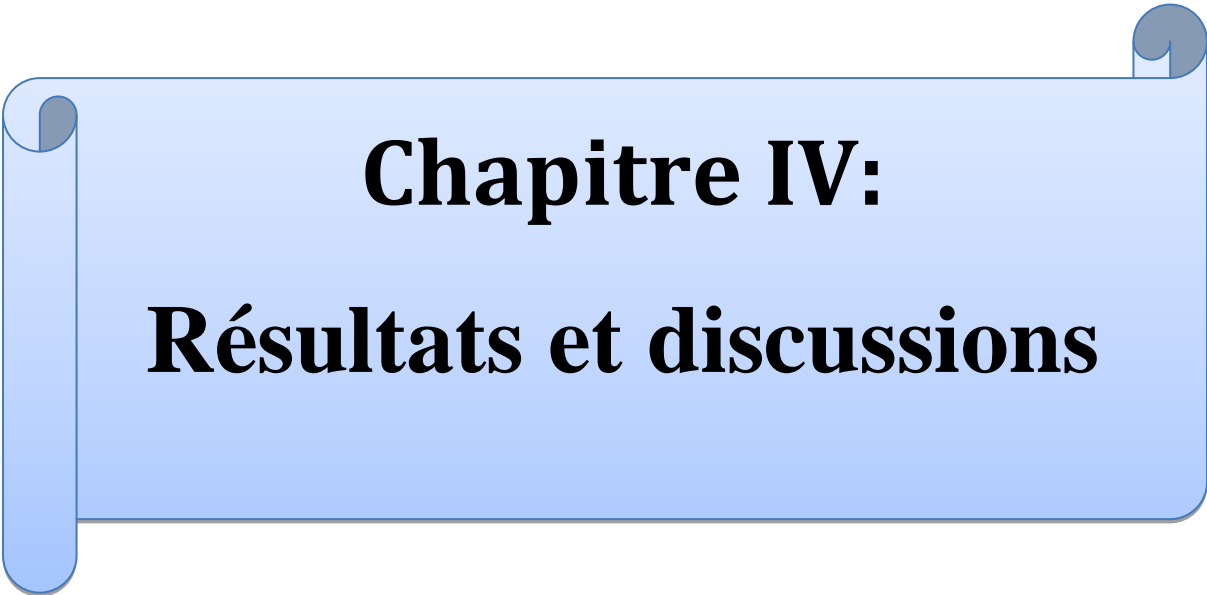


Tableau 5 : les pluies maximales journalières pour différentes périodes de retour

périodes de retour. (ans)	02	05	10	20	50	100	1000
100206	33.2	54.2	68.1	81.5	98.7	112	154
100208	35.7	47.9	55.9	63.6	73.7	81.1	106
100303	31.8	42.6	49.7	56.5	65.4	72	93.9
100306	25	34.5	40.9	47	54.9	60.8	80.3
100402	25.4	36	43.1	49.9	58.6	65.2	86.9
100401	34.8	49.1	58.6	67.7	79.4	88.2	117
100404	26.6	42.7	53.3	63.5	76.7	86.6	119
100703	61.1	79.5	91.7	103	118	130	167

**Synthèse**

L'ajustement des lois de probabilité joue un rôle crucial dans l'analyse statistique des données. Dans le cadre de cette étude, trois lois de probabilité différentes, à savoir la loi log-normale, la loi de Gumbel et la loi exponentielle, ont été utilisées pour modéliser les données de pluies journalières maximales annuelles. Pour évaluer la pertinence de ces lois par rapport aux données observées, le test de Khi-deux a été appliqué. Les résultats obtenus ont démontré que les données de toutes les stations s'ajustent bien aux lois log normal, Gumbel, mais seulement quatre stations qui s'ajustent bien avec la loi exponentielle sur un intervalle de confiance à 95%. Toutefois, il convient de souligner que ces ajustements reposent sur certaines hypothèses et limites de validité qui doivent être vérifiées pour chaque cas spécifique.



**Chapitre IV:**  
**Résultats et discussions**

## Introduction

De nombreuses études hydrologiques portant sur des phénomènes spatiaux se basent sur des données acquises de manière ponctuelle. En conséquence, les variations des différentes propriétés observables à la surface de la Terre varient de manière irrégulière d'un endroit à un autre, et elles ne peuvent pas être décrites par une fonction mathématique simple. Cependant, la théorie des variables régionalisées tient compte de la structure spatiale lors des calculs d'interpolation du phénomène.

### 1. Etude de la fiabilité des données en ligne

Le but de notre étude est d'étudier la fiabilité des données en ligne fournies par plusieurs sources à savoir Global weatherdata for swat et les données de Naza, les résultats de comparaison avec les données mesurées aux sols par l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH), ont montré qu'il n'existe aucun lien entre les données des deux sources avec les mesures aux sols (tab 6, tab 7).

**Tableau 6** : les valeurs de coefficient de corrélation entre les stations d'ANRH et SWAT

Station	Coefficient de corrélation		
	36163	36466	36456
100404	0.083066		
100603		0.008367	
100104			0.082462

**Tableau 7** : les valeurs de coefficient de corrélation entre les stations d'ANRH et NAZA

Station	Coefficient de corrélation		
	Naza 06	Naza 03	Naza 04
050502	0.083666		
052003		0.04795832	
051005			0.0083666

Pour cela nous avons utilisé le logiciel Arc-Gis 10.03 et les données mesurées par l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH), pour la création des cartes des paramètres climatiques à savoir, les pluies de différentes périodes de retour et le coefficient climatique pour la création des cartes de la température et l'évapotranspiration nous avons utilisé les données de Global weatherdata for swat.

## 2. Arc-gis

L'ArcGIS 10.3 est un logiciel de système d'information géographique créé par l'entreprise ESRI (Environmental System Research Institute). Il s'agit d'un outil utilisé pour gérer, visualiser, cartographier, interroger et analyser des données qui ont une composante spatiale. ArcGIS est disponible sous trois licences offrant des fonctionnalités croissantes : ArcView, ArcEditor et ArcInfo.

### 2.1.Domain d'utilisation Arc-Gis

ArcGIS est une solution complète qui englobe la collecte, l'organisation, la gestion, l'analyse, la communication et la diffusion d'informations géographiques. En tant que principale plateforme mondiale de développement et d'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG), ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour exploiter les connaissances géographiques dans divers domaines tels que le gouvernement, les entreprises, la science, l'éducation et les médias. Il permet également la publication d'informations géographiques de manière à les rendre accessibles et exploitables pour tous. ArcGIS est un outil polyvalent qui peut être utilisé pour résoudre des problèmes dans divers domaines tels que :

- ❖ Hydrologie,
- ❖ Statistique,
- ❖ Géologie,
- ❖ Géostatique,
- ❖ Cartographie,
- ❖ Biologie,

**Tableau 8** : Caractéristique statistiques des stations étudiées (Pjmax annuelle)

Station	100703	100206	100208	100303	100306	100402	100401	100404
<b>moyenne (mm)</b>	65.35	33.82	38.18	33.74	26.00	29.01	38.66	23.33
<b>écart-type (mm)</b>	23.55	7.41	13.11	9.99	9.48	12.03	18.27	22.23
<b>Min (mm)</b>	36.50	21.00	15.00	14.40	16.00	22.10	17.70	10.00
<b>Max (mm)</b>	159.00	39.85	71.50	59.00	48.00	56.00	83.50	81.00
<b>Cv</b>	0.36	0.22	0.34	0.30	0.36	0.41	0.47	0.95

### 3. Evaluation des méthodes d'interpolation spatiale sur la wilaya de Mila

Dans cette étude, nous cherchons à évaluer l'erreur des différentes méthodes d'interpolation spatiale utilisées dans le site d'étude. Nous souhaitons déterminer si l'une de ces méthodes offre de meilleurs résultats globaux lors de l'estimation de la pluviométrie, c'est-à-dire une méthode qui minimise la distance entre le champ de pluie observée et le champ estimé. Pour cela, nous allons évaluer six méthodes spécifiques dans la wilaya de Mila en utilisant des échantillons de pluie. Les méthodes étudiées comprennent l'inverse des distances, l'interpolation polynomiale globale et la fonction de base radiale pour les méthodes déterministes, ainsi que le krigeage ordinaire, le krigeage universel et le krigeage simple pour les méthodes stochastiques.

### 4. Un échantillon des pluies analysé

Pour évaluer les méthodes d'interpolation spatiale, nous avons réalisé des cartes basées sur les hauteurs d'eau précipitées recueillies à partir des pluviomètres de la wilaya de Mila. Afin d'obtenir un ensemble de résultats représentatifs, ces interpolations ont été effectuées sur les précipitations journalières maximales annuelles pour la période allant de 1980 à 2011, soit sur une période de 32 ans. Les valeurs de ces précipitations varient de 10 à 159 mm.

### 5. La moyenne d'erreur quadratique

La moyenne de l'erreur quadratique, également appelée MSE (MeanSquaredError) en anglais, est une mesure couramment utilisée pour évaluer la performance d'un modèle prédictif. Elle quantifie la différence entre les valeurs réelles et les valeurs prédites par le modèle en calculant la moyenne des carrés des écarts entre ces deux types de valeurs. Pour calculer la MSE, on soustrait chaque valeur prédite de sa valeur réelle, on élève le résultat au carré, puis on fait la moyenne de tous ces carrés. En d'autres termes, on calcule la somme des écarts quadratiques entre les prédictions et les valeurs réelles, puis on divise ce total par le nombre d'observations.

**Tableau 9** : Erreur d'estimation moyenne globale pour les six méthodes

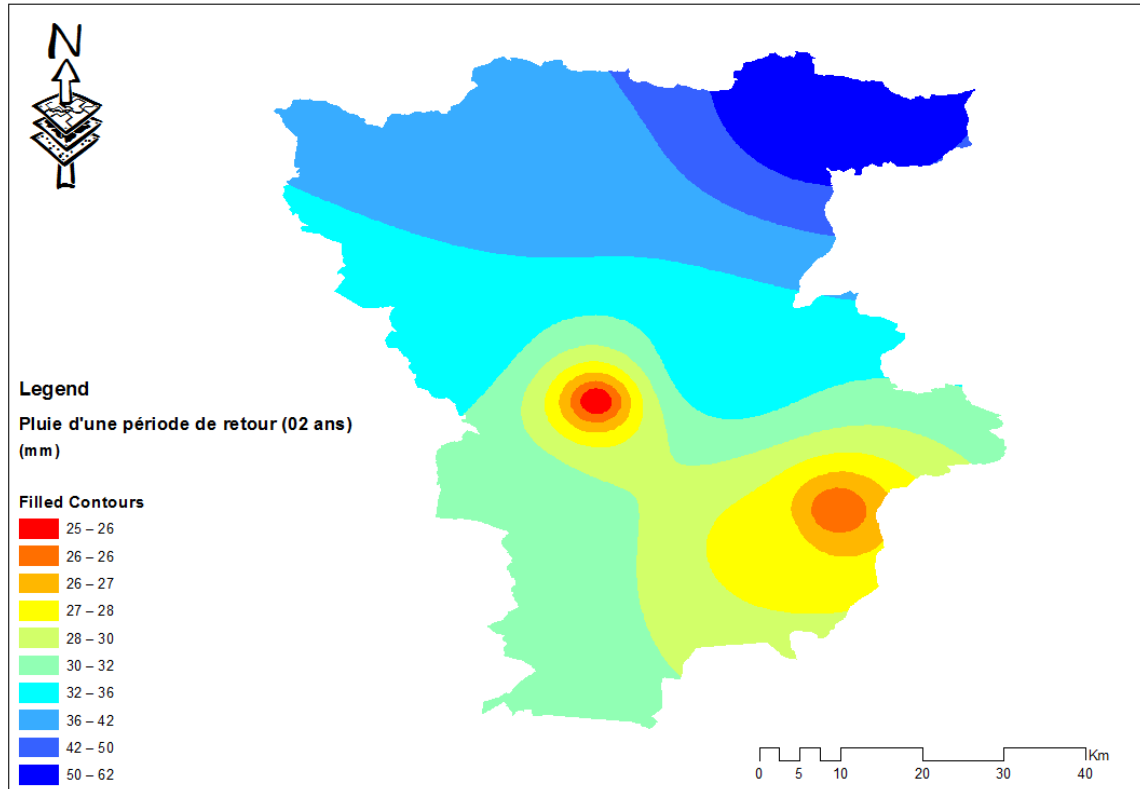
Méthode	IDW	GPI	RBF	KO	KU	KS
Mean	-3	-1.79	-1.85	-1.44	-1.44	-1.02
moyenne d'erreur quadratique	10.73	10.74	10.16	6.29	6.29	10.58

#### 5.1. Résultats de l'évaluation et observations

Les valeurs moyennes des erreurs absolues entre les valeurs observées et les valeurs estimées des précipitations journalières maximales annuelles indiquent que les différences d'estimation entre les méthodes restent comprises entre 6 et 11 mm, pour des hauteurs d'eau précipitée allant de 10 à 159 mm. Nous observons que les six méthodes d'interpolation produisent des estimations moyennes globales assez similaires en termes d'erreurs. Ces résultats sont présentés dans le tableau (9).

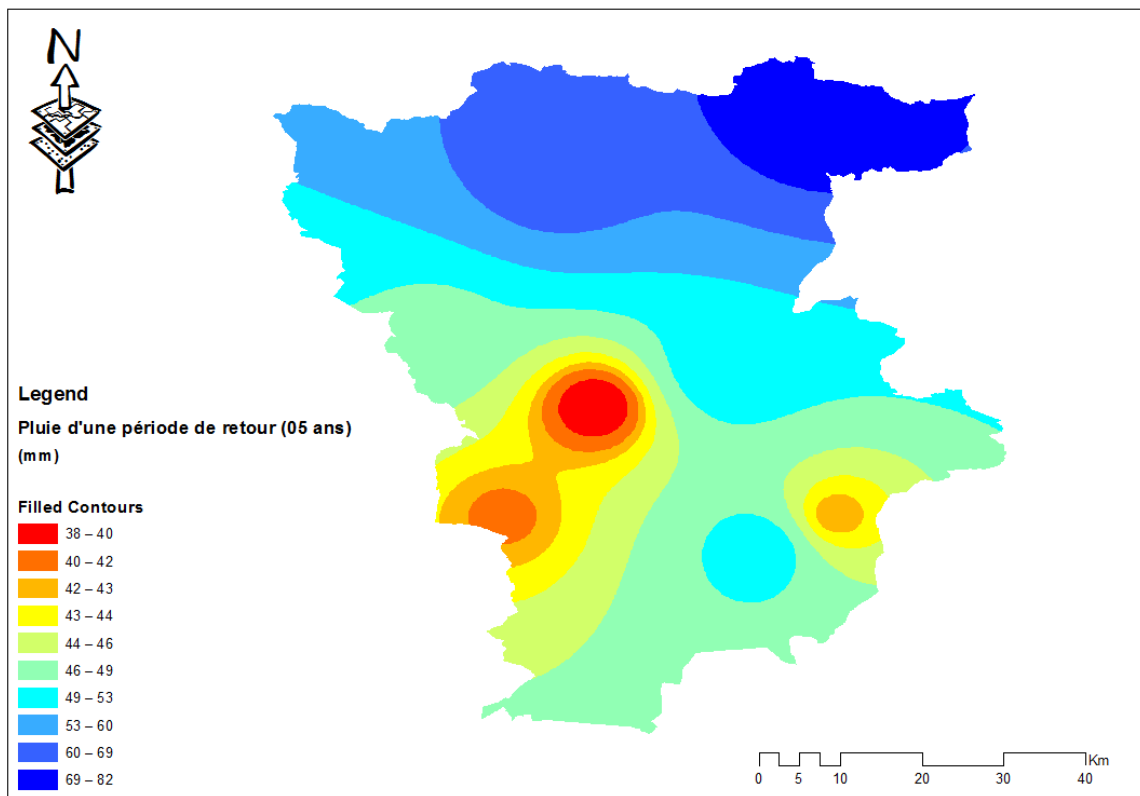
Pour le reste du travail, nous avons utilisé la méthode d'inverse des distances (**IDW**) pour la cartographie des paramètres climatologique (Pjmax, température, évapotranspiration).

