



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



جامعة زيان عاشور-الجلفة  
Université Ziane Achour – Djelfa  
كلية علوم الطبيعة و الحياة  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

## Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master Académique en Géographie et  
Aménagement du territoire.  
Spécialité : Villes, dynamique spatiale et gestion

### Thème

**Changements climatiques : Impacts sur les  
ressources en eau de la wilaya de Djelfa.**

Présenté par : LOUARGHI Amani Khaoula Messaouda

Présenté devant la commission d'évaluation de la session : Ordinaire

Président :

Promoteur : FOUFOU Atif                      MCB                      Univ. ZIANE Achour-Djelfa

Co-Promoteur : /

Examineur :

Examineur :

Année Universitaire 2021/2022

## Remerciement

Tout travail réussi dans la vie nécessite en premier lieu la bénédiction de Dieu, et ensuite l'aide et le support de plusieurs personnes. Je tiens donc à remercier et à adresser ma reconnaissance à toute personne qui m'a aidé de loin ou de près afin de réaliser l'un de mes rêves...

Je remercie tous les professeurs et les enseignants de mon cursus universitaire qui ont Contribué à ma formation.

Je remercie vivement et les membres du jury pour le soutien et l'intérêt qu'ils ont portés à ce travail.

Je remercie fortement mon promoteur FOUFOU Atif.

Mes vifs remerciements vont également chez mes meilleurs amis pour l'appui moral qu'ils m'ont témoigné.

Pour terminer, j'adresse mon grand amour à mes parents, mon père pour son sacrifice ma mère pour sa tendresse, mon frère Mohamed, mes sœurs Wassila, Soumia et Nahla, c'est grâce à leur amour et leurs sacrifices que ce mémoire a été mené à bonne fin. Mon plus grand souhait dans cette vie, c'est de les voir toujours à côté de moi, en bonne santé, heureux et que la paix soit avec eux.

Grand merci à vous tous.

## Dédicace

A chaque fois qu'on achève une étape importante dans notre vie, on fait une pause pour regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes qui ont partagés avec nous tous les bons moments de notre existence, mais sur tous les mauvais. Ces personnes qui nous ont aidés sans le leur dire, soutenus sans réserve, aimé sans compter, ces personnes à qui notre bonheur devient directement le leur, à qui un malheur en nous, en eux se transforme en pleur.

Je dédie ce modeste travail à tous ceux que j'aime, mais surtout :

A mes parents qui ont toujours été les étoiles de mon ciel et ont illuminé mon chemin depuis ma naissance, je ne les remercierai jamais assez.

Je le dédie également :

A mon promoteur M. FOUFOU Atif.

Mes sœurs et mon frère.

A ma belle amie AYACHI Zineb.

A tous les enseignants du département des sciences de la terre et l'univers qui m'ont accompagné durant mes études ;

A toute personne utilisant ce document pour un bon usage.

## ملخص:

تقع ولاية الجلفة في السهول السهبية المرتفعة، مما اكسبها مناخًا شبه جاف مع انخفاض معدل هطول الأمطار، تواجه احتياجات مائية كبيرة بالإضافة إلى شح محلي في المياه الجوفية والسطحية. لذلك، وبما أن العوامل المناخية تؤثر بشدة على ميزان المياه، فمن الضروري معرفتها ودراسة آثارها من أجل الحصول على إدارة أفضل في مثل هذه الحالات. أظهرت دراسة الجفاف الهيدرولوجي باستخدام مؤشر SPI ومؤشر التعرف على الجفاف RDI في محطتي الجلفة وعين وسارة، وجود اضطرابات قوية في النظام المناخي مع تقلبات جافة في الغالب خلال فترة الدراسة بأكملها من 1981 إلى 2021. فيما يخص شدة الجفاف، تظهر مؤشرات SPI نفس الشدة في كل فترة جفاف، بينما يعطي RDI شدة أقل قليلاً. يعطي RDI مزيداً من الدقة في عدد أشهر الجفاف مقارنةً بالمؤشر SPI، لأنه أكثر تحديداً للمناطق شبه القاحلة.

**الكلمات المفتاحية:** التغير المناخي، الجفاف، المدن، الجلفة، عين وسارة، SPI، RDI.

## Résumé :

La wilaya du Djelfa se situe dans les hautes plaines steppiques, ce qui lui attribue un climat semi-aride avec un faible taux de précipitations, elle est confrontée à des besoins considérables en eau ainsi à une défaillance locale en eaux souterraines et superficielles. De ce fait, vu que les facteurs climatiques influencent fortement le bilan hydrique, il est primordial de les connaître et d'étudier leurs effets afin d'avoir une meilleure gestion dans de tels cas. L'étude de la sécheresse hydrologique on utilisant l'indice SPI et l'indice de reconnaissance de la sécheresse RDI au niveau des stations de Djelfa et Ain Oussera, a montré des fortes irrégularités du régime climatiques avec des fluctuations à dominance sèches sur toute la période d'étude de 1981 à 2021. Concernant la sévérité de la sécheresse, les indices SPI montrent la même sévérité dans chaque durée de sécheresse, tandis que le RDI donne une sévérité un peu inférieure. Le RDI donne plus de précision sur le nombre de mois de sécheresse par rapport au SPI, car il est plus spécifique aux régions semi-arides.

**Mots clés :** Changements climatiques, sécheresse, Ville, Djelfa, SPI, RDI.

## Abstract:

The wilaya of Djelfa is located in the high steppe plains, which gave it a semi-arid climate with a low rate of precipitations, it is faced with considerable water needs as well as a local failure in underground and surface water. Therefore, since climatic factors strongly influence the water balance, it is essential to know them and to study their effects in order to have a better management in such cases. The study of hydrological drought using the SPI index and the RDI drought recognition index at the stations of Djelfa and Ain Oussera, showed strong irregularities in the climatic regime, with predominantly dry fluctuations over the entire study period from 1981 to 2021. Concerning the severity of the drought, the SPI indices show the same severity in each drought duration, while the RDI gives a slightly lower severity. The RDI gives more precision on the number of dry months compared to the SPI, because it is more specific to semi-arid regions.

**Key words:** Climate change, drought, City, Djelfa, Ain Oussera, SPI, RDI.

# SOMMAIRE:

<b>Résumé</b>	
<b>Dédicace</b>	
<b>Remerciement</b>	
<b>Sommaire</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des abréviations</b>	
<b>Introduction générale</b> .....	<b>01</b>
<b>Chapitre I : Recherche Bibliographique</b>	
I. 1. Introduction .....	<b>04</b>
I. 2. Définition des concepts .....	<b>04</b>
I. 2. 1. Météorologie .....	<b>04</b>
I. 2. 3. Climatologie .....	<b>04</b>
I. 2. 4. Hydroclimatologie .....	<b>05</b>
I. 2. 5. Système climatique .....	<b>05</b>
I. 2. 6. Eléments et Facteurs du climat .....	<b>05</b>
I. 2. 6. 1. Les éléments du climat .....	<b>05</b>
A- La température de l'air .....	<b>06</b>
B- Les précipitations .....	<b>06</b>
C- L'humidité relative .....	<b>07</b>
D- Le vent .....	<b>08</b>
E- Rayonnement .....	<b>08</b>
F- La nébulosité .....	<b>08</b>
G- pression atmosphérique .....	<b>08</b>
I. 2. 6. 1. Les facteurs du climat .....	<b>09</b>
I. 2. 7. Variabilité et changement climatique .....	<b>09</b>
I.3. Synthèse des travaux du GIEC et l'indicateur du changement climatique .....	<b>09</b>
I. 3. 1. Présentation du GIEC .....	<b>09</b>
I. 3. 2. Les indicateurs du changement climatique .....	<b>09</b>
I. 3. 2. 1. À l'échelle globale .....	<b>09</b>
I. 3. 2. 2. A l'échelle régionale (l'Algérie) .....	<b>09</b>
I. 4. Les causes du changement climatique global .....	<b>11</b>
I. 4. 1. Les causes naturelles .....	<b>11</b>
I. 4. 1. 1. L'effet de serre .....	<b>11</b>
I. 4. 1. 2. L'activité solaire .....	<b>12</b>
I. 4. 1. 3. Les activités volcaniques .....	<b>12</b>
I. 4. 2. Les causes anthropiques .....	<b>12</b>
I. 5. L'eau et le changement climatiques .....	<b>14</b>
I. 5. 1. Impact du changement climatique sur le cycle hydrologique .....	<b>14</b>
I. 5. 2. Impact du changement climatique sur les eaux de surface .....	<b>14</b>
I. 6. 1. Définition de la sécheresse .....	<b>15</b>
I. 6. 2. Type de la sécheresse .....	<b>15</b>
I. 6. 2. 1. Sécheresse météorologique .....	<b>15</b>
I. 6. 2. 2. Sécheresses hydrologiques .....	<b>15</b>
I. 6. 2. 3. Sécheresses agricoles .....	<b>15</b>
I. 6. 3. Les caractéristiques de la sécheresse .....	<b>16</b>
I. 6. 4. Les indices de l'évaluation de la sécheresse .....	<b>16</b>
I. 7. La différence entre Sécheresse et aridité .....	<b>17</b>
I. 8. Conclusion .....	<b>18</b>

<b>Chapitre II : présentation de la zone d'étude</b>	
II. 1. Introduction .....	20
II. 2. Présentation générale .....	20
II. 2. 1. Aperçu historique de la ville de Djelfa .....	20
II. 3. Situation géographique et limites administratives .....	21
II. 4. Cadre physique .....	23
II. 4. 1. Le relief .....	23
II. 4. 1. Contexte climatique .....	25
II. 5. Aperçu géologique .....	26
II. 5. 1. Le grand synclinal sud de Djelfa .....	27
II. 5. 2. Le petit synclinal Nord .....	27
II. 5. 3. Point de vue hydrogéologique .....	27
II. 6. Evolution de la population de la commune de Djelfa .....	27
II. 6. 1. Répartition de la population par dispersion .....	28
II. 6. 2. Répartition de la population occupée .....	30
II. 7. Conclusion .....	30
<b>Chapitre III : Hydroclimatologie</b>	
III. 1. Introduction .....	32
III. 2. Collecte des données .....	32
III. 3. Choix des stations étudiées .....	32
III. 4. Eléments du climat .....	32
III. 4.1. précipitation .....	32
III. 4. 1.1. Les précipitations moyennes mensuelles .....	32
III. 4. 1. 2. Répartition saisonnière des précipitations .....	33
III. 4. 1. 3. Les précipitations moyennes annuelles .....	34
III. 4.2. La température .....	36
III. 4. 2. 1. Les températures moyennes mensuelles .....	37
III. 4. 2. 2. Les températures moyennes annuelles .....	38
III. 5. Caractéristiques du climat .....	39
III. 5. 1. Diagramme Ombrothermique .....	39
III. 5. 2. Le climagramme d'Emberger .....	40
III. 6. Estimation des paramètres du bilan hydrique .....	41
III. 6. 1. Définition de l'évapotranspiration .....	41
III. 6. 2. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) .....	41
III. 6. 3. Le ruissellement .....	45
III. 6. 4. Infiltration efficace .....	46
III. 7. Conclusion .....	46
<b>Chapitre IV : Etude de la sécheresse</b>	
IV. 1. Introduction .....	48
IV. 2. Logiciel DrinC .....	48
IV. 3. Evaluation de la sécheresse météorologique.....	52
A-1. Sécheresse météorologique à court terme.....	52
A-2. La Sécheresse à moyen et à long terme .....	54
IV. 4. 1. Corrélation entre le SPI et le RDI calculés à partir de la station de Djelfa ...	57
IV. 4. 2. Corrélation entre le SPI et le RDI Station de Ain Oussera .....	58
IV. 5. Conclusion .....	60
<b>Conclusion générale</b> .....	62
Références bibliographique .....	65