## 6. Application de la méthode d'interpolation spatiale sur les pluies de différentes périodes de retour

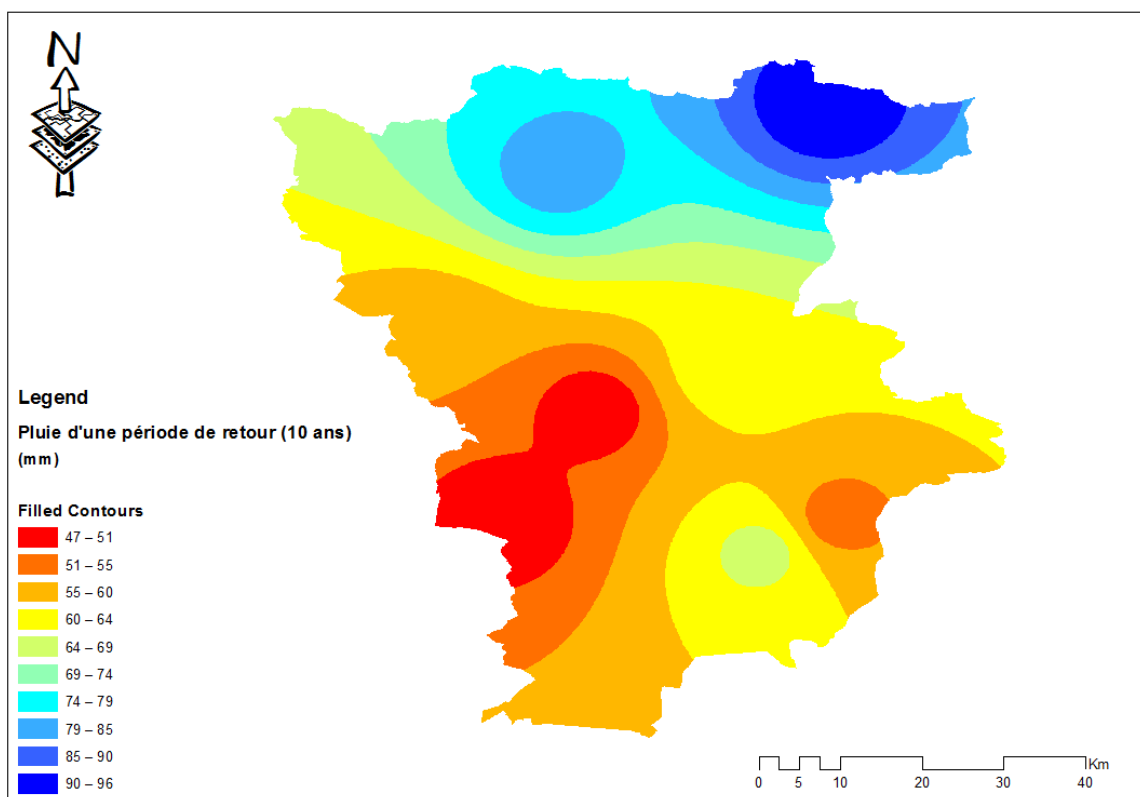


**Figure 23 :** Carte de  $P_{jmax}$  annuelle interpolée (période de retour 2 ans).

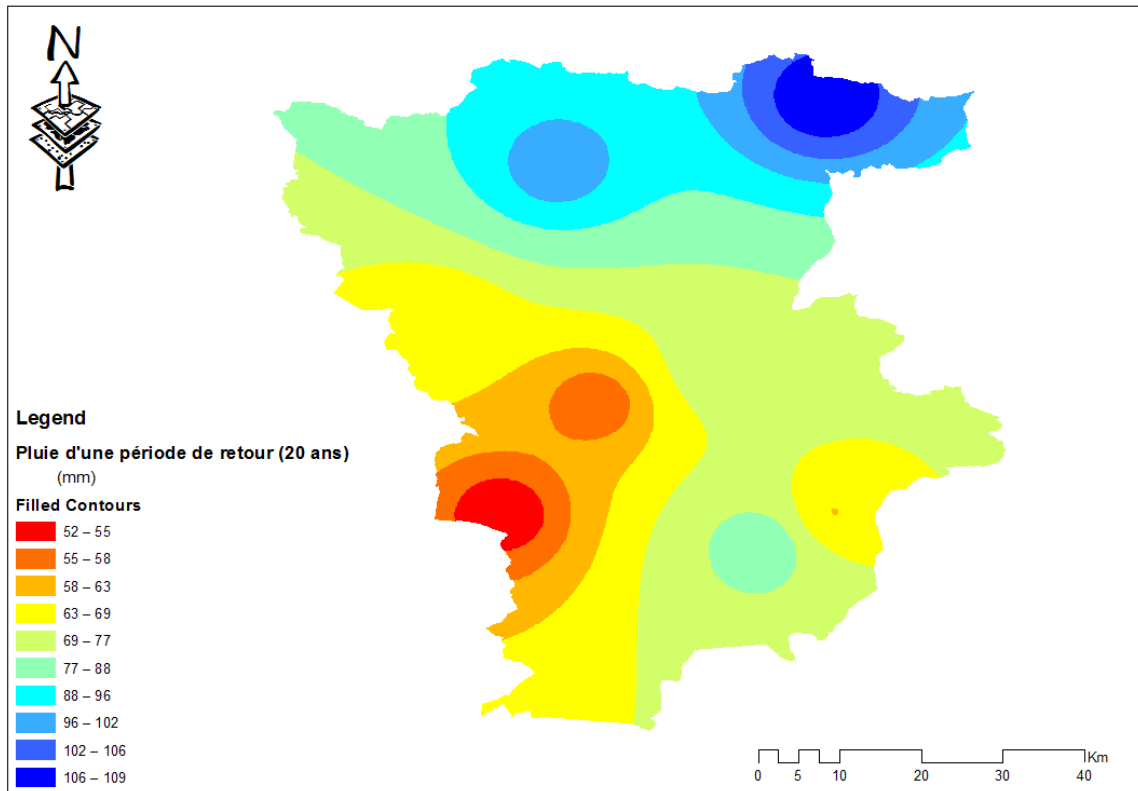




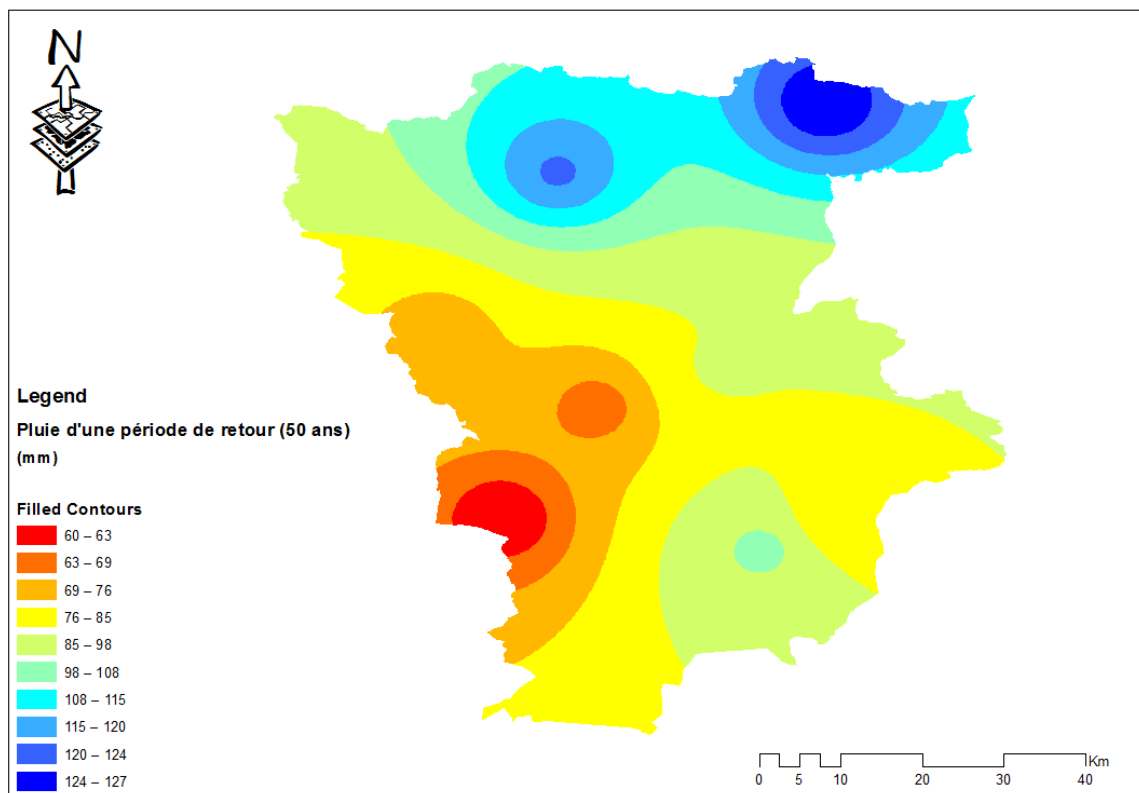
**Figure 24 :** Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 05 ans).



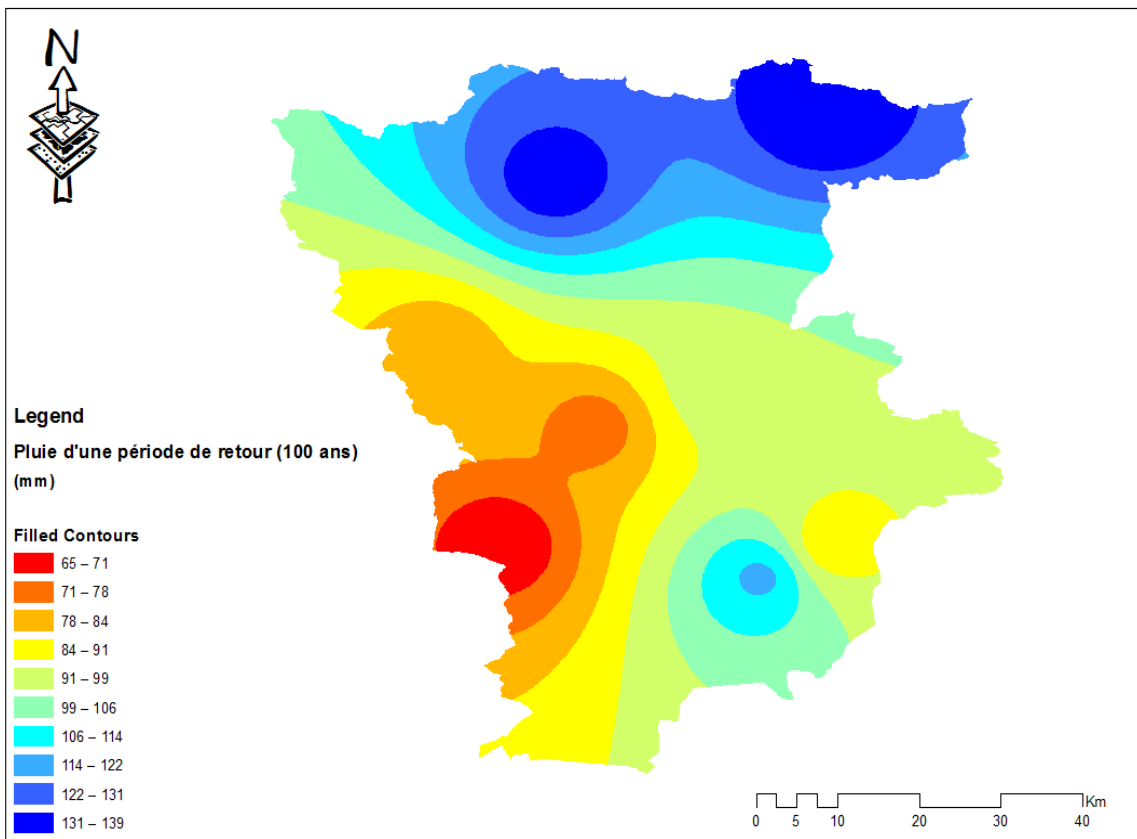
**Figure 25 :** Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 10 ans).



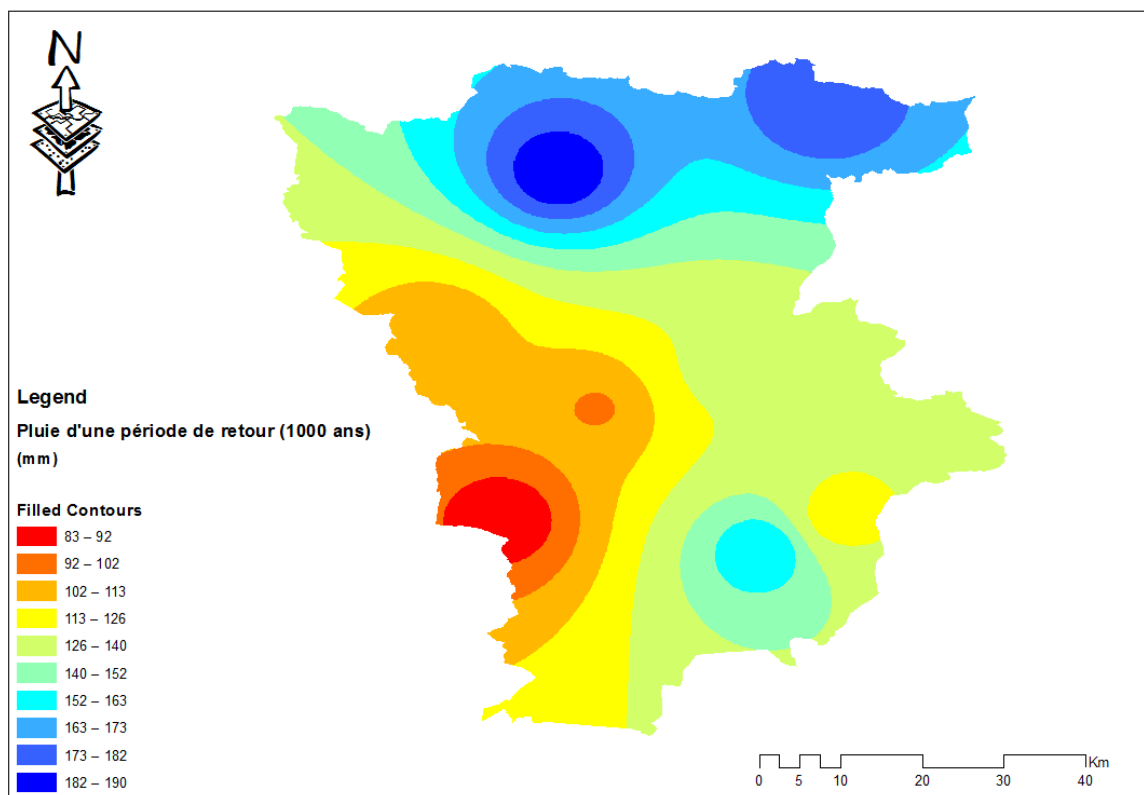
**Figure 26 :** Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 20 ans).



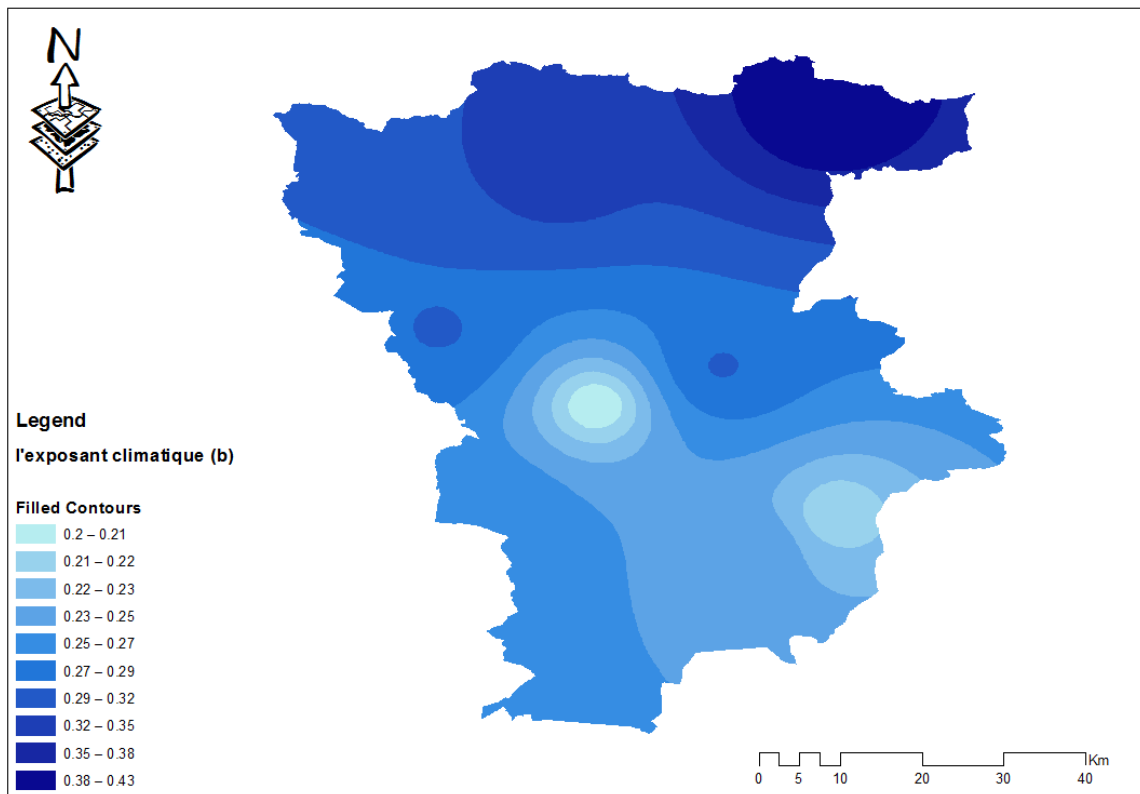
**Figure 27 :** Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 50 ans)



**Figure 28 :** Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 100 ans).



**Figure 29 :** Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 1000 ans).



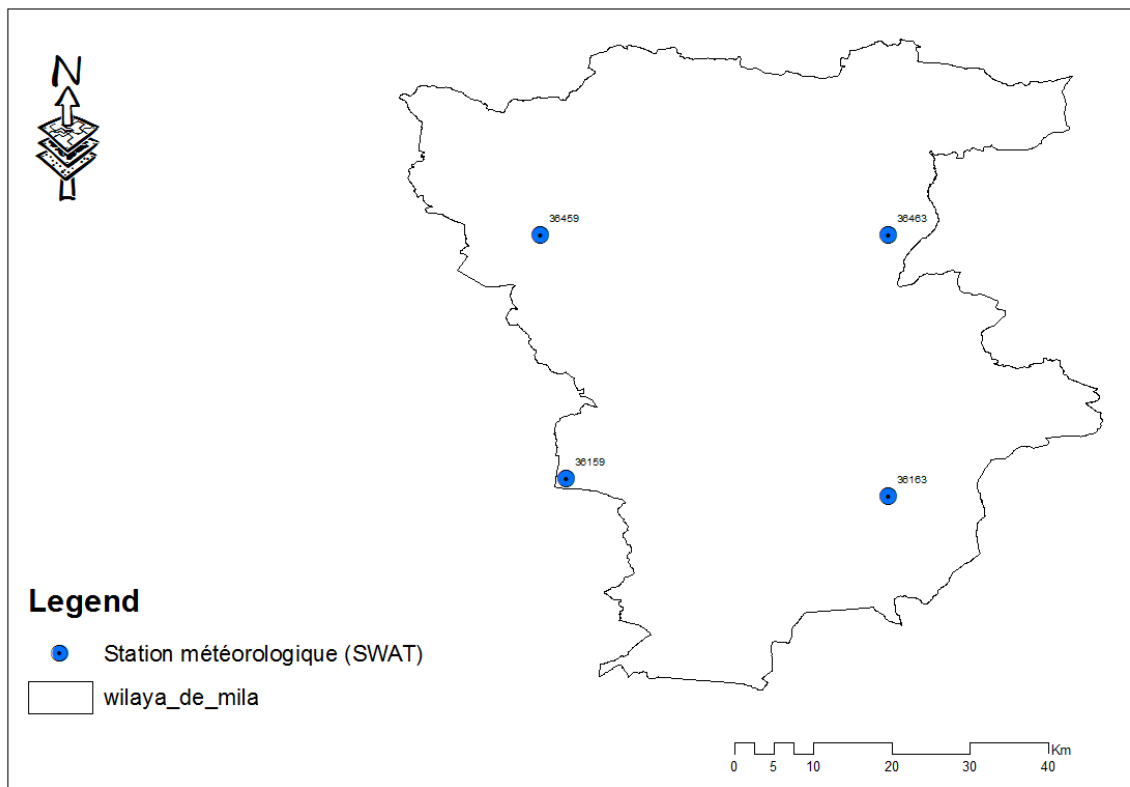
**Figure 30 :** Carte de l'exposant climatique

### 7. Application de la méthode d'interpolation spatiale sur les températures

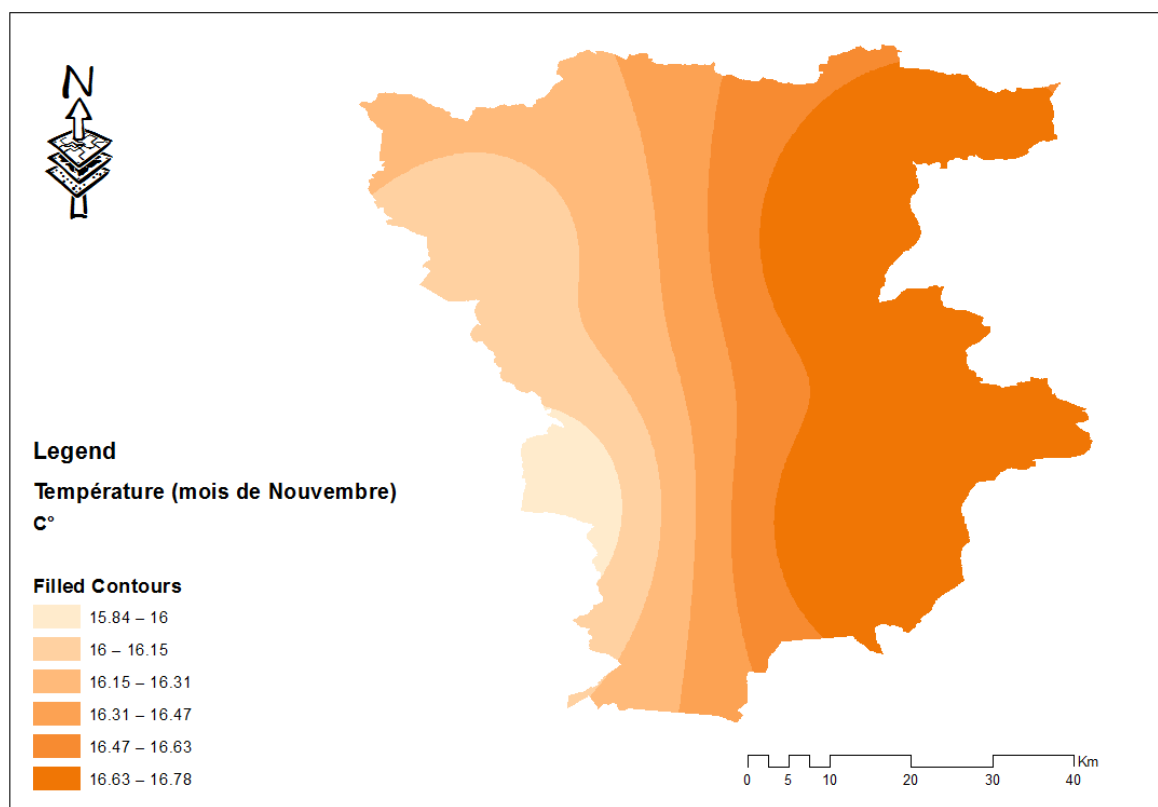
Pour notre cas en raison du manque des stations météorologiques dans la wilaya de Mila, et pour le calcul de température et l'évapotranspiration nous avons utilisé les données de température estimées par Global weather data for swat et la formule de Thornthwaite. (figure(32) ; tableau(10) )

**Tableau 10 :** Le réseau de mesure (SWAT)

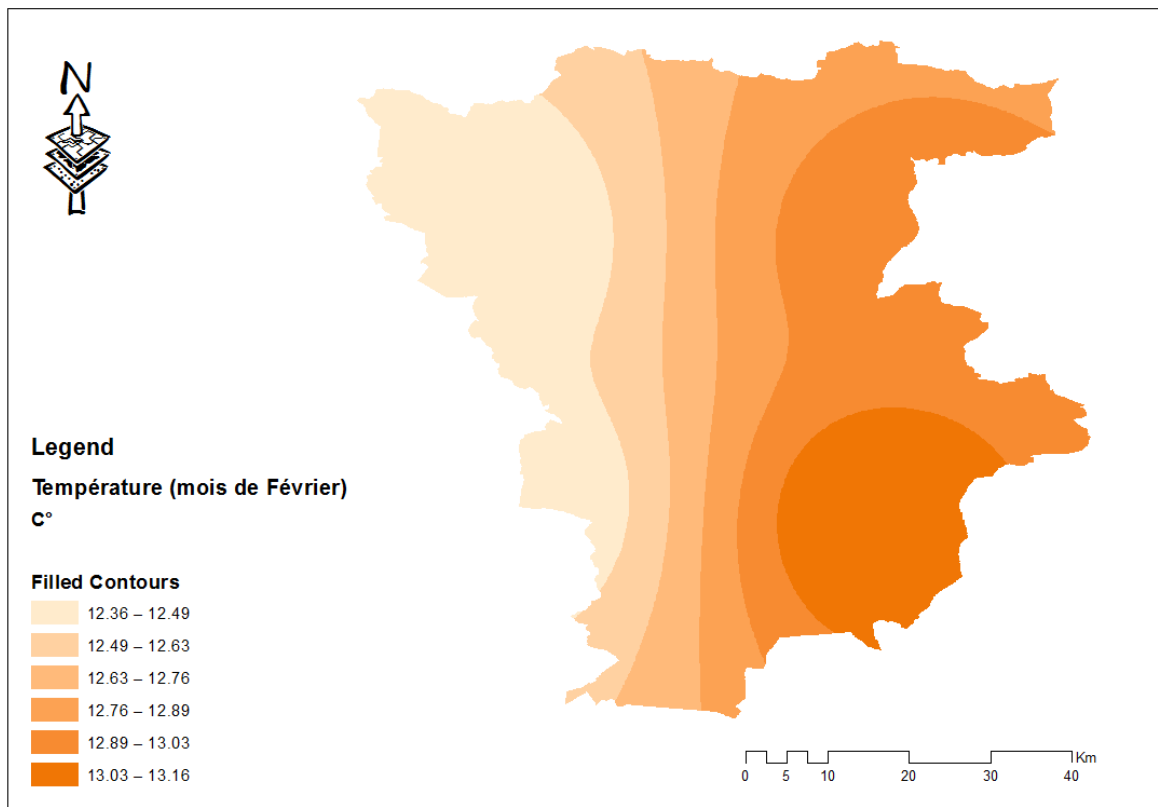
Station	Longitude	Latitude	Période d'observation
36159	5.9	36.1	1979-2012
36163	6.3	36.1	1979-2012
36459	5.9	36.4	1979-2012
36463	6.3	36.4	1979-2012



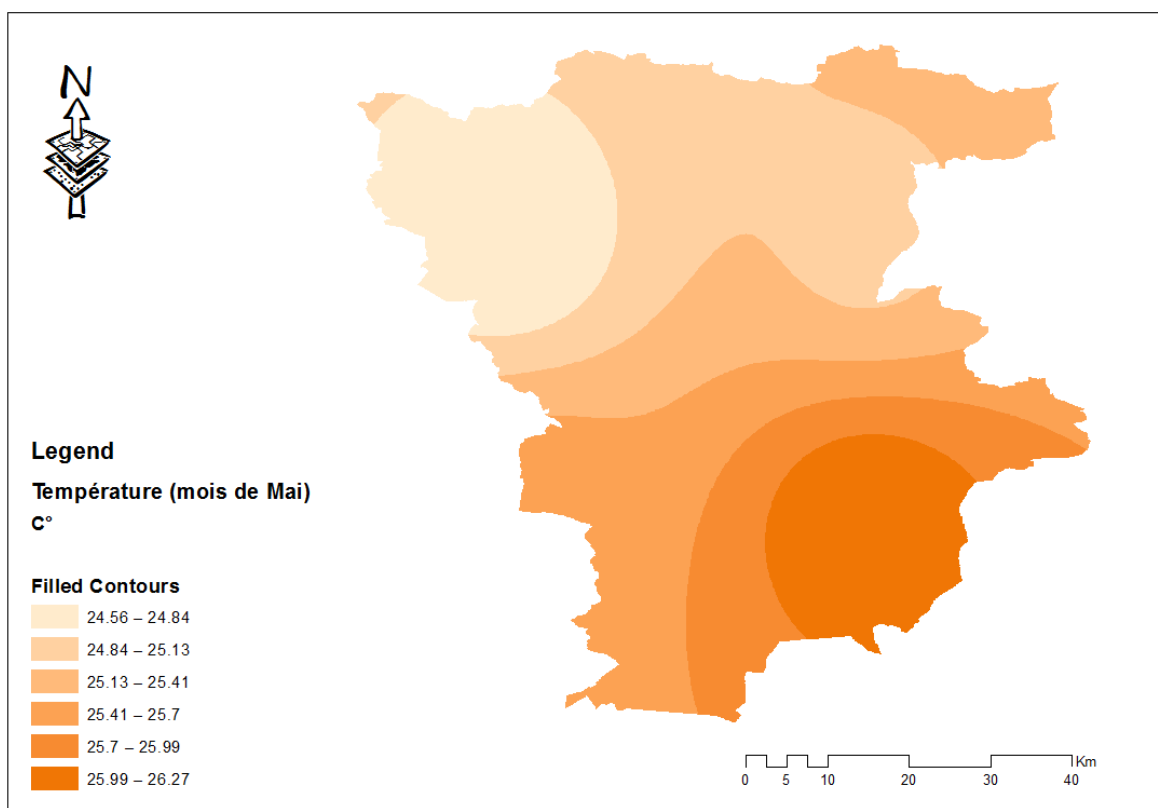
**Figure 31 :** Réseau météorologique (station swat)



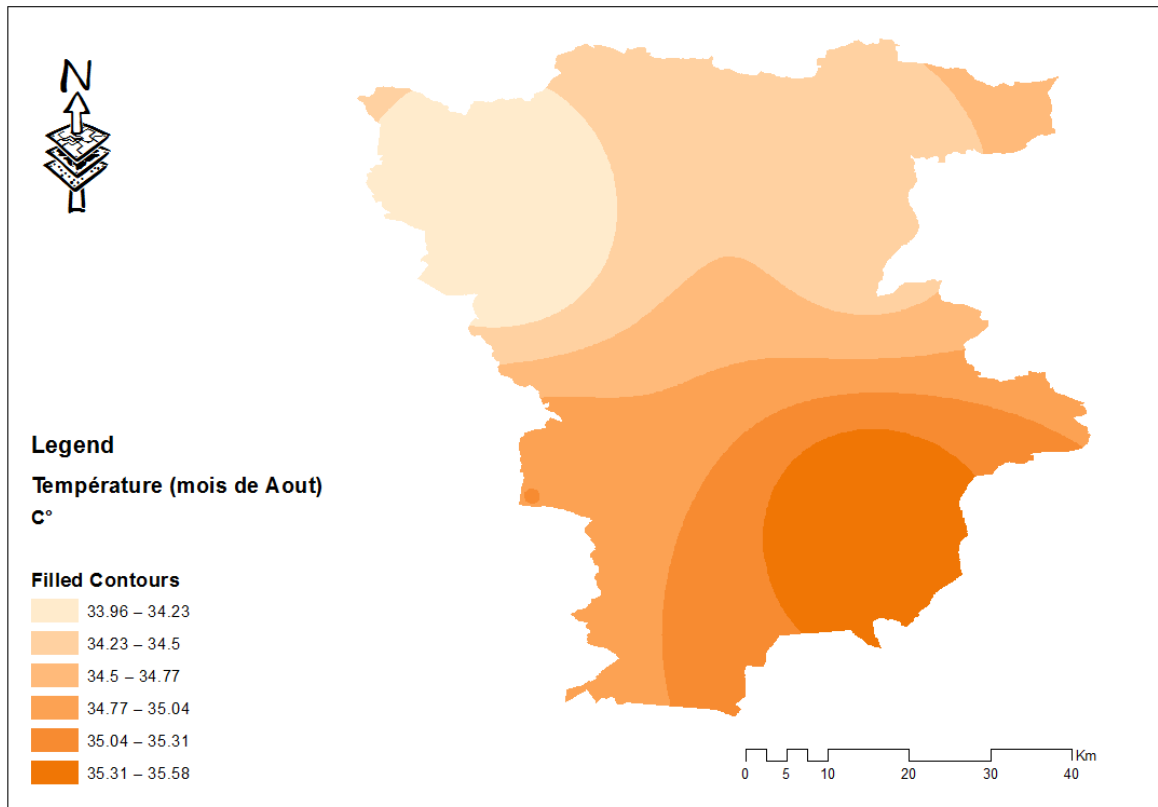
**Figure 32:** Carte de température interpolée (mois de novembre)



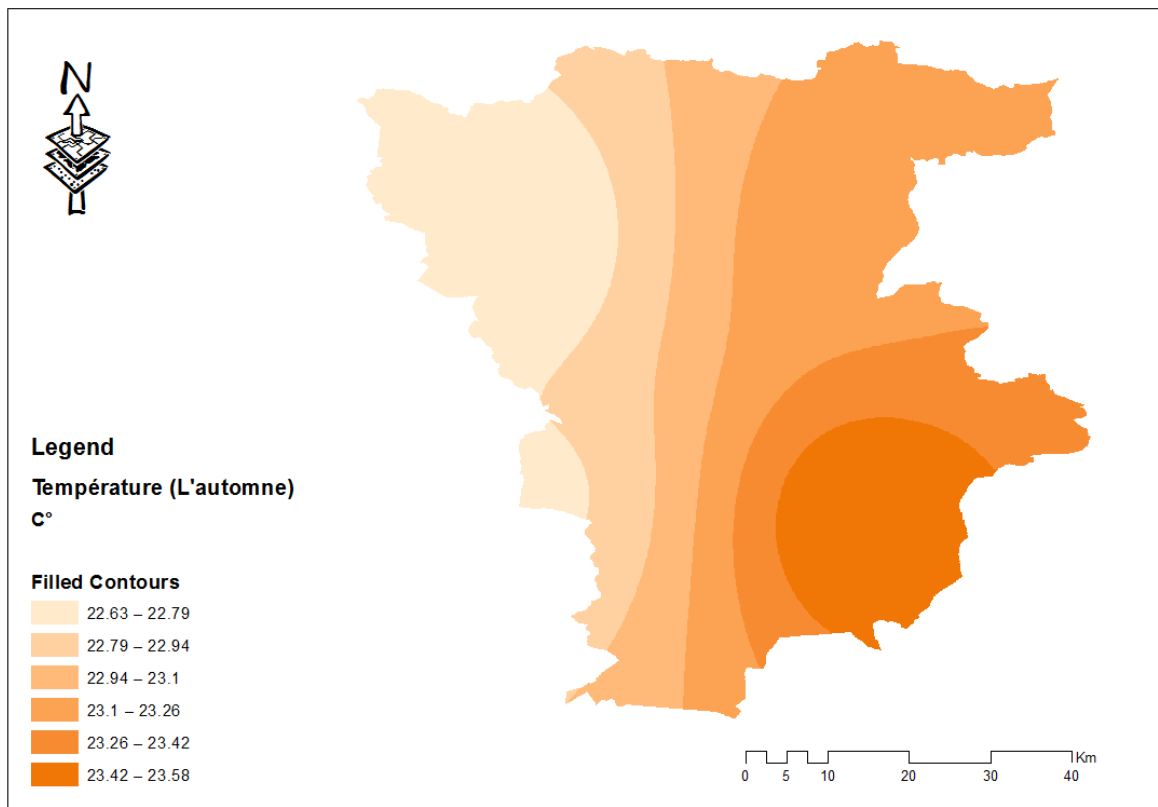
**Figure 33 :** Carte de température interpolée(mois de février)



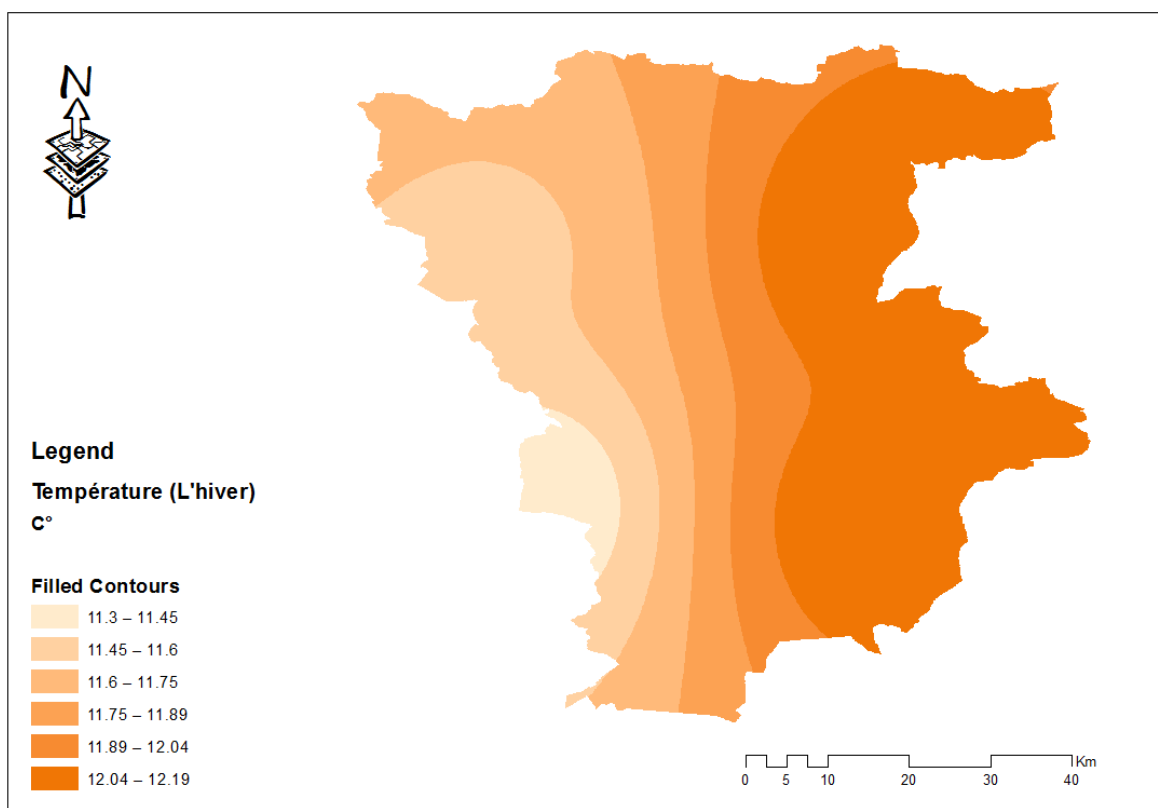
**Figure 34 :** Carte de température interpolée(mois de mai)