## Liste des tableaux :

<b>Chapitre I : Recherche Bibliographique</b>	
<b>Tableau I. 1 :</b> Types de précipitations .....	<b>7</b>
<b>Tableau I. 2 :</b> Les types de climat et ses valeurs .....	<b>7</b>
<b>Chapitre II : présentation de la zone d'étude</b>	
<b>Tableau II. 1 :</b> Evolution de la population de la commune de Djelfa .....	<b>27</b>
<b>Tableau II. 2 :</b> Répartition de la population occupée .....	<b>30</b>
<b>Chapitre III : Hydroclimatologie</b>	
<b>Tableau III. 1 :</b> Présentation des stations étudiées .....	<b>32</b>
<b>Tableau III. 2 :</b> précipitation moyennes mensuelles dans les deux stations (mm) ....	<b>32</b>
<b>Tableau III. 3 :</b> Variation saisonnière des précipitations aux stations .....	<b>33</b>
<b>Tableau III. 4 :</b> Précipitations moyennes annuelles et Coefficients pluviométriques de la station de Djelfa (2000-2020) .....	<b>35</b>
<b>Tableau III. 5 :</b> Précipitations moyennes annuelles et Coefficients pluviométriques de la station de Ain Oussera (2000-2020) .....	<b>36</b>
<b>Tableau III. 6 :</b> Températures moyennes mensuelles pour la période (2000-2020) ..	<b>37</b>
<b>Tableau III. 7 :</b> Températures moyennes annuelles(C°).....	<b>38</b>
<b>Tableau III. 8 :</b> Les paramètres de climatogramme d'emberger.....	<b>40</b>
<b>Tableau III. 9 :</b> ETR annuelle selon la méthode de Turc.....	<b>42</b>
<b>Tableau III. 10 :</b> Bilan hydrique à la station de Djelfa pour la période (2000-2020).	<b>42</b>
<b>Tableau III. 11 :</b> Bilan hydrique à la station de Ain Oussera pour la période (2000-2020).....	<b>44</b>
<b>Tableau III. 12 :</b> Ruissellement selon la formule de Tixerant-Berckaloff.....	<b>46</b>
<b>Tableau III. 13 :</b> Les valeurs de l'infiltration efficace.....	<b>46</b>
<b>Chapitre VI : étude de la sécheresse</b>	
<b>Tableau IV. 1 :</b> Coefficient de corrélation ( $R^2$ ) entre les SPI et les RDI à différents pas de temps.....	<b>57</b>
<b>Tableau IV. 2 :</b> Coefficient de corrélation ( $R^2$ ) entre les SPI et les RDI à différents pas de temps.....	<b>58</b>

## Liste des Figures :

<b>Chapitre I : Recherche bibliographique</b>	
<b>Figure I. 1 :</b> Les composantes du système climatique.....	<b>5</b>
<b>Figure I. 2 :</b> Comparaison entre unités de mesure de température.....	<b>6</b>
<b>Figure I. 3 :</b> Les indicateurs du changement climatique à l'échelle globale.....	<b>10</b>
<b>Figure I. 4 :</b> Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie .....	<b>11</b>
<b>Figure I. 5 :</b> Evolution des totaux annuels du précipitations de l'Algérie (1901-2000).....	<b>11</b>
<b>Figure I. 6 :</b> Processus de l'effet de serre.....	<b>12</b>
<b>Figure I. 7 :</b> Le pourcentage des gaz à effet de serre de l'atmosphère .....	<b>13</b>
<b>Figure I. 8 :</b> L'évolution de concentration des GES dans l'atmosphère.....	<b>13</b>
<b>Figure I. 9 :</b> L'évolution de la concentration du CO <sub>2</sub> en Algérie .....	<b>14</b>
<b>Figure I. 10 :</b> Types de sècheresses.....	<b>16</b>
<b>Chapitre II : Présentation de la zone d'étude</b>	
<b>Figure II. 1 :</b> Présentation de la zone d'étude.....	<b>22</b>
<b>Figure II. 2 :</b> Les quatre zones de reliefs de Djelfa.....	<b>23</b>
<b>Figure II. 3 :</b> Carte géologique de la zone d'étude.....	<b>26</b>
<b>Figure II. 4 :</b> Evolution de La population de La commune de Djelfa.....	<b>28</b>
<b>Figure II. 5 :</b> Carte de la densité de la population de Djelfa.....	<b>29</b>
<b>Chapitre III : étude Hydroclimatologie</b>	
<b>Figure III. 1 :</b> histogramme de précipitation mensuelle (mm) dans les deux stations Djelfa et Ain oussera.....	<b>33</b>
<b>Figure III. 2 :</b> Répartition saisonnière des précipitations à la station de Djelfa (2000/2020).....	<b>34</b>
<b>Figure III. 3 :</b> Répartition saisonnière des précipitations à la station de Ain Oussera (2000/2020).....	<b>34</b>
<b>Figure III. 4 :</b> Les variations du coefficient pluviométrique aux stations de Djelfa et Ain Oussera (2000/2020).....	<b>37</b>
<b>Figure III. 5 :</b> Les variations des précipitations annuelles aux stations de Djelfa et Ain Oussera (2000/2020).....	<b>37</b>
<b>Figure III. 6 :</b> Histogramme des températures moyennes mensuelles aux stations de Djelfa et Ain Oussera (2000/2020).....	<b>38</b>
<b>Figure III. 7 :</b> Diagramme Omrothermique de la station Djelfa (2000-2020).....	<b>39</b>

<b>Figure III. 8 :</b> Diagramme Omrothermique de la station de Ain Oussera (2000-2020).....	<b>39</b>
<b>Figure III. 9 :</b> Climagramme pluviothermique d'Emberg.....	<b>41</b>
<b>Figure III. 10 :</b> Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques à la station de Djelfa pour la période (2000-2020).....	<b>43</b>
<b>Figure III. 11 :</b> Diagramme de la variation de la RFU, du déficit agricole et de l'excédent à la Station de Djelfa (2000-2020).....	<b>43</b>
<b>Figure III. 12 :</b> Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques à la station d'Ain Oussera pour la période (2000-2020).....	<b>44</b>
<b>Figure III. 13 :</b> Diagramme de la variation de la RFU, du déficit agricole et de l'excédent à la Station de Ain Oussera (2000-2020).....	<b>45</b>

#### **Chapitre IV : Etude de la sécheresse**

<b>Figure IV. 1 :</b> Comparaison de SPI 1 et RDI 1 pour la station de Djelfa (1981/2021) avec un pas de temps de 1 mois.....	<b>53</b>
<b>Figure IV. 2 :</b> Comparaison de SPI 1 et RDI 1 pour la station de Ain oussera (1981/2021) avec un pas de temps de 1 mois.....	<b>53</b>
<b>Figure IV. 3 :</b> Comparaison des SPI 3 et RDI 3 pour la station de Djelfa (1981/2021) avec un pas de temps de 3 mois.....	<b>53</b>
<b>Figure IV. 4 :</b> Comparaison des SPI 3 et RDI 3 pour la station de Ain oussera (1981/2021) avec un pas de temps de 3 mois.....	<b>53</b>
<b>Figure IV. 5 :</b> Comparaison des SPI 6 et RDI 6 pour la station de Djelfa (1981/2021) avec un pas de temps de 6 mois.....	<b>54</b>
<b>Figure IV. 6 :</b> Comparaison des SPI 6 et RDI 6 pour la station de Ain oussera (1981/2021) avec un pas de temps de 6 mois.....	<b>55</b>
<b>Figure IV. 7 :</b> Comparaison des SPI 9 et RDI 9 pour la station Djelfa (1981/2021) avec un pas de temps de 9 mois.....	<b>55</b>
<b>Figure IV. 8 :</b> Comparaison des SPI 9 et RDI 9 pour la station de Ain oussera (1981/2021) avec un pas de temps de 9 mois.....	<b>55</b>
<b>Figure IV. 9 :</b> Comparaison des SPI 12 et RDI 12 pour la station Djelfa (1981/2021) avec un pas de temps de 12 mois.....	<b>56</b>
<b>Figure IV. 10 :</b> Comparaison des SPI 12 et RDI 12 pour la station de Ain oussera (1981/2021) avec un pas de temps de 12 mois.....	<b>56</b>
<b>Figure IV. 11 :</b> Diagramme de corrélation entre les SPI et les RDI pour la station de Djelfa (1981-2021).....	<b>58</b>
<b>Figure IV. 12 :</b> Diagramme de corrélation entre les SPI et les RDI pour la station de Ain Oussera (1981-2021).....	<b>59</b>

## Liste des abréviations :

**GIEC** Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat  
**PNUE** Programme des Nations unies pour l'environnement  
**GES** gaz à effet de serre  
**%** Pourcentage  
**ANRH** Agence Nationale de Ressources en Eau.  
**°C** Degré Celsius.  
**(°F)**Fahrenheit  
**(K)** Kelvin  
**(Pa)** Pascal  
**VAG** Programme de la Veille de l'Atmosphère Globale  
**OMM** L'organisation météorologique mondiale  
**CP** Coefficient Pluviométrique.  
**DA** Déficit Agricole  
**DPAT** Direction de Planification et Aménagement du Territoire  
**DrinCD**Drought Indices Calculator  
**EEst**  
**ETP** Evapotranspiration potentielle  
**ETR** Evapotranspiration Réelle  
**Exc** Excédent en eau du sol.  
**N** Nord  
**GCM** Global Climate Models (Modèles de Circulation Générale)  
**hab** Habitant.  
**Ie** Infiltration efficace  
**mm** Millimètre.  
**NE** Nord Est  
**ONM** Office Nationale de Météorologie.  
**ONS** Office Nationale de Statistique.  
**P** Précipitation  
**R** Ruissellement  
**RDI** Indice de Reconnaissance de la Sécheresse.  
**SPI** Indice des Précipitations Standardisées  
**RFU** Réserve Facilement Utilisable.  
**RGPH** Recensement Général de la Population et de l'Habitat  
**RN** Route Nationale  
**T** Température  
**Tm** Température minimale  
**TM** Température Maximale

### Introduction Générale :

L'optique d'un éventuel changement climatique fait aujourd'hui l'objet de nombreuses recherches scientifiques. Le changement climatique est un défi global qui exige une réponse mondiale. Il est maintenant largement reconnu que le climat de la terre change comme en témoigne la décennie 1990, la plus chaude depuis dix siècles (GIEC, 2008). Le réchauffement climatique et ses variations régionales vont avoir un certain nombre de conséquences physiques sur l'environnement. Plusieurs de ces conséquences concernent le cycle des eaux, océans, glaciers, nuages et pluies. Cependant toutes les régions ne seront pas touchées de la même manière par les changements climatiques.

Le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) sur la définition à donner au changement climatique et à la variabilité climatique ; ainsi selon le GIEC, le réchauffement climatique se définit comme suit : « le changement climatique s'entend d'une variation de l'état du climat [...] qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine. » (GIEC, 2007) ; A contrario de la première définition citée, la Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique, le terme « changement climatique » désigne uniquement les changements dus aux activités humaines, quant au terme « variabilité climatique » il est utilisé pour désigner les changements climatiques d'origine naturelle (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2008).

Actuellement la détection et la surveillance des conditions de sécheresse sont essentiellement basées sur certains indices. Les indices les plus couramment utilisés pour la Surveillance de la sécheresse sont l'indice de sécheresse de Palmer (PDI) (Palmer, 1965) et l'indice de Précipitations Standardisé SPI (McKee et al, 1993) et l'indice hydrométrique 'SDI' .Par ailleurs, divers outils et méthodes pour la prévision des indice de la sécheresse ont été proposés et testés dans différentes régions au cours des dernières décennies.

Les conséquences de la sécheresse peuvent perdurer longtemps après le retour des pluies : denrées alimentaires rares et chères, ressources en eau peu abondantes, sols érodés et bétail affaibli, sans parler des conflits juridiques et sociaux qui peuvent persister durant des années. Les sécheresses sont souvent suivies d'inondations de grande ampleur qui surprennent les populations au moment où elles sont les plus vulnérables, entraînant un surcroît de souffrances.