**Figure 35:** Carte de température interpolée(mois d'aout)

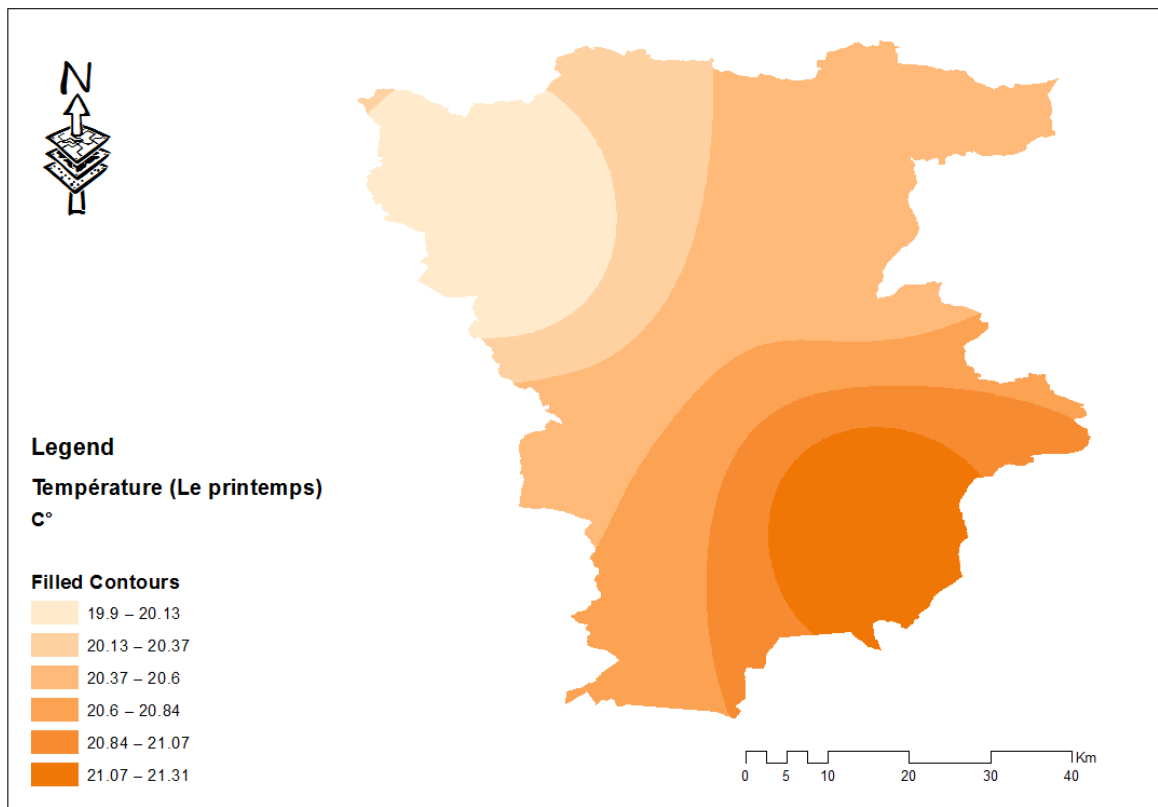


**Figure 36:** Carte de température interpolée(saison d'automne)

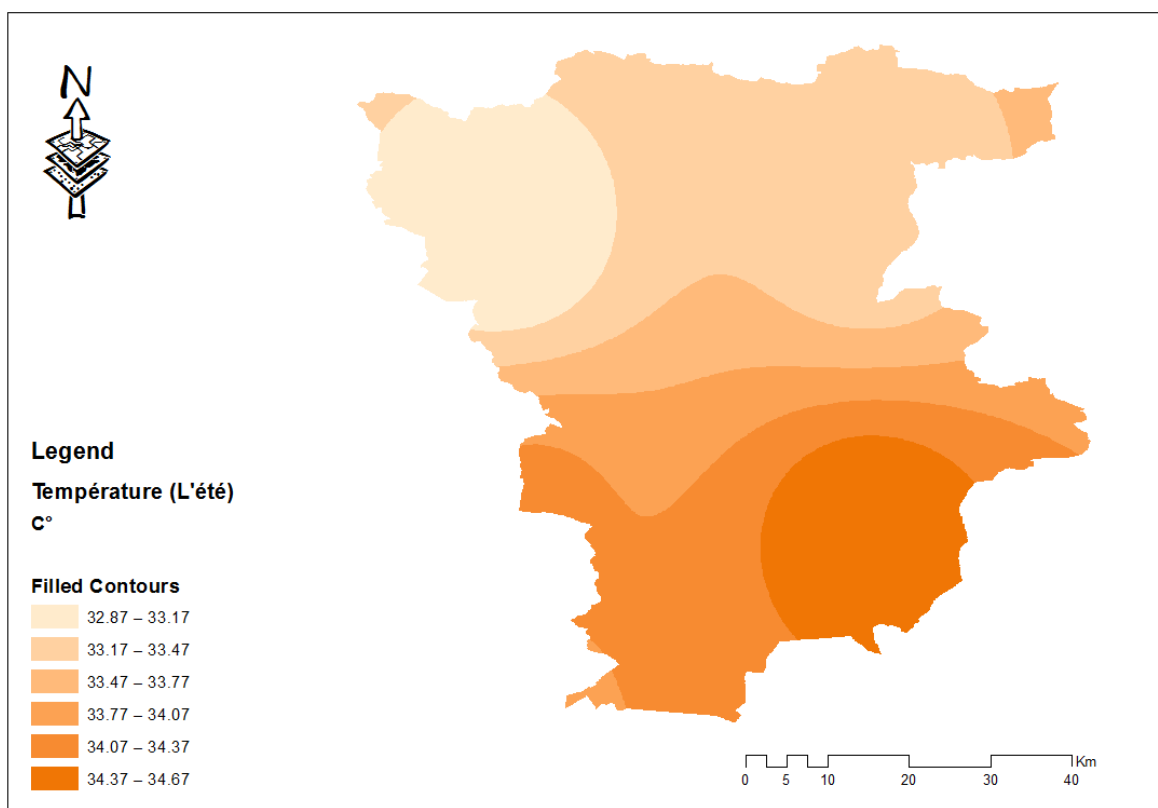


**Figure 37 :** Carte de température interpolée (saison d'hiver)





**Figure 38 :** Carte de température interpolée(saison de printemps)



**Figure 39 :** Carte de température interpolée(saison d'été)

## 8. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration englobe à la fois l'évaporation et la transpiration des plantes, qui se produisent depuis les surfaces terrestres et océaniques vers l'atmosphère. L'évaporation correspond au mouvement de l'eau vers l'air à partir de diverses sources, telles que le sol, la couverture végétale et les plans d'eau. La transpiration, quant à elle, décrit le déplacement de l'eau à travers une plante et sa perte ultérieure sous forme de vapeur à travers les stomates présents sur ses feuilles dans le cas des plantes vasculaires. L'évapotranspiration joue un rôle essentiel dans le cycle de l'eau et peut être divisée en deux catégories distinctes l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

### 8.1. Formule de Thornthwaite

THORNTHWAITE a proposé également une formule basée essentiellement sur les températures de l'air :

$$\text{Avec : } ETP = 16 * \left(10 \frac{t}{I}\right)^a * K$$

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.5} \text{ et } I = \sum_{I=1}^{12} I$$

$$a = \frac{1.6}{100} I + 0.5$$

**t** : la température moyenne mensuelle du mois considéré ;

**Etp** : l'évapotranspiration potentielle du considéré (en mm d'eau) ;

**K** : le coefficient d'ajustement mensuel.

**Tableau 11** : Les coefficients de k.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
K	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,20	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88

## 8.2. Calcul d'évapotranspiration

Dans la suite du travail, à titre explicative, nous allons détailler les calculs pour le mois de janvier de la station 36159, Pour le reste des stations seulement des synthèses des résultats.

$$I = \sum_{I=1}^{12} \left( \frac{10.4}{5} \right)^{1.5} + \left( \frac{12.36}{5} \right)^{1.5} + \left( \frac{16.16}{5} \right)^{1.5} + \left( \frac{20.02}{5} \right)^{1.5} + \left( \frac{25.5}{5} \right)^{1.5} + \left( \frac{31.70}{5} \right)^{1.5} + \left( \frac{35.76}{5} \right)^{1.5} + \left( \frac{35.04}{5} \right)^{1.5} + \left( \frac{29.1}{5} \right)^{1.5} + \left( \frac{23.3}{5} \right)^{1.5} + \left( \frac{15.8}{5} \right)^{1.5} + \left( \frac{11.1}{5} \right)^{1.5} = 119.05$$

$$I = 119.05$$

$$a = \frac{1.6}{100} I * 119.05 + 0.5$$

Et:  $a = 2.40388$

$$ETP = 16 * \left( 10 \frac{10.4}{119.05} \right)^{2.40388} * 0.9$$

Donc :  $ETP = 9,83 \text{ mm}$

**Tableau 12:** les valeurs d'ETP pour toutes les stations

Mois	Jan	Fev	Mai	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>36159</b>	9.83	14.44	32.96	58.34	116.40	196.53	268.32	242.59	139.23	76.79	27.10	11.29
<b>36163</b>	10.63	15.18	33.84	59.80	118.77	198.93	272.56	247.53	142.53	79.94	28.69	12.27
<b>36459</b>	11.70	15.79	33.54	56.49	109.26	179.08	247.91	228.11	135.79	79.89	30.29	13.66
<b>36463</b>	12.32	16.38	34.41	57.49	110.74	180.96	250.84	231.46	138.20	82.24	31.47	14.38

9. Application de la méthode d'interpolation spatiale sur l'évapotranspiration

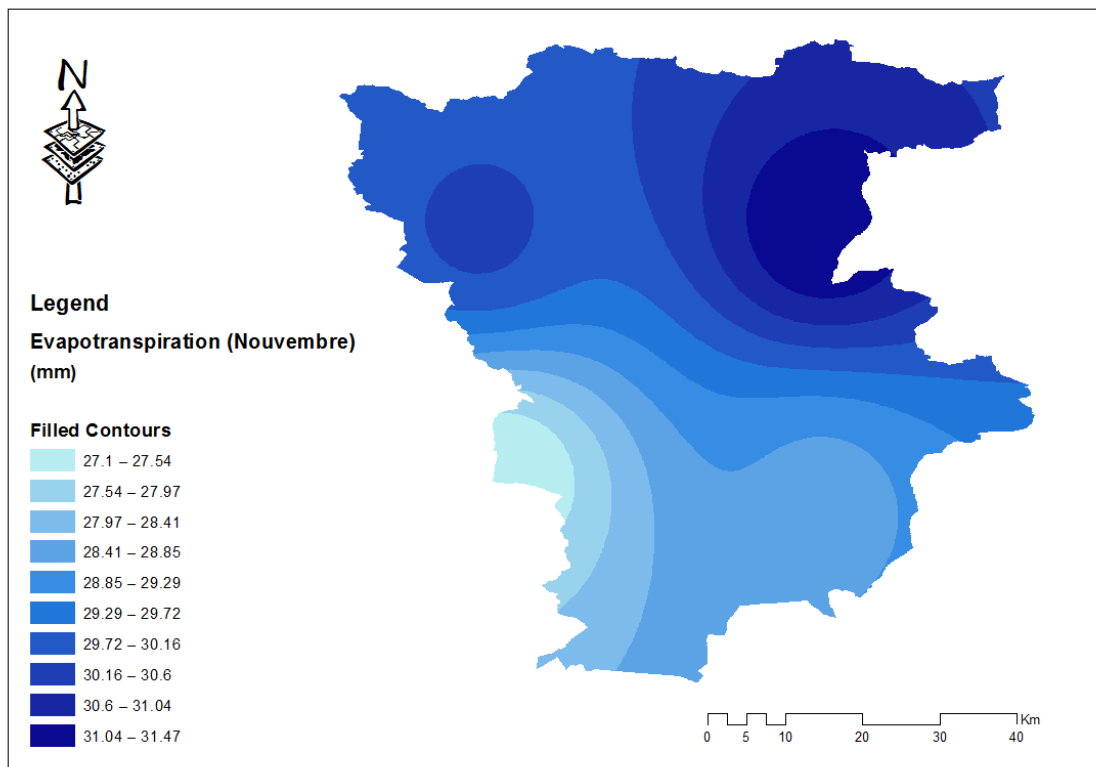


Figure 40 : Carte d'évapotranspiration interpolée (mois de novembre)

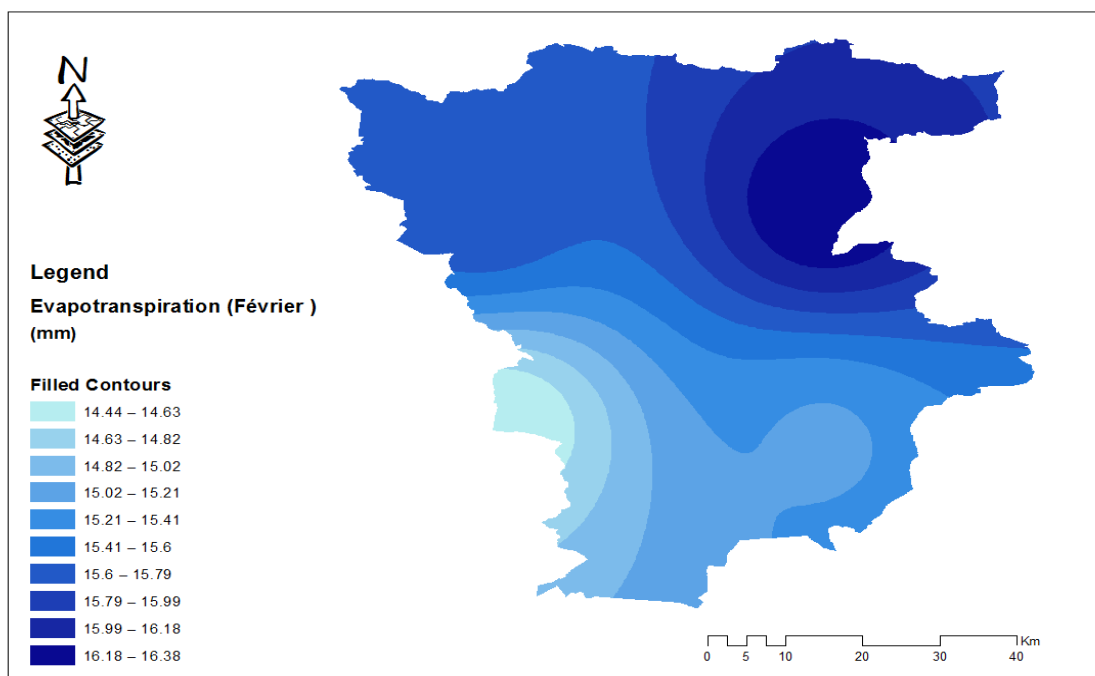
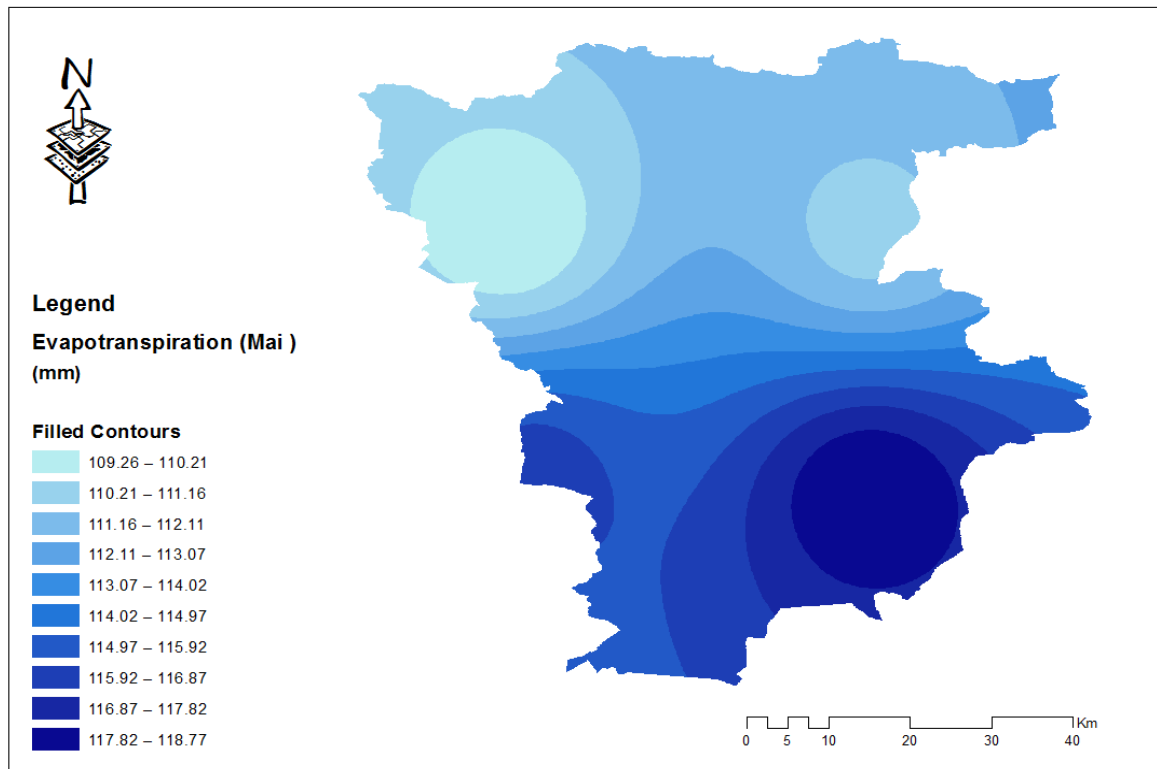
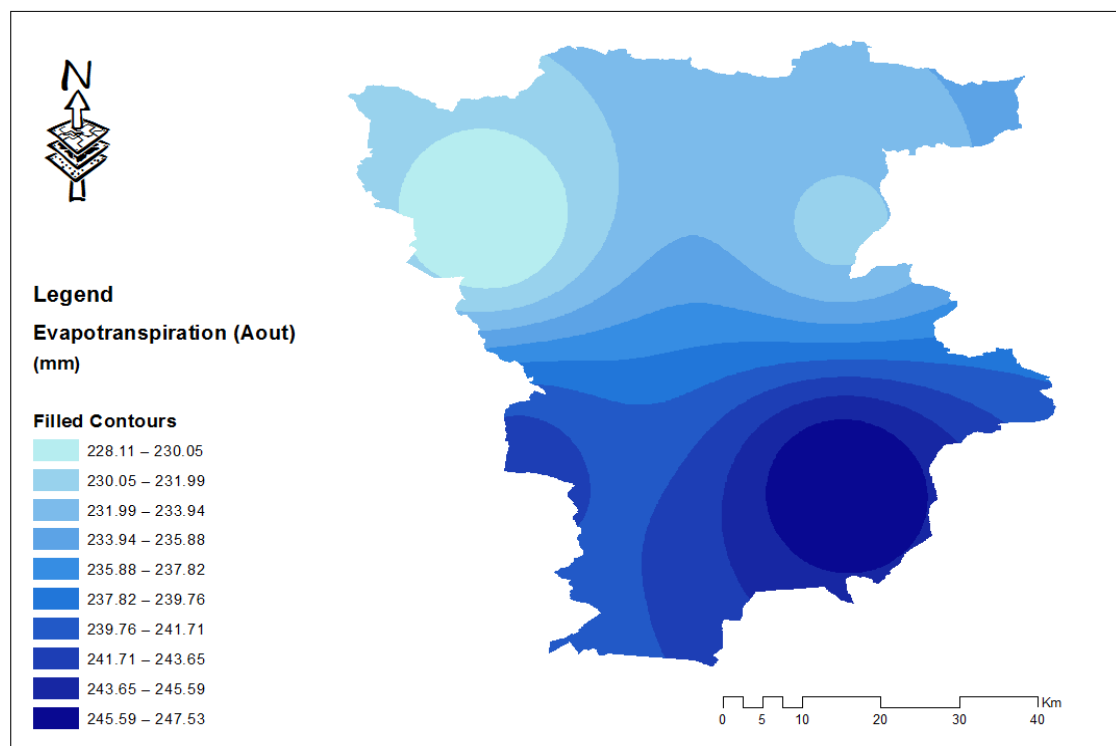


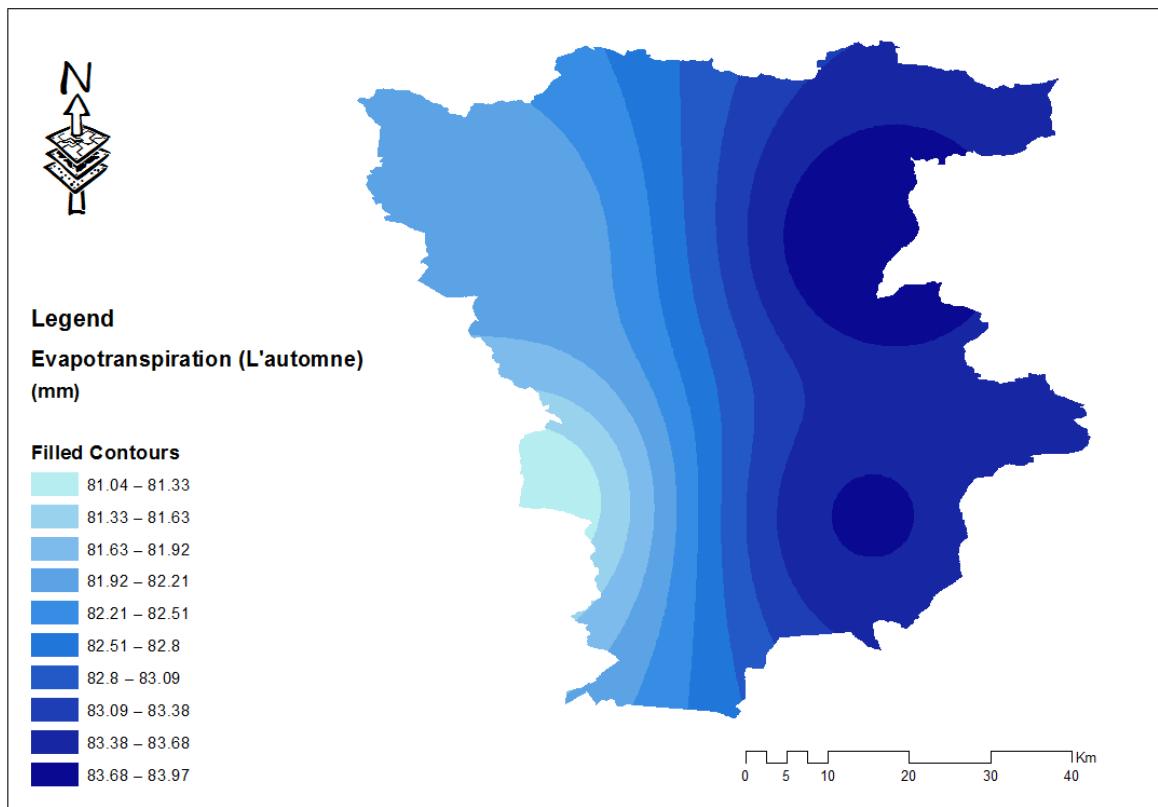
Figure 41 : Carte d'évapotranspiration interpolée (mois de février)