Enfin, la sécheresse assèche les sols et altère le bon développement de la faune et de la flore. Ainsi, les incendies sont souvent nombreux en période de sécheresse, et vont émettre des gaz nocifs qui vont polluer l'atmosphère et accentuer l'effet de serre. Avec le changement climatique planétaire, les phénomènes de sécheresse sont de plus en plus récurrents, il est donc important de savoir comment gérer les réserves dans ce cas et surtout, comment s'adapter à un climat qui change extrêmement vite.

Les besoins toujours croissants du développement démographique, socio-économique et les changements climatiques implique une connaissance aussi parfaite que possible de la disponibilité de la ressource et de sa variabilité dans le temps et dans l'espace pour cela une bonne évaluation de la sécheresse actuelle peut avoir un impact direct sur les ressources en eau et amélioré davantage la gestion de la problématique de l'eau.

Le présent Travail s'organise en quatre chapitres précédés d'une introduction, suivis de conclusion et d'annexes.

**Le premier chapitre** : C'est une recherche bibliographique le but de cette partie de travail est de mieux situer le débit de base et l'indice de sécheresse. Il s'agit d'un rappel bibliographique et d'un essai pour mieux cerner les problèmes abordés dans ce travail, avant d'entrer, effectivement, dans le sujet.

**Le deuxième chapitre** : Représentation de la zone d'étude nous avons donné dans, ce chapitre un aperçu sur les différentes caractéristiques géographiques, hydrographiques, climatiques, géologiques et hydrogéologiques de la région d'étude.

**Le troisième chapitre** : C'un travail sur les composantes qui déterminent les paramètres du bilan hydrique sur une période de 20 ans.

**Le quatrième chapitre** : est consacré au calcul automatisé des indices de sécheresse avec logiciel spécialisé DrinC, les résultats obtenus on fait l'objet a des discussions et analyses. Une conclusion synthétise l'étude de ces indices obtenus.

Enfin nous terminons par une conclusion générale où sont récapitulés les éléments essentiels et relatant les principaux résultats de cette étude.

# **Chapitre I :**

# **Recherche bibliographique**

**I. 1. Introduction :**

Les changements climatiques ont depuis longtemps cessé d'être une curiosité scientifique. Ils constituent la question environnementale majeure qui domine notre vie. Du point de vue de l'abondante littérature en lien avec les changements climatique, nous avons jugé que c'est nécessaire de définir certains concepts clé en relation avec le changement climatique, et définir aussi la sécheresse et ces indices (SPI et RDI).

**I. 2. Définition des concepts :****I. 2. 1. Météorologie :**

Meteor = particules en suspension dans l'atmosphère, Logos = discours, connaissance ; science qui s'intéresse à ; l'étude de la formation et l'évolution de phénomènes atmosphériques et de leur interaction avec la surface du globe, l'étude des lois qui régissent les gaz de l'atmosphère, leurs changements d'état et leurs mouvements et l'étude du temps qu'il fait dans une région durant une période donnée.

Le temps est considéré comme l'état physique de l'atmosphère en un lieu donné et à un moment donné. Il se décrit en fonction de divers éléments météorologiques exprimés en valeurs instantanées (pression, température, ...) ou en valeurs moyennes ou cumulées sur des courtes périodes.

**I. 2. 3 Climatologie :**

Science qui décrit et explique les climats, Etablissement de valeurs moyennes et d'évolution saisonnière caractéristique de paramètres déterminant le temps, pendant une période de 30 ans et plus.

**Le climat :**

Klima= inclinaison, désigne étymologiquement l'angle entre le rayonnement solaire et son inclinaison sur la surface terrestre. La combinaison des états de l'atmosphère (Pression, Température, Vent.....) en un lieu donné et sur une période définie.

**• Buts de la climatologie et démarche climatologique :**

La climatologie a essentiellement pour but :

- a) L'analyse des éléments météorologiques qui constituent le climat ;
- b) La recherche des causes qui expliquent les différents climats et les fluctuations qui les accompagnent ;
- c) L'étude de l'action du climat sur sols, des matériaux, des êtres vivants.

Dans la démarche climatologique, on distingue plusieurs phases associées à ces différents buts :

**1) La climatologie descriptive (ou analytique) :** C'est l'étude géographique des conditions météorologiques caractérisant chaque région. Elle permet, à partir d'observation, à la description des évolutions de l'atmosphère aux différents points du globe.

**2) la climatologie explicative (ou synthétique) :** Elle consiste à étudier les propriétés et l'origine des fluctuations ou des évènements climatiques avec une interprétation physique ou dynamique.

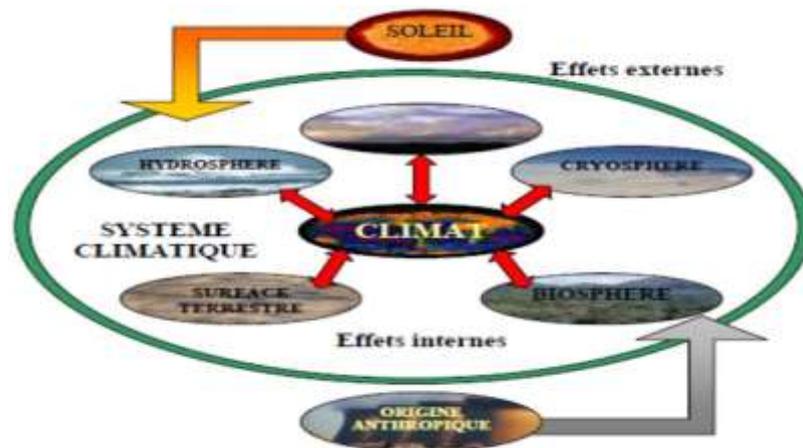
3) **La climatologie appliquée** : C'est l'application de la climatologie à des domaines autres que l'atmosphère elle-même puisque le climat agit constamment sur diverses sortes d'activités. Ainsi existe : l'agroclimatologie, l'hydroclimatologie, la bioclimatologie.