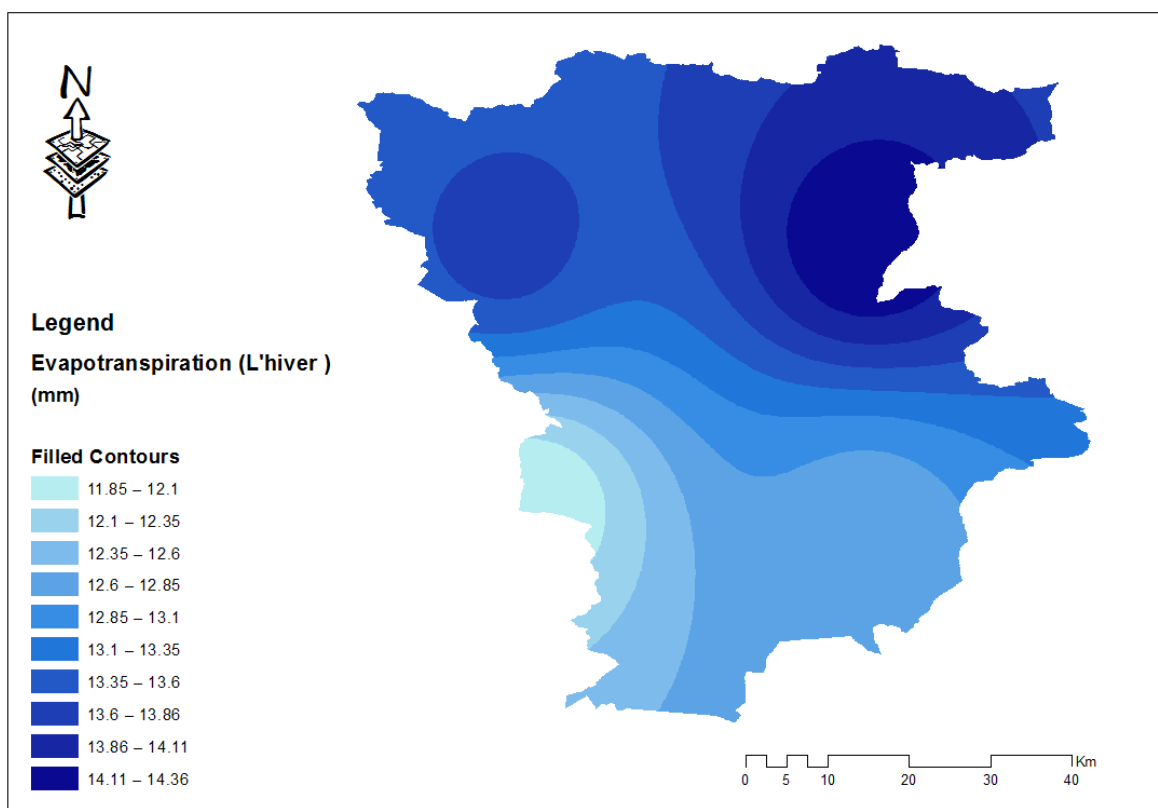
**Figure 42 :** Carte d'évapotranspiration interpolée(mois de mai)



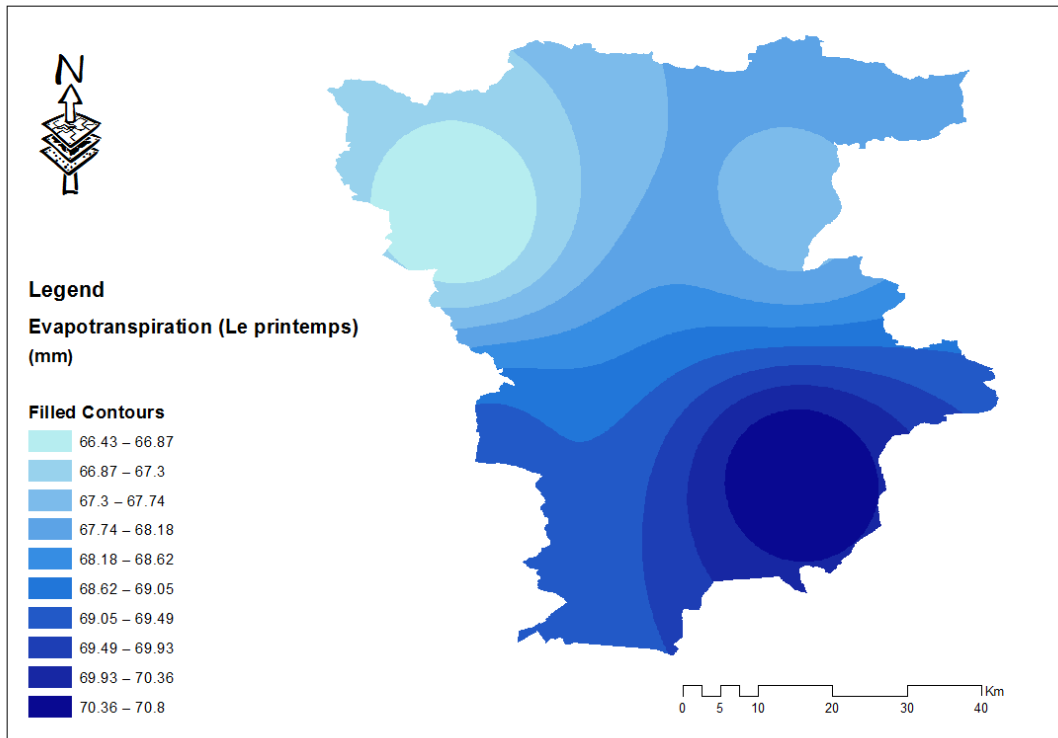
**Figure 43 :** Carte d'évapotranspiration interpolée(mois d'aout)



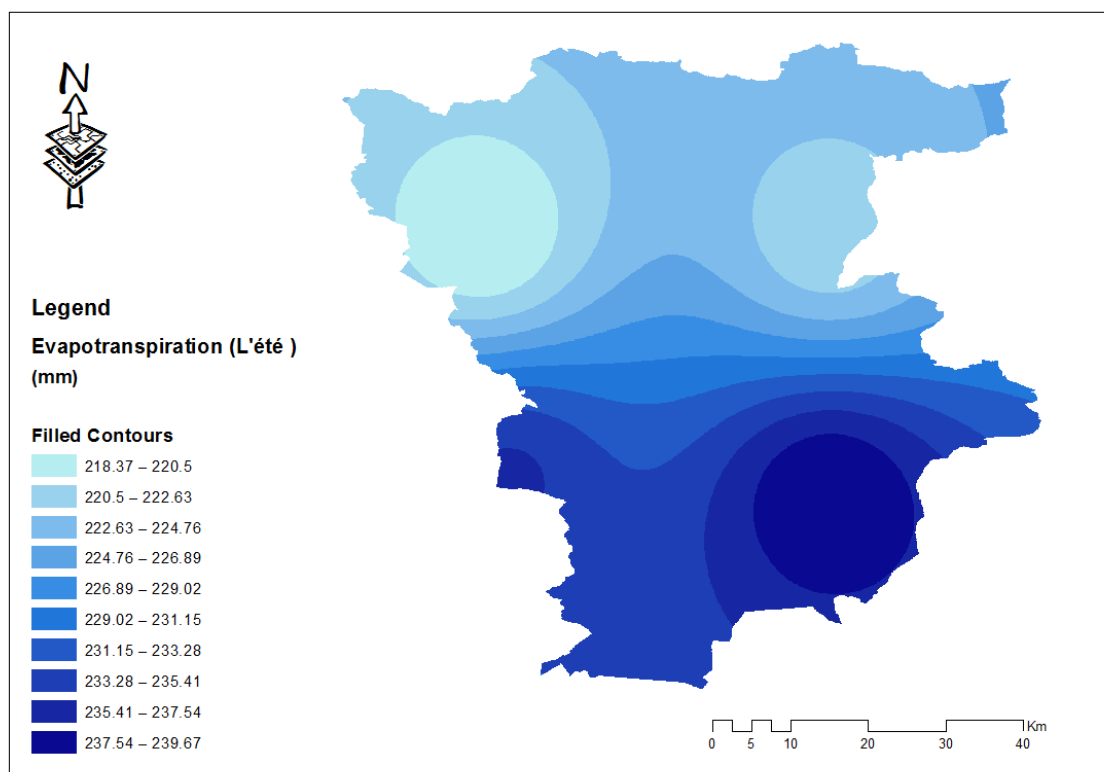
**Figure 44 :** Carte d'évapotranspiration interpolée(saison d'automne)



**Figure 45 :** Carte d'évapotranspiration interpolée(saison d'hiver)



**Figure 46 :** Carte d'évapotranspiration interpolée(saison de printemps)



**Figure 47 :** Carte d'évapotranspiration interpolée(saison d'été)

**Discussion**

Dans ce chapitre nous avons utilisé l'interpolation spatiale pour créer des cartes des paramètres climatiques tels que les précipitations pour différentes périodes de retour, la température et l'évapotranspiration dans la wilaya de Mila. Cela nous a permis d'obtenir une meilleure compréhension de la répartition de ces paramètres sur l'ensemble de la zone d'étude.

En ce qui concerne la pluie journalière maximale, nous avons observé un gradient croissant du nord vers le sud dans presque toutes les périodes de retour (voir Fig: (24 a 31)), avec des valeurs allant de 10 mm à 210,20 mm (1980-2011).

En ce qui concerne la température, nous avons constaté un gradient croissant du nord vers le sud tout au long de l'année (voir Fig:((33 a 40))), avec des températures moyennes allant de 10°C à 36°C (1980-2011).

En ce qui concerne l'évapotranspiration, nous avons observé un gradient croissant du Nord-Ouest vers le Sud-Est dans toutes les cartes saisonnières, avec des valeurs moyennes comprises entre 9 mm et 251 mm.





# **Conclusion générale**

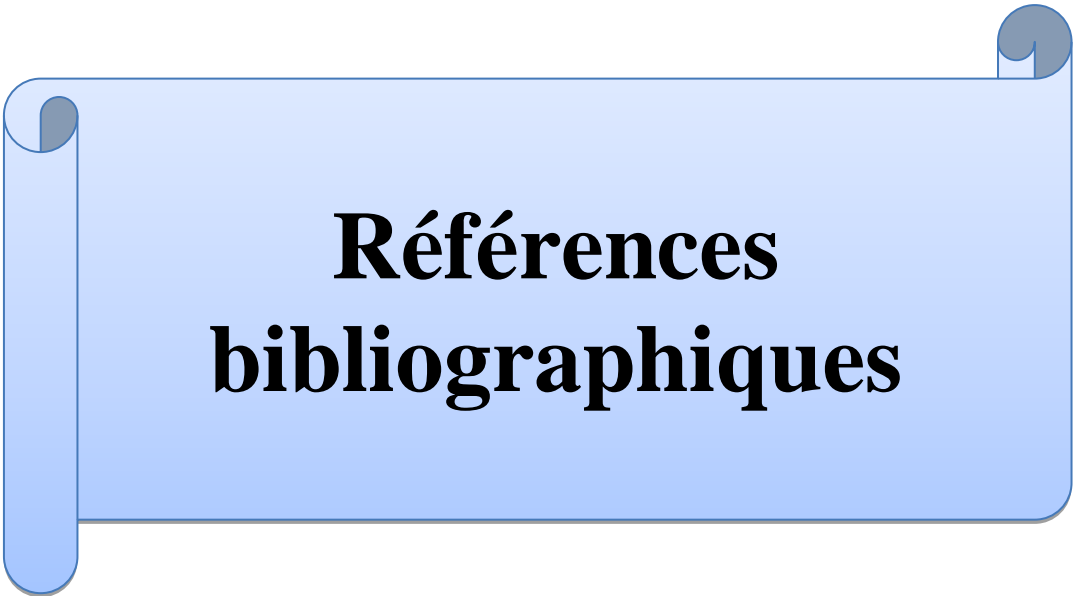
### Conclusion générale

Notre étude a porté sur le thème sur la contribution à l'amélioration de la connaissance des paramètres climatiques en utilisant plusieurs sources de données, Le but c'était d'étudier la fiabilité des données en ligne fournies par plusieurs sources à savoir Global weather data for swat et les données de Naza, les résultats de comparaison avec les données mesurées aux sols par l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH), ont montré qu'il n'existe aucun lien entre les données des deux sources avec les mesures aux sols.

A partir des premiers résultats nous avons utilisé des séries des pluies journalières maximales annuelles enregistrées par les pluviomètres au niveau des 08 stations existantes dans la wilaya de Mila, on est arrivé à faire une analyse fréquentielle, cette dernière nous a permis d'obtenir des pluies de différentes période de retour, ensuite nous avons utilisé les données de température de quatre station climatique fournit par Global Weather Data for Swat pour calculer l'évapotranspiration.

Enfin une analyse comparative a été faite entre les méthodes d'inverse des distances, radial basic fonction et global polynomial fonction pour les méthodes déterministes, et pour les méthodes stochastiques le krigeage ordinaire le krigeage simple et le krigeage universel, les résultats de cette comparaison montrent que le krigeage donne des erreurs d'estimation moins par rapport aux autres méthodes.

La création des cartes des paramètres climatiques tels que les pluies de différentes période de retour, le coefficient climatique, la température et l'évapotranspiration nous a donné une bonne compréhension de la répartition spatiale de ces paramètres dans toute la zone d'étude.



**Références  
bibliographiques**

# Références bibliographiques

---

## Références bibliographiques

- [1] ::<https://www.aquaportail.com/definition-770-precipitation.html4>
- [2] :[Organisation météorologique mondiale](#), « Pluviomètre », [Eumetcal](#) (version du 11 mars 2016 sur l'[Internet Archive](#)).
- [3]:[Organisation météorologique mondiale](#), « Pluviographe », [Eumetcal](#) (version du 11 mars 2016 sur l'[Internet Archive](#)).
- [4]: Sauvageot H., 1992 : Radar météorologique. Artech House, Boston, 361 pp
- [5]: European Space Agency (ESA): <https://www.esa.int/>
- [6]: World Meteorological Organization (WMO): <https://public.wmo.int/>
- [7]: Joint Polar Satellite System (JPSS): <https://www.jpss.noaa.gov/>
- [8]: Rainfall Data - Online Data" du Bureau of Meteorology, gouvernement australien. Disponiblesur :<http://www.bom.gov.au/water/rainfall/data.shtml>
- [9]: Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Wolff, D. B., Adler, R. F., Gu, G., Hong, Y., Bowman, K. P., & Stocker, E. F. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8(1), 38-55
- [10]: UNEP-DHI Partnership - Centre on Water and Environment. (2018). Global Water Scarcity Atlas. UNEP-DHI.
- [11]: IPCC. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press
- [12]: S. Karmakar, M. K. Kowar, and P. Guhathakurta, "Spatial interpolation of rainfall variable using artificial neural network," *Proc. Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Control. ICAC3'09*, no. anuary, pp. 547–552, 2009, doi: 10.1145/1523103.1523212.
- [13]: L. S. Ben Taher, "Evaluation of Geostatistical Interpolation Methods for Rainfall data Estimation in Libya," vol. 1, no. 1, pp. 54–59, 2020.
- [14] : D. Baka, M. J. Kpampou, E. Kouassi, D. Ahoussi, A. Agoua, and P. Takpa, "ÉTUDE DE VARIABILITÉ SPATIALE DE LA PLUVIOMÉTRIE PAR LA MÉTHODE GÉOSTATISTIQUE ET IDW (nverse Distance Weighted ) AU CENTRE- OUEST DE LA CÔTE D ' IVOIRE STUDY OF THE SPATIAL VARIABILITY OF PLUVIOMETRY BY GEOSTATISTIC METHOD AND IDW ( Inverse Distance," pp. 216–223, 2019.

## Références bibliographiques

---

- [15]: A. Vargas, A. Santos, E. Cardenas, and N. Obregon, “Analysis of Distribution and Spatial Interpolation of Rainfall in Bogota, Colombia,” *Dyna-Colombia*, vol. 78, no. 167, pp. 151–159, 2011.
- [16]: O. M. Katipoğlu, “Spatial analysis of seasonal precipitation using various interpolation methods in the Euphrates basin, Turkey,” *ActaGeophys.*, vol. 70, no. 2, pp. 859–878, 2022, doi: 10.1007/s11600-022-00756-0.
- [17]: R. Berndtsson and J. Niemczynowicz, “Spatial and temporal scales in rainfall analysis – Some aspects and future perspectives,” *J. Hydrol.*, vol. 100, no. 1–3, pp. 293–313, 1988, doi:10.1016/0022-1694(88)90189-8.
- [18]: B. Bianchi, J. Rieckermann, and A. Berne, “Quality control of rain gauge measurements using telecommunication microwave links,” *J. Hydrol.*, vol. 492, pp. 15–23, 2013, doi:10.1016/j.jhydrol.2013.03.042.
- [19]: M. R. Viola and C. R. De Mello, “PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL NO ESTADO DO TOCANTINS: PRIMEIRA APROXIMAÇÃO PELO MÉTODO ESTATÍSTICO DE,” no. October, 2020, doi: 10.5380/abclima.v27i0.69590.
- [20]: Atkinson PM, Lloyd CD Mapping precipitation in Switzerland with ordinary and indicator kriging. *J Geogr Inf Decision Anal* 1998;(2)2:65-76.
- [21]: Rajagopalan B, Lall U Locally weighted polynomial estimation of spatial precipitation. *J Geogr Inf Decision Anal* ,1998;2(2):44-51.
- [22]: Dirks KN, Hay JE, Stow, CD, Harris D High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island. Part II: Interpolation of rainfall data. *J Hydrol* 1998; 208: 187-193.
- [23]: Tabios GQ, Salas JD A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resour Bull* 1985(3):365-380.
- [24]: Krishana Murthy B R, G Abbaiah Geostatistical analysis for estimation of mean rainfalls in Andhra Pradesh, India. *international journal of geology* 2007;3:35-51.
- [25]: [M. Coulibaly, S. Becker Spatial interpolation of annual precipitation in South Africa comparison and evaluation of methods 2007;32:494-502.
- [26]: S. Krahenmann; B. Ahrens On daily interpolation of precipitation backed with secondary information 2010;4:29-35.
- [27]: A. L. K. Wijemannage, M. Ranagalage, and E. N. C. Perera, “Comparison of spatial interpolation methods for rainfall data over Sri Lanka,” 37th Asian Conf. Remote Sensing, ACRS 2016, vol. 3, no. January, pp. 1723–1732, 2016, doi: 10.13140/RG.2.2.15714.81603.
- [28]: Krishana Murthy B R, G Abbaiah Geostatistical analysis for estimation of mean rainfalls in Andhra Pradesh, India. *international Journal of geology* 2007; 3:35- 51.
- [29]: V. Thauvin, “Etude De La Repartition Spatiale Des Precipitations En Milieu Sahelien a L’Aide Du Réseau Dense De Pluviographes De L’Experience Epsat-Niger,” *Recherche*, vol. 6, pp. 1–50, 1992.