**I. 2. 4. l'hydroclimatologie** : Est l'étude de Tarissement des cours d'eau, volumes mobilisés par les aquifères et infiltrations efficaces.

### I. 2. 5. Système climatique :

Le système climatique comprend :

- **L'atmosphère** : Constituée par l'enveloppe gazeuse (air sec, vapeur d'eau, impureté et autres gaz, gaz carbonique, ozone, etc.) ;
- **La lithosphère** : Comprend les éléments de l'enveloppe corticale rocheuse (masses continentales) et les aérosols ;
- **L'hydrosphère** : Comprend l'ensemble de toutes les étendues liquides (océans, mers, cours d'eau, fleuves) ;
- **La cryosphère** : Constituée par l'enveloppe glaciaire ou neigeuse (calottes glaciaires, polaires ou montagneuses, banquises et glaces de mer, étendues neigeuses,...) ;
- **La biosphère** : Constituée par l'ensemble des êtres vivants.



**Figure I. 1** : Les composantes du système climatique, (Aliouche, Y., 2016).

Le comportement de l'ensemble du système climatologique est influencé ou contraint par l'évolution de certains paramètres extérieurs que l'on appelle forçage extérieure.

### I. 2. 6. Éléments et Facteurs du climat

#### I. 2. 6. 1. Les éléments du climat :

Ce sont des paramètres physiques et des observations visuelles qui caractérisent le climat. Ils résultent de

- Soit directement de la lecture ou de l'enregistrement d'un appareil de mesure : Thermomètre, Pluviomètre ;

➤ Soit des observations visuelles codifiées directement par l'observateur : on peut citer par exemple la détermination de la couverture nuageuse ou de la morphologie du type de nuages.

### A- La température de l'air :

➤ Ensemble des conditions atmosphériques, variables, traduites subjectivement en sensations relatives de chaud ou de froid ;

➤ C'est une grandeur qui permet de repérer l'énergie thermique d'un corps ;

➤ Elle traduit la capacité du corps à céder ou recevoir de l'énergie thermique des corps environnants ;

➤ C'est un paramètre essentiel qui conditionne toutes les activités physiologiques, les réactions chimiques et la répartition des êtres vivants car ils ne peuvent subsister et se développer qu'entre certaines limites.

Nombreux facteurs agissent sur la variation diurne de la température ; nébulosité, l'altitude, la latitude, la saison, le relief (exposition).

#### ❖ mesures de la température :

La température de l'air usuelle est la température de l'air mesurée à l'ombre. Le thermomètre est placé à l'intérieur d'un un abri météorologique, peinte en blanc placé à une altitude de 1m50, le but étant de limiter les rayonnements solaires réfléchis par le sol.

#### ❖ Unités de mesure ;

Plusieurs unités de mesure sont employées : Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) ou centigrade, Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) et Kelvin (K)

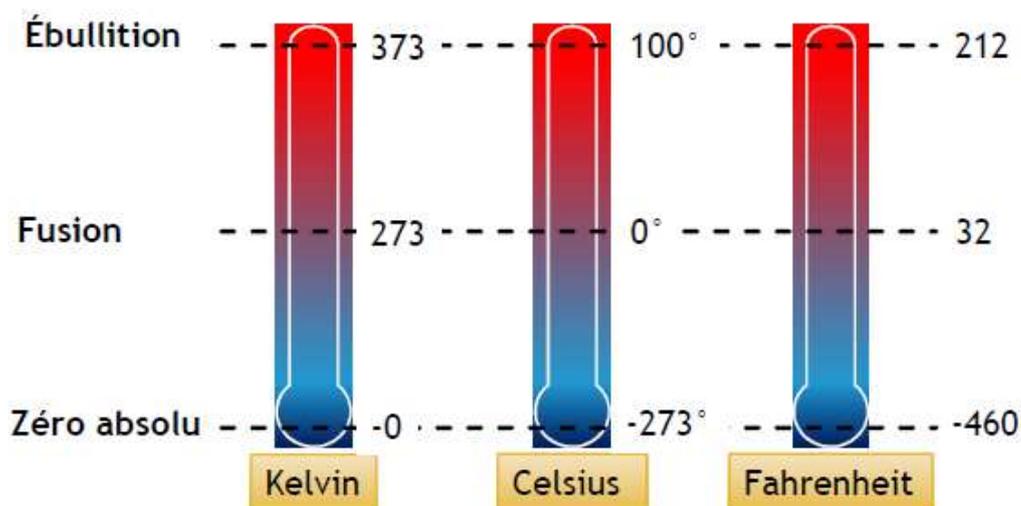


Figure I .2 : Comparaison entre unités de mesure de température (www.blog.beamex.com)

### B- Les précipitations :

#### ❖ Définition :

➤ Précipitations = produits solides ou liquides qui résultent de la condensation de la vapeur d'eau ;

- Hydrométéores, ensemble de particules d'eau liquides ou solides ;
- La pluviosité est mesurée à l'aide d'un pluviomètre et exprimée en millimètre ;
- En fonction de la nature physique et la dimension des particules, on distingue plusieurs types de précipitation :

**Tableau I. 1 : Types de précipitations**

Etat physique	Type	Taille
<b>Liquide</b>	Bruine	< 0,5 mm
	Pluies	0,5 à 6 mm
<b>Solide</b>	Grêle	5 à 50 mm
	Neige	Taille variable
	Grésil	< 5 mm

(www.wikipedia.org)

- L'importance des précipitations a poussé les spécialistes à caractériser le climat à partir de la valeur moyenne annuelle ; les précipitations sont caractérisées par : leur quantité, leur nature physique, leur fréquence, leur durée de chute, leur intensité, leur répartition dans le temps.

**Tableau I. 2 : Les types de climat et ses valeurs**

Pluviosité annuelle moyenne (mm)	Type de climat
< 120 mm	climat désertique
120 mm < P < 250 mm	climat aride
250 mm < P < 500 mm	climat semi-aride
500 mm < P < 1000 mm	climat modérément humide
1000 mm < P < 2000 mm	climat humide
P > 2000 mm	climat excessivement humide

(www.wikipedia.org)

**C- L'humidité relative :**

- Appelée également degré hygrométrique. L'appareil de mesure l'hygrographe ;
- C'est le rapport exprimé en pourcentage entre la tension de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère (e masse d'eau contenue dans l'air ou humidité effective  $h_e$ ) et la tension maximale de la vapeur d'eau ( $e_w$  ou humidité saturante  $h_s$ ).

$hr = e/e_w \cdot 100$ ou $hr = h_e/h_s \cdot 100$
--

- L'humidité relative compare donc la quantité d'eau présente dans l'air à la quantité qu'il faudrait pour saturer cet air à une température donnée.
- Le rapport  $e/e_w$  est minimal au moment du maximum de température et maximal au moment du minimum de température.

**D- Le vent**

- Le vent est un mouvement naturel d'une masse d'air qui se déplace suivant une direction ;
- C'est la résultante des de la différence de pression entre deux zones voisines ;
- Il est caractérisé par :
  - Sa vitesse, exprimée généralement en kilomètre par heure (km/h)
  - Sa direction ou provenance.
- L'appareil de mesure de la vitesse du vent est un anémomètre. Sa direction est déterminée à l'aide d'une girouette ;
- Le vent peut avoir une action mécanique (érosion du sol, déformation des arbres...) ou physiologique (assèchement des surfaces ou au contrainte vecteur d'air humide...).

**E- Rayonnement :**

- L'ensoleillement est la durée pendant laquelle un lieu subit le rayonnement direct du soleil ;
- Il dépend de la position géographique du lieu (latitude) et de la nébulosité ;
- Le rayonnement solaire est caractérisé par la durée d'insolation et l'intensité de la radiation globale ;
- La durée d'insolation se mesure généralement à l'aide d'un héliographe.

**F- La nébulosité :**

- C'est l'état de recouvrement du ciel par les nuages ;
- Au cour de la journée et en contact avec une masse nuageuse, le rayonnement solaire est réparti en rayonnement réfléchi, rayonnement diffus et rayonnement absorbé et donc seule une partie l'énergie solaire atteint la surface du sol ;
- Ainsi, au cour de la journée, un ciel nuageux permet la diminution du réchauffement de la surface Terrestre ;
- Au cours de la nuit, un ciel nuageux permet la réduction de la perte d'énergie de la terre donc diminution du refroidissement de la terre.

**G- pression atmosphérique :**

- Elle est mesurée à l'aide d'un baromètre ;
- exprimée en pascal (Pa), en mm de mercure ou en millibars.

**I. 2. 6. 1. Les facteurs du climat :**

Ce sont des facteurs qui agissent sur la variabilité des éléments du climat. On distingue :

- Les facteurs astronomiques ;
- Les facteurs météorologiques ;
- Les facteurs géographiques ;
- Les facteurs anthropogéniques.

**I. 2. 7. Variabilité et changements climatique :**

La variabilité climatique correspond à tout changement du système climatique qui persiste plus longtemps qu'un événement météorologique. Par contre un changement climatique est une modification durable (de la décennie au million d'années) des paramètres statistique du climat global de la terre ou de ses divers climats régionaux.

**I. 3. Synthèse des travaux du GIEC et l'indicateur du changement climatique :****I. 3. 1. Présentation du GIEC :**

Le GIEC (le groupe d'experts intergouvernemental d'études sur l'évolution du climat) c'est la principale source d'information scientifique de la qualité sur le réchauffement climatique, considérant l'importance de cet organisme mérite d'être présenté. Il est fondé en 1986 par l'organisation métrologique mondiale OMM et par PNUE(le Programme des Nations Unies pour l'environnement), il n'est pas un organisme de recherche. Il s'est donné pour rôle d'expertiser l'information technique et socio-économique qui concerne le risque de changement climatique provoqué par l'homme. Cela consiste à fournir à intervalles réguliers (tous les cinq à six ans), des rapports qui résument l'état des connaissances scientifique sur le climat à un instant donné. (Mazar, A, 2014.)

Le GIEC se compose actuellement de trois groupes de travail et d'une équipe spéciale secondés par des unités d'appui technique :

- **Le groupe I** : travail sur les bases scientifiques du changement climatiques
- **Le groupe II** : se penche sur les conséquences de ce changement sur notre société. Il évalue aussi la vulnérabilité de ces dernières et les adaptations possibles.
- **Le groupe III** : étudie les solutions pour atténuer les différents effets du changement climatiques.
- **L'équipe spéciale** : s'occupe des inventaires nationaux des gaz à effet de serre.

Ainsi, chaque rapport comporte trois volets correspondant à chaque groupe de travail, suivi d'un volet final de synthèse (Mazar, A, 2014.)

**I. 3. 2. Les indicateurs du changement climatique :****I. 3. 2. 1. À l'échelle globale :**

D'après le 4ème rapport du GIEC donné en 2007, à l'échelle globale les changements climatiques observés peuvent être résumé en :

- L'augmentation de la température moyenne à la surface de la terre. d'après le même rapport la nouvelle valeur de la vitesse moyenne du réchauffement au cours des cents dernières années (1906-2005) de 0,74 (0,56 à 0,92) °C est donc plus grande que n'était la valeur analogue calculée au moment du troisième Rapport de 0,6 (0,4 à 0,8) °C pour la période 1901-2000 ;
- L'augmentation du niveau de la mer d'environ 17cm au cours du dernier siècle ;
- Une diminution dans la masse des calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique ;
- Modification de la fréquence des évènements extrêmes.