## Références bibliographiques

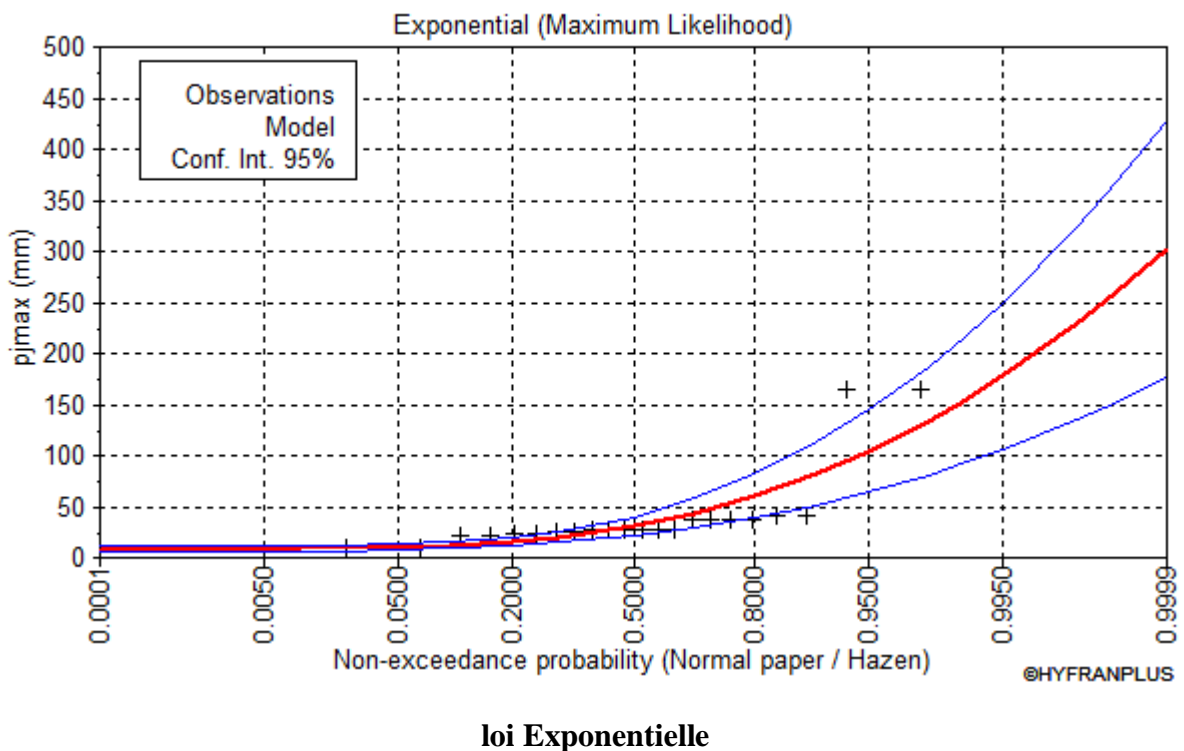
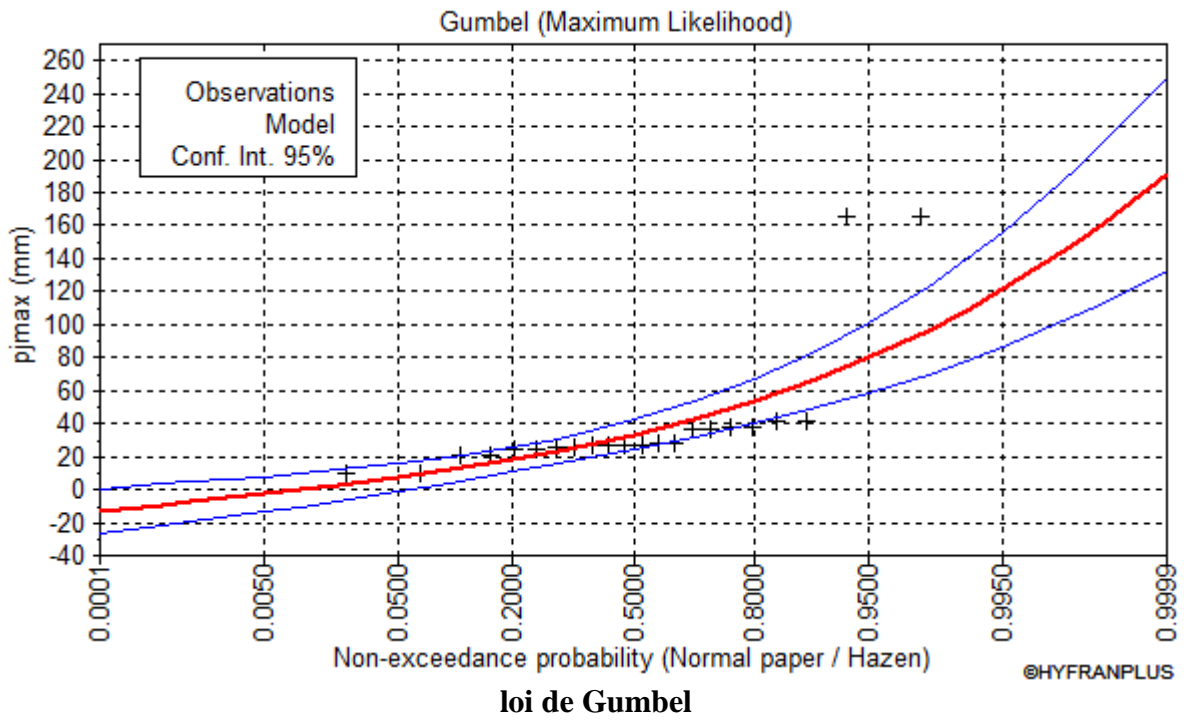
---

- [30]: H. Chai, W. Cheng, C. Zhou, X. Chen, X. Ma, and S. Zhao, "Analysis and comparison of spatial interpolation methods for temperature data in Xinjiang Uygur Autonomous Region, China," Nat. Sci., vol. 03, no. 12, pp. 999–1010, 2011, doi:10.4236/ns.2011.312125.
- [31]: A. Albargouthi, J. Berdine, B. Cook, and Z. Kincaid, Spatial interpolants, vol. 9032, no. January.2015. doi: 10.1007/978-3-662-46669-8\_26.
- [32] :**Azioui. A., 2017** ; Analyse fréquentielle des données pluviométriques de la ville de Mila, mémoire master 02. Centre universitaire AbdelhafidhboussoufMila, 131 pages.
- [33] :**D. Atammia, 2010** ; Minéralogie des argiles et phénomène de retrait-gonflement dans le bassin de Mila (Nord constantinois), thèse doctorat, université mentouri, Constantine, 172 pages.
- [34]: Agence nationale des ressources hydrique
- [35] :**SOUKEHAL Boudjema**, mars 2011;La wilaya de Mila : villes, villages et problématique de l'alimentation en eau potable, thèse doctorat, université Constantine 1 (ex Mentouri) ,303p.
- [36] :Johnson,N.L.,Kotz,S.,&Balakrishnan,N.(1994)."ContinuousUnivariate Distributions, Volume 1". Wiley
- [37] :Gumbel, E. J. (1958). "Statistics of Extremes". Columbia University Press.
- [38] : Ross, S. M. (2010). "Introduction to Probability Models".Academic Press.

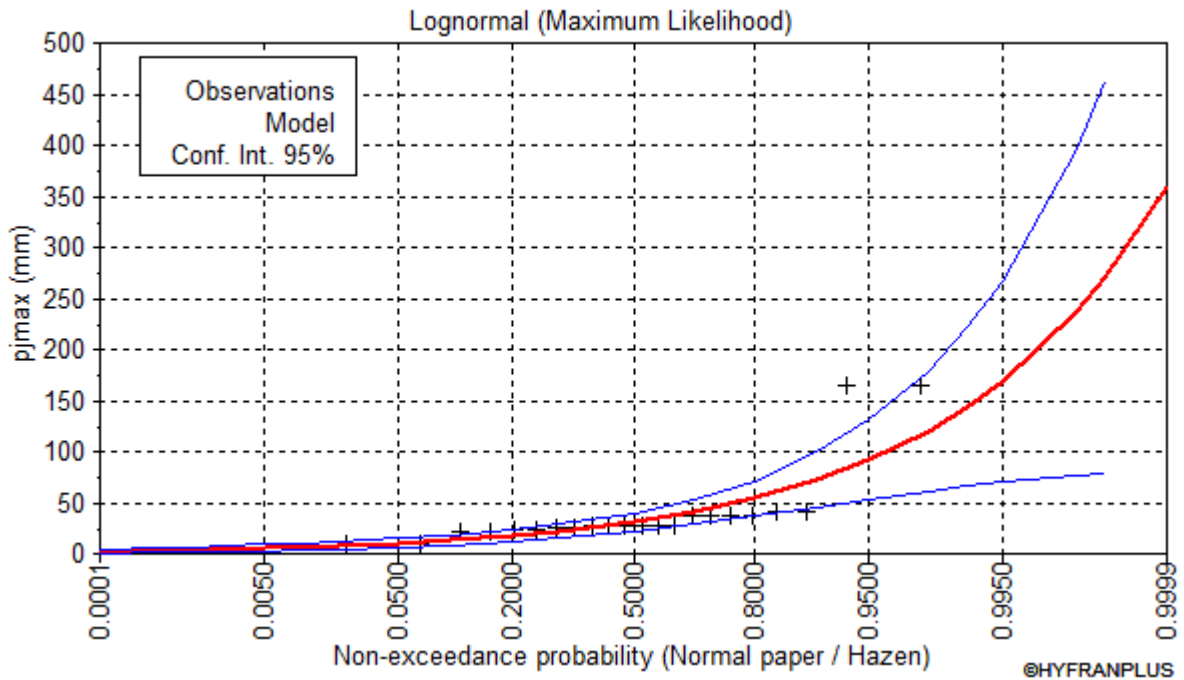
A blue scroll graphic with a gradient from light to dark blue. The scroll is unrolled in the middle, with the top and bottom edges curled up. The word "ANNEXES" is written in the center of the unrolled portion in a bold, black, serif font.

# **ANNEXES**

- station numéro100206

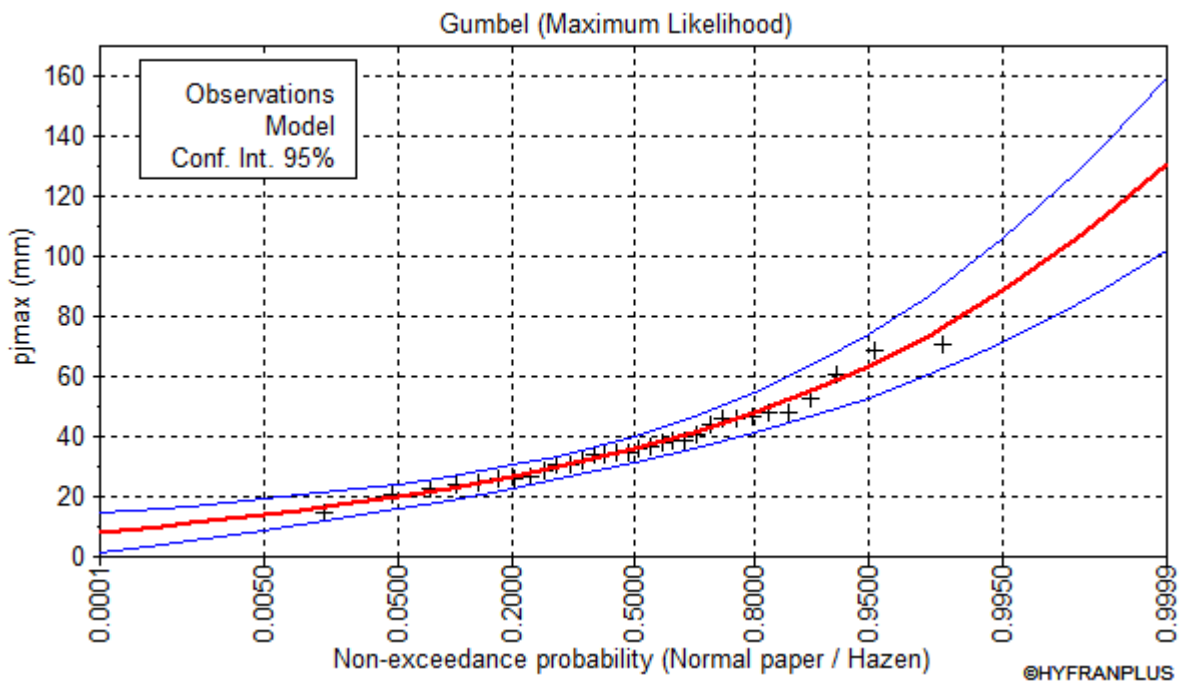




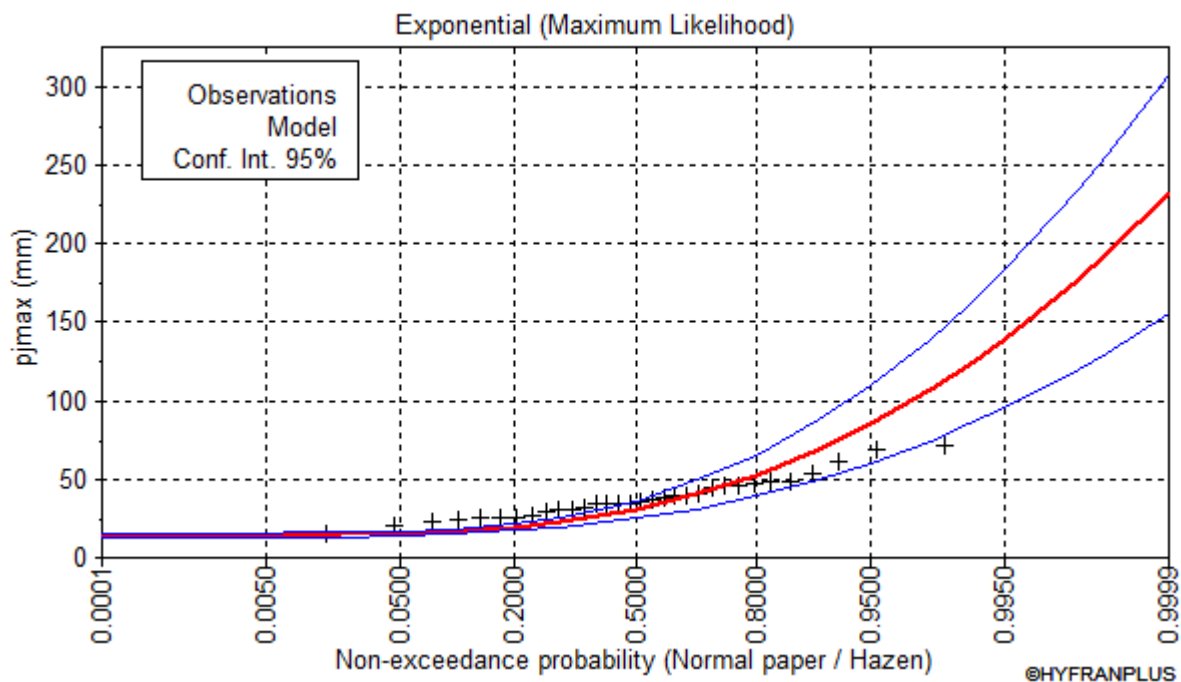


loi log Normale

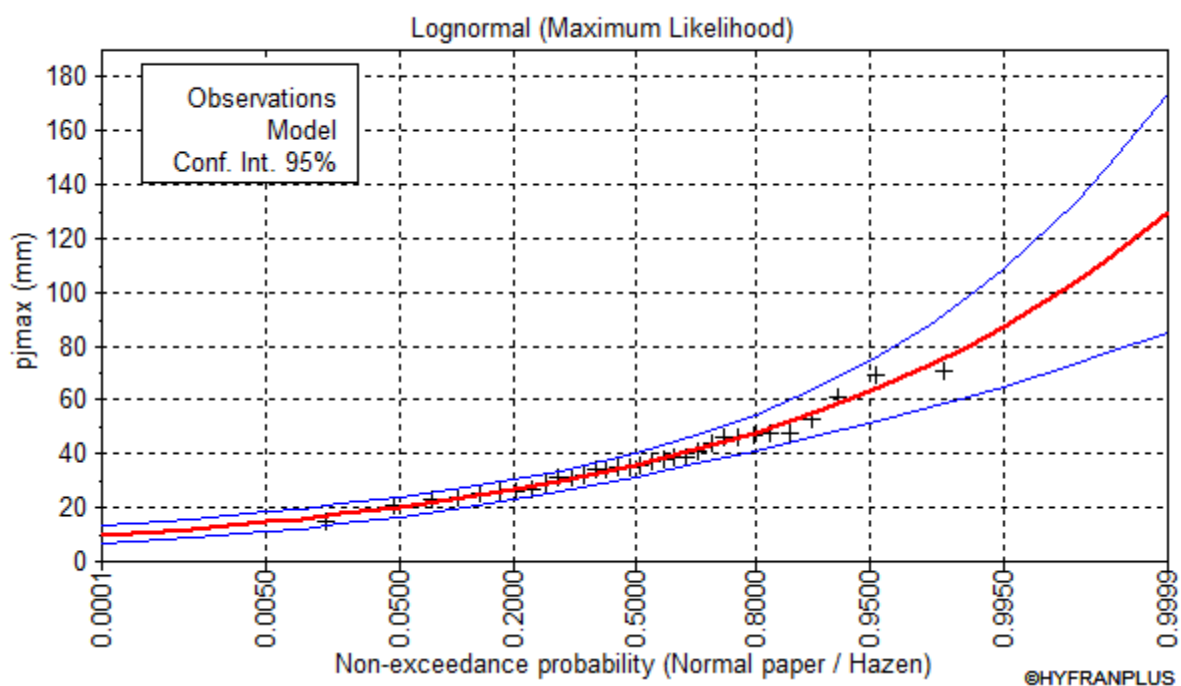
- station numéro 100208



loi de Gumbel

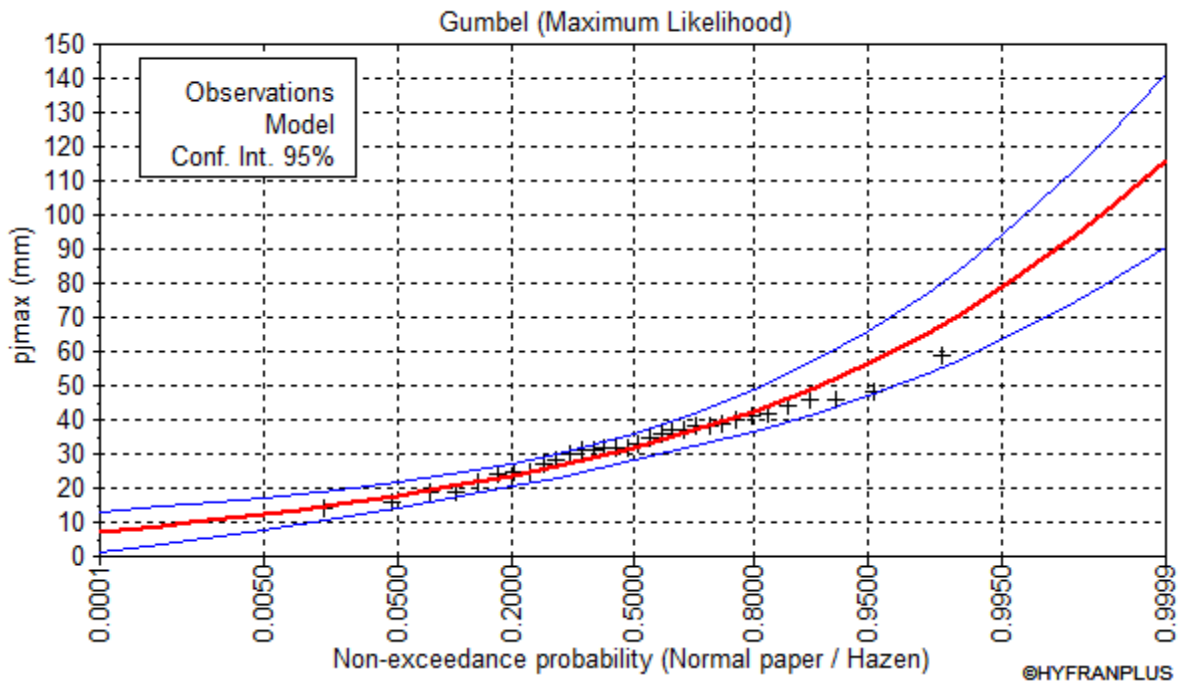


loi Exponentielle

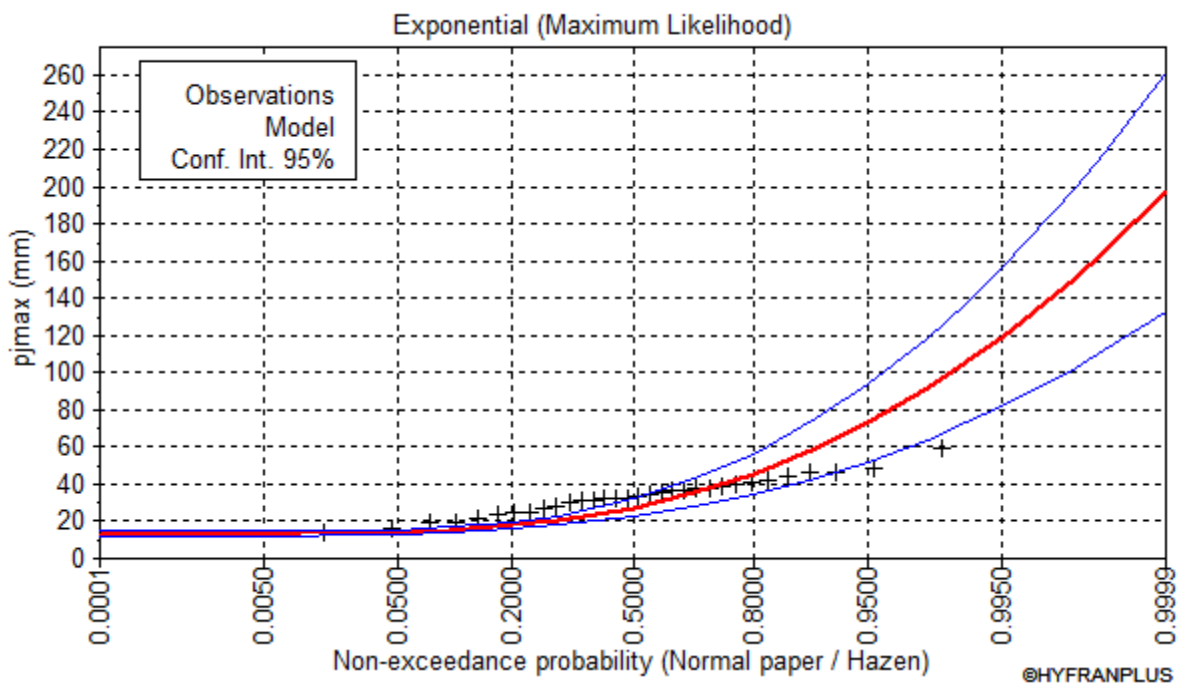


loi log Normale

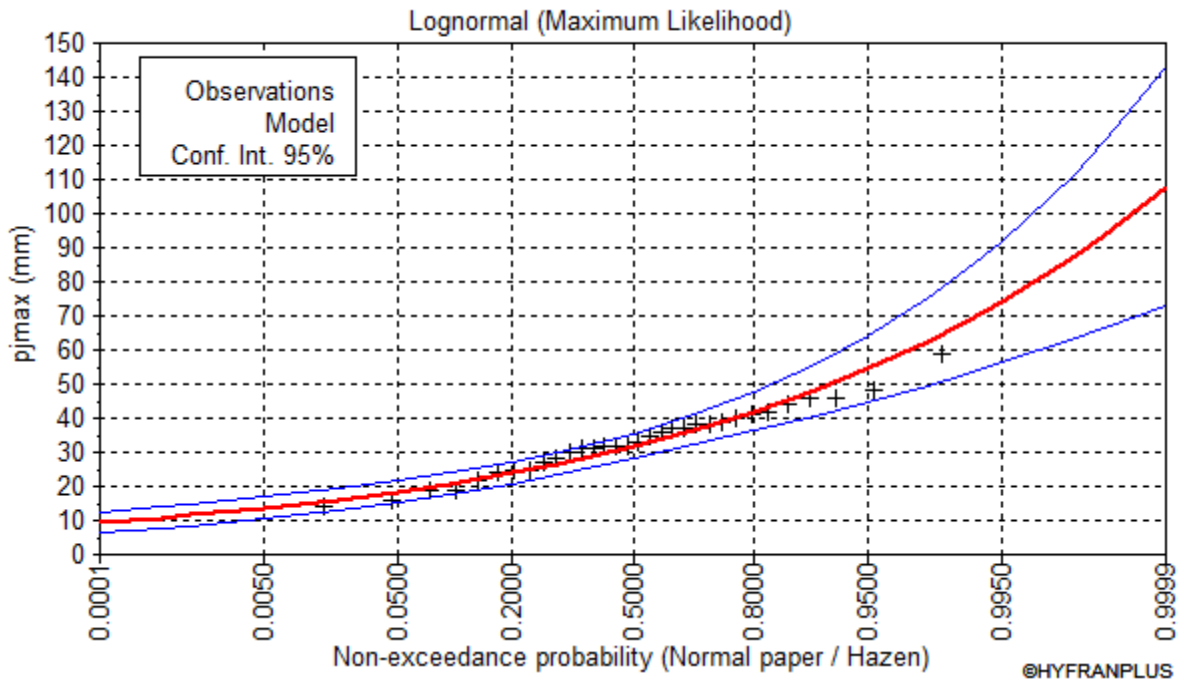
• Station numéro 100303



loi de Gumbel

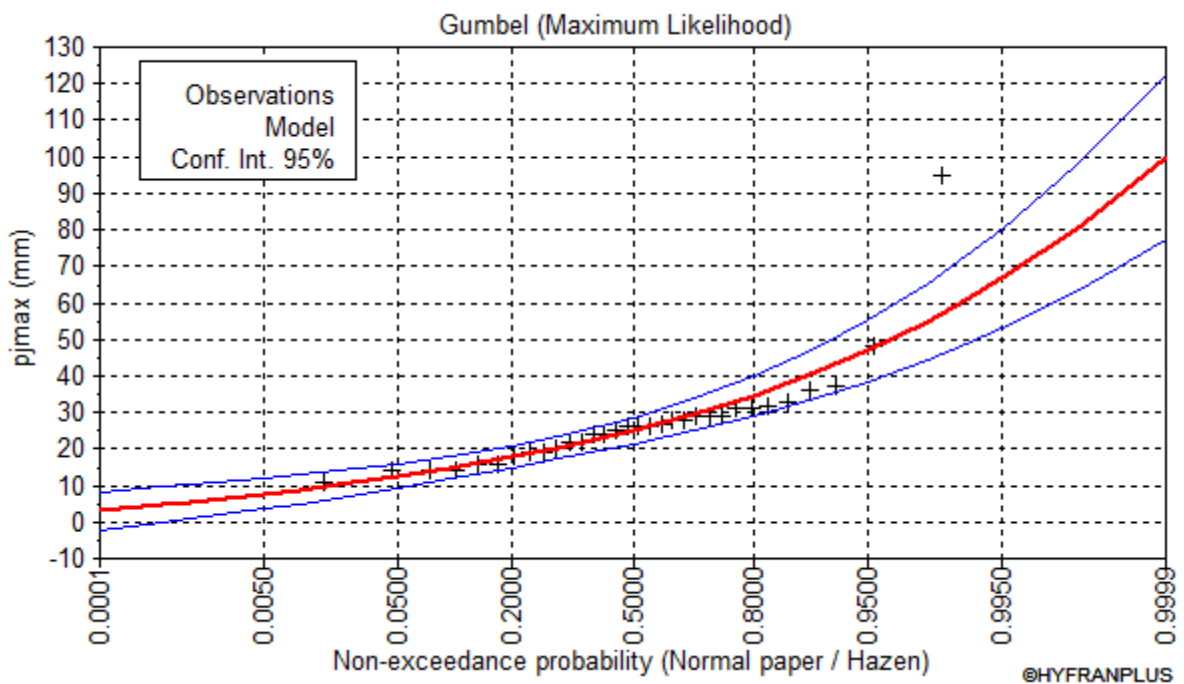


loi de Exponential

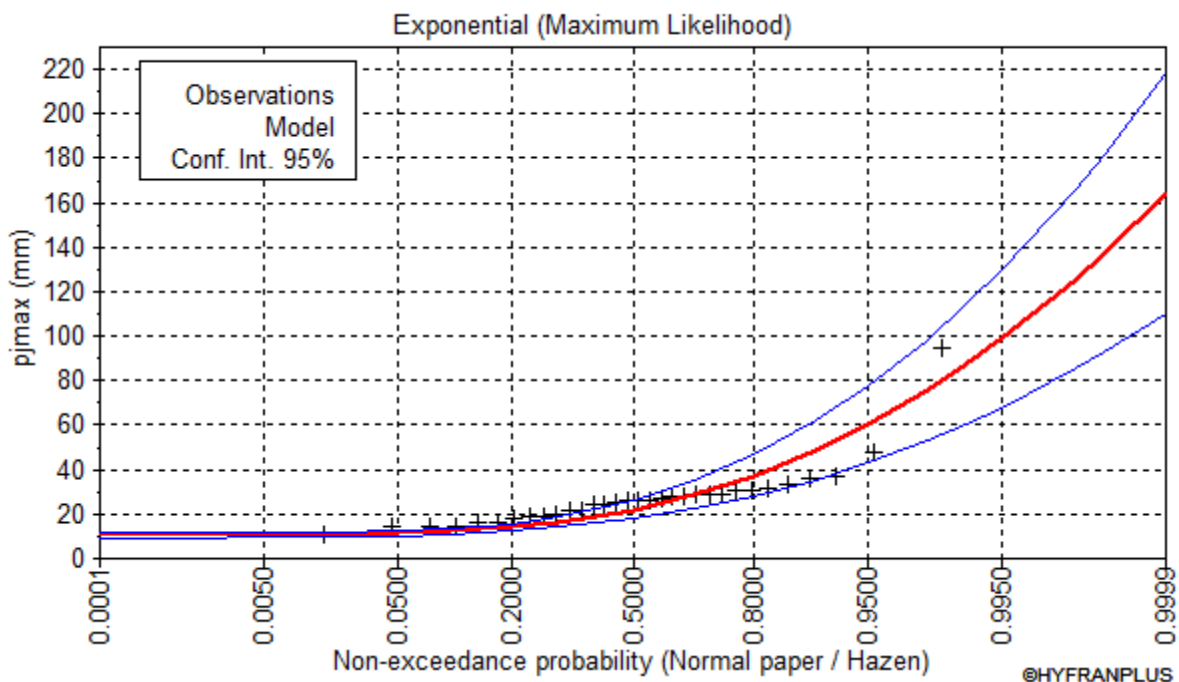


**loi de lognormal**

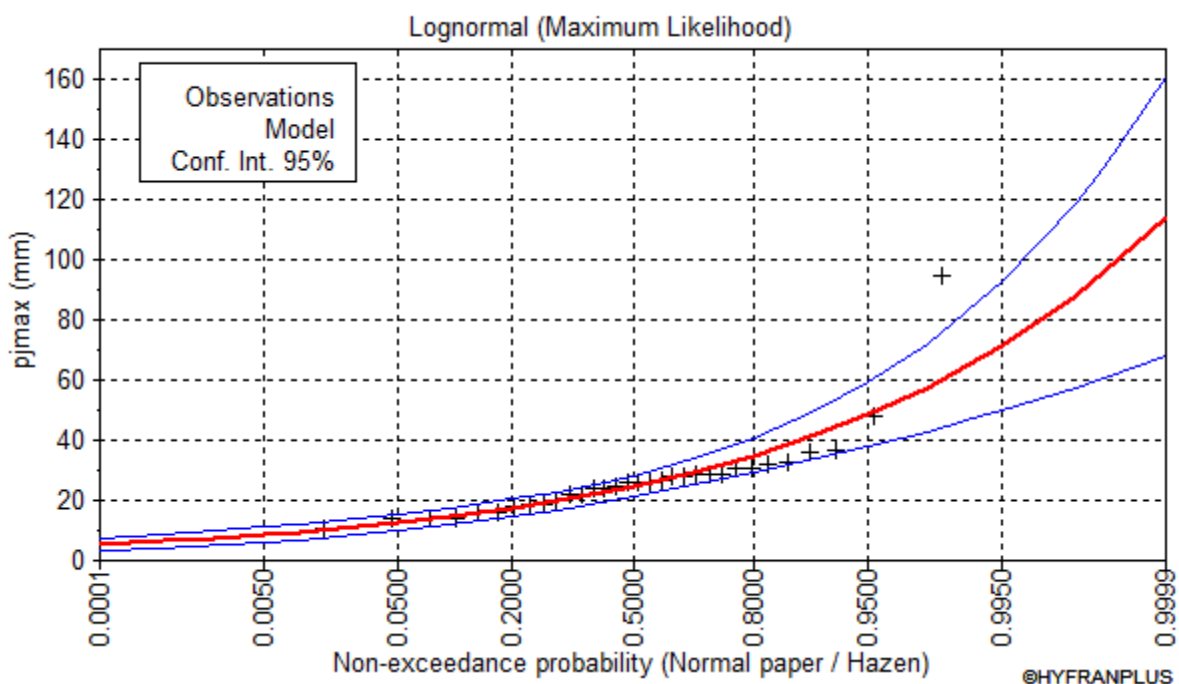
- **station numéro100306**



**loi de Gumbel**

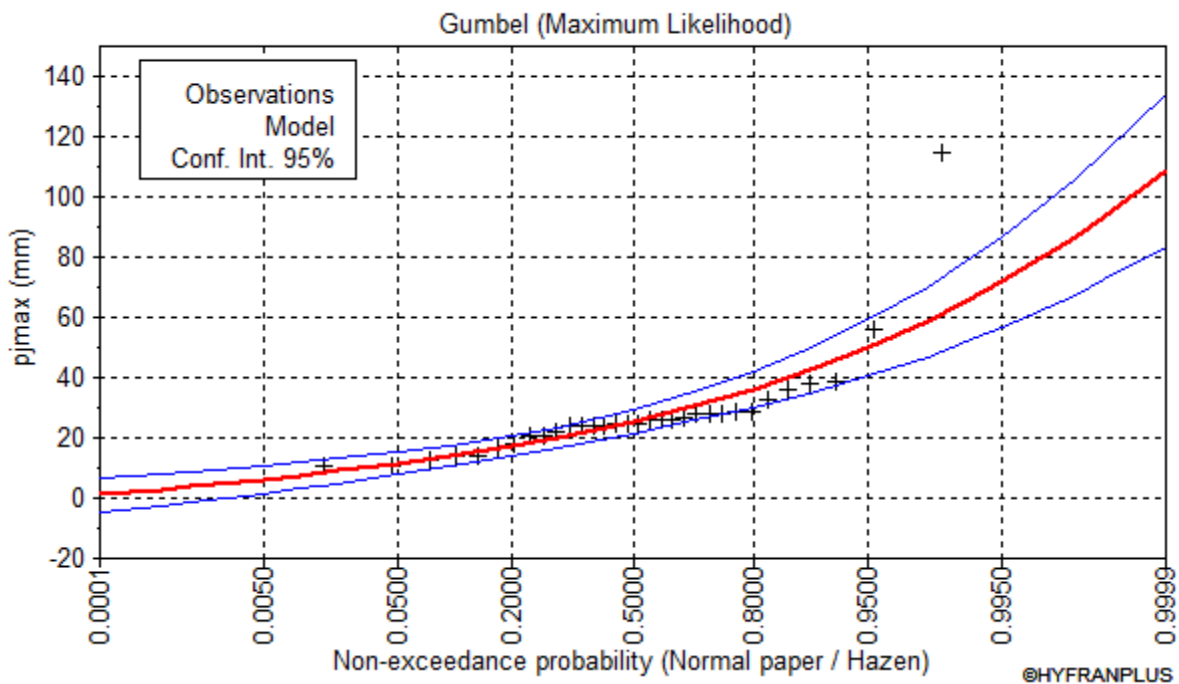


loi de Exponential

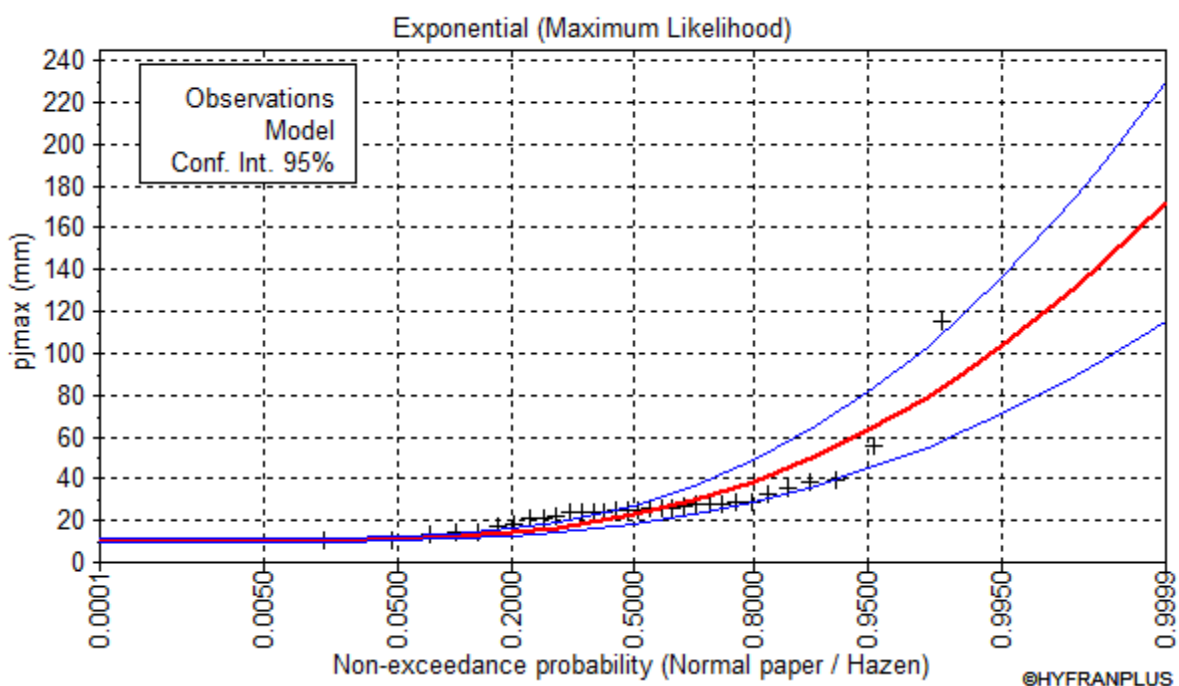


loi de lognormal

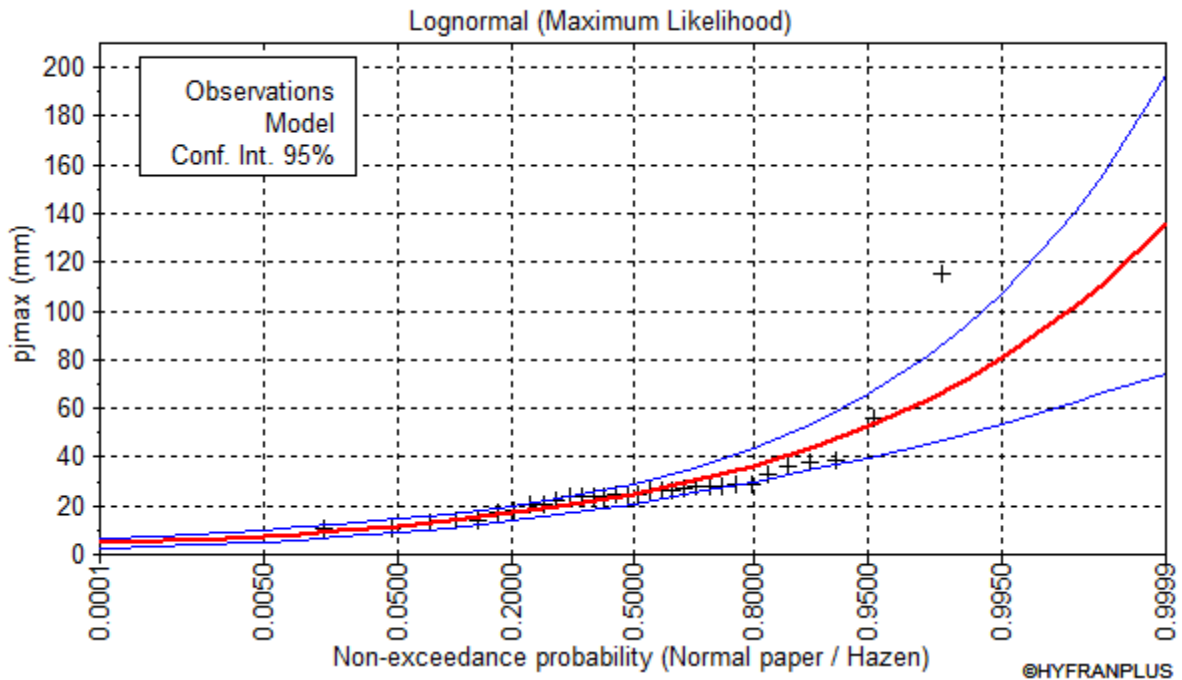
- station numéro 100402



loi de Gumbel

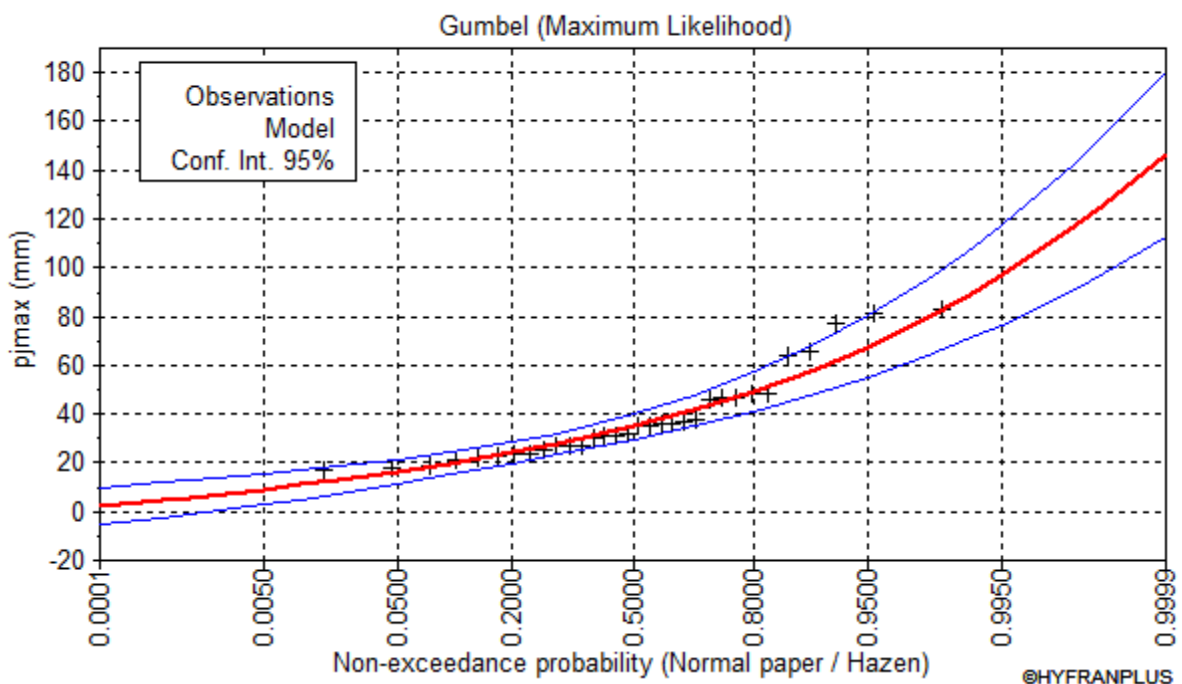


loi de Exponential

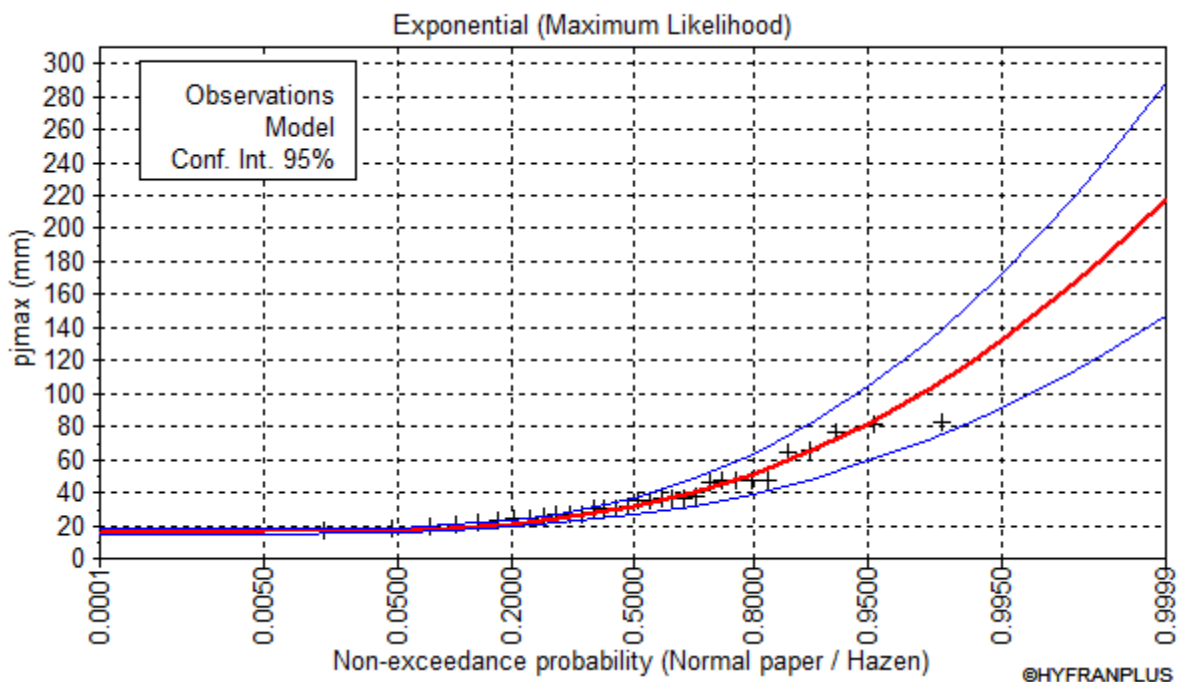


**loi de log normal**

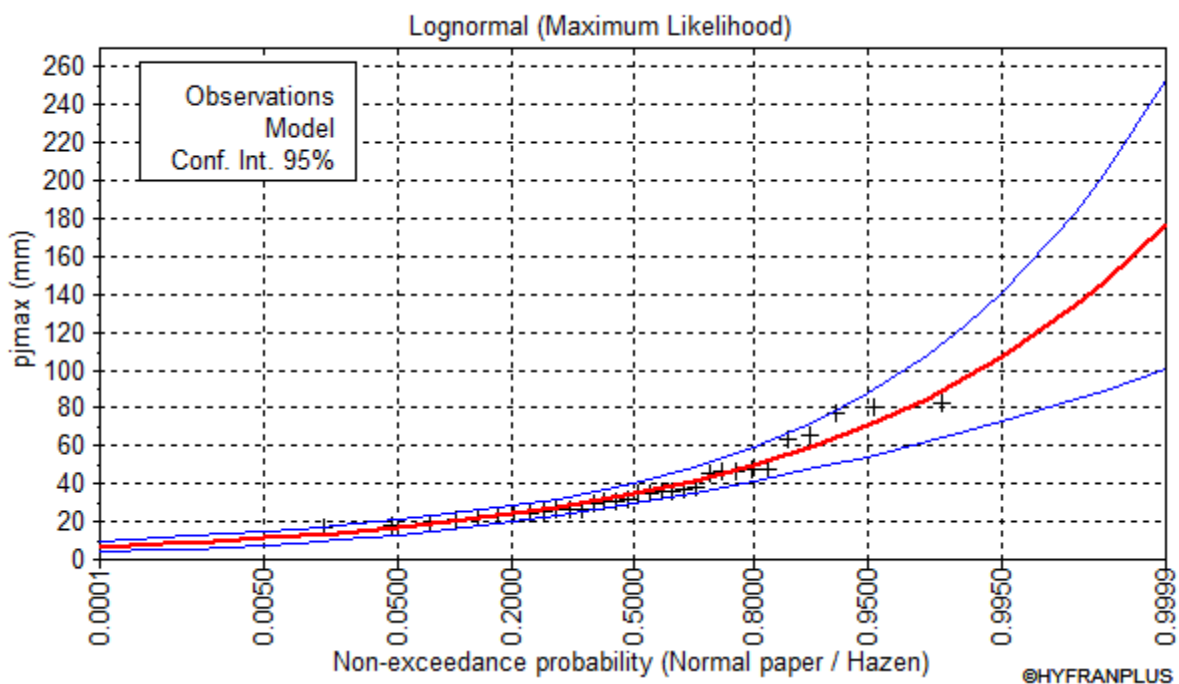
- **station numéro100401**



**loi de Gumbel**



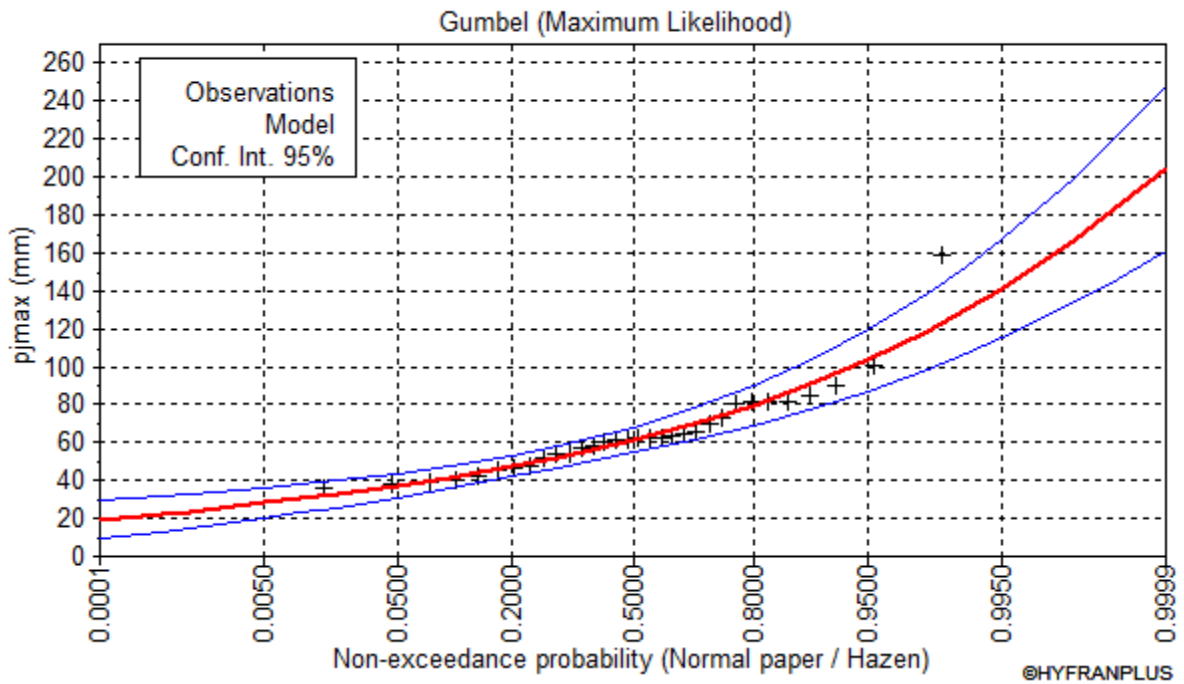
loi de Exponential



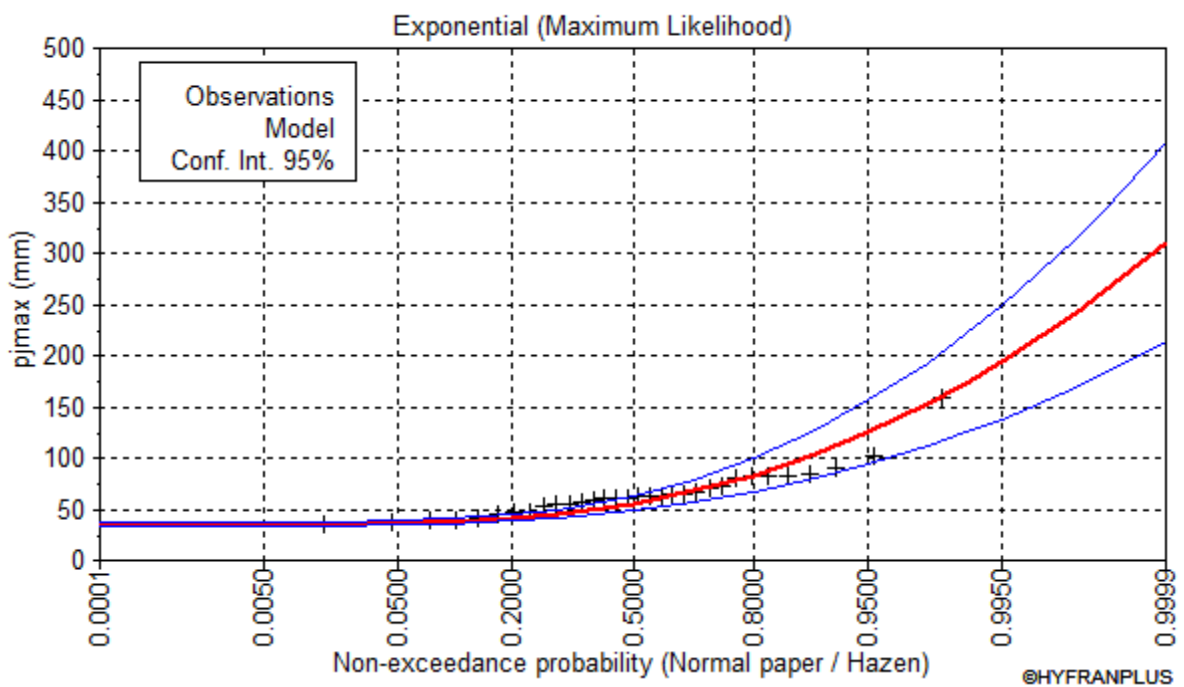
loi de lognormal



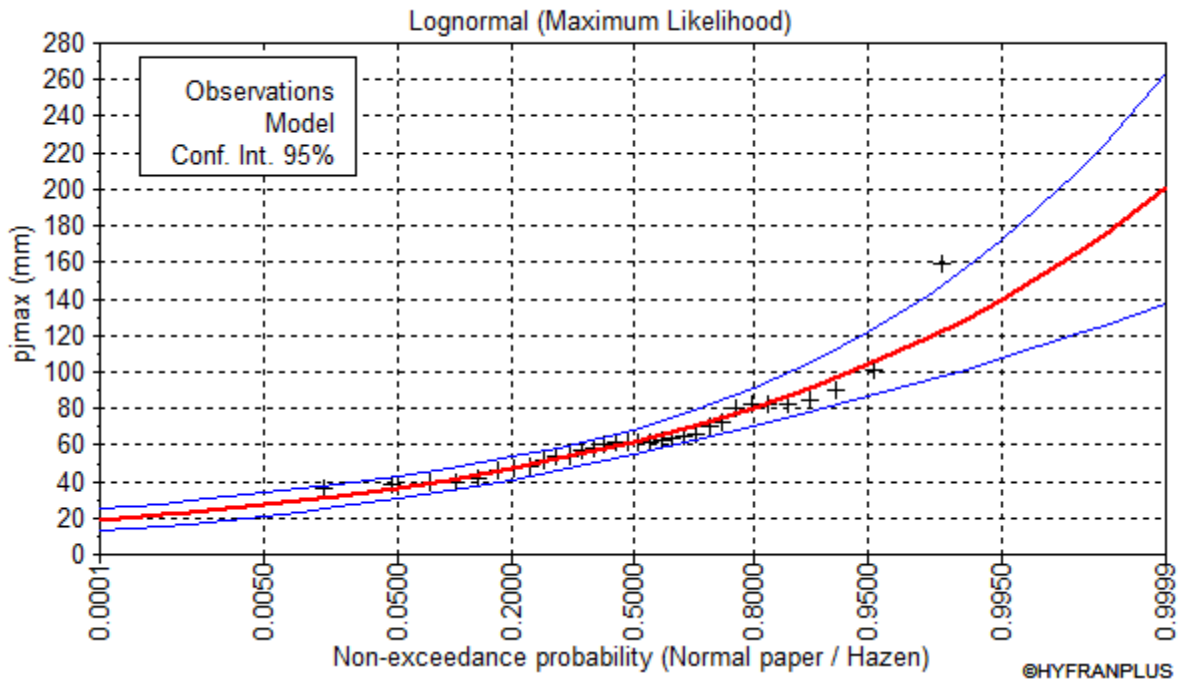
- station numéro100703



loi de Gumbel



loi de Exponential



loi de lognormal