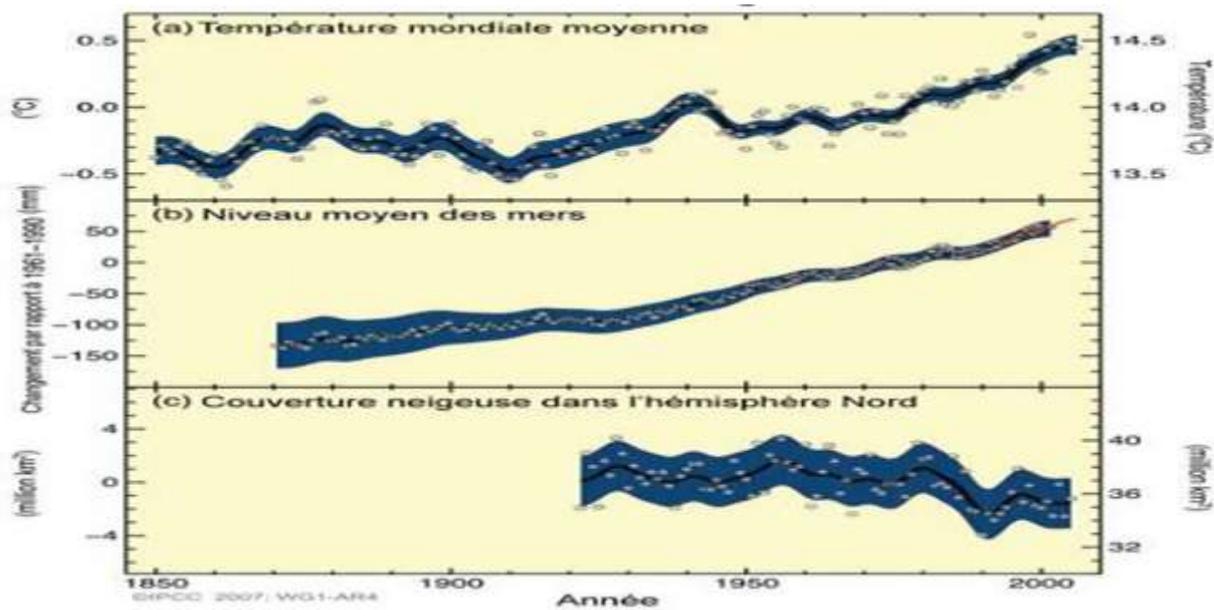
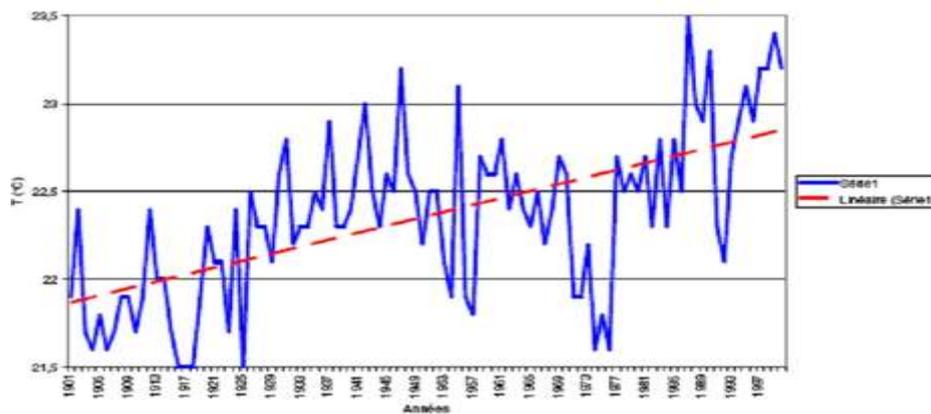


Figure I. 3. Les indicateurs du changement climatique à l'échelle globale

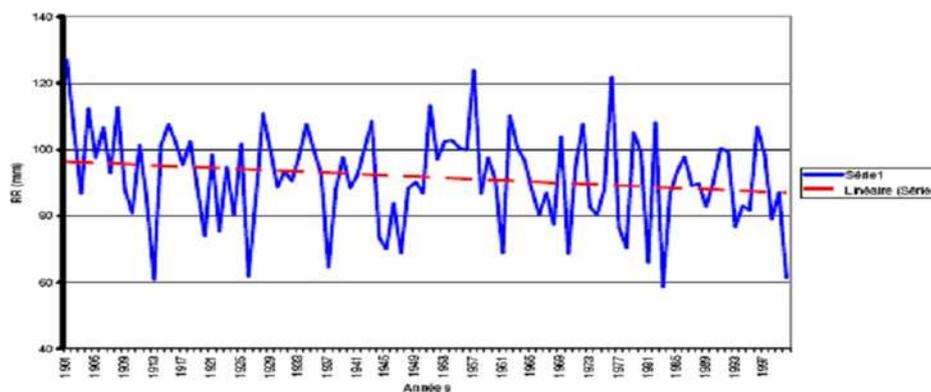
(GIEC. 2007)

### I. 3. 2. 2. A l'échelle régionale (l'Algérie) :

En Algérie, le changement climatique se présente sous forme d'une sécheresse. Il montre l'évolution récente du réchauffement. Il est plus important que la moyenne. En effet sur les 40 dernières années les températures moyennes annuelles ont subi une augmentation de 0.5°C (figure I. 3). Ainsi les sécheresses de la même période sont encore plus remarquables compte tenu du déficit pluviométrique est estimée à environ de 10% de la moyenne enregistré un peu partout sur le territoire, particulièrement à l'Ouest du pays. (Abderrahmani, B ,2015.)



**Figure I. 4.** Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000) (Djellouli, 2008).



**Figure I. 5.** Evolution des totaux annuels de précipitations de l'Algérie (1901-2000) (Djellouli, 2008).

#### **I. 4. Les causes du changement climatique global :**

Les causes sont multiples. Certaines sont naturelles. D'autres sont anthropique. (Jacques, D et al. 2006)

##### **I. 4. 1. Les causes naturelles :**

###### **I. 4. 1. 1. L'effet de serre :**

C'est un phénomène naturel résultant de la réémission, sous forme d'un rayonnement thermique infrarouge, d'une partie du rayonnement solaire incident, par la surface terrestre. L'autre partie est absorbée par l'atmosphère ou par la surface de la Terre et donc transformés en chaleur.

Si l'un des éléments régissant le système climatique subit des modifications considérables, l'équilibre peut être rompu, ce qui entraînerait un changement climatique planétaire qu'il soit temporaire ou permanent. (Saida, N. 2007.)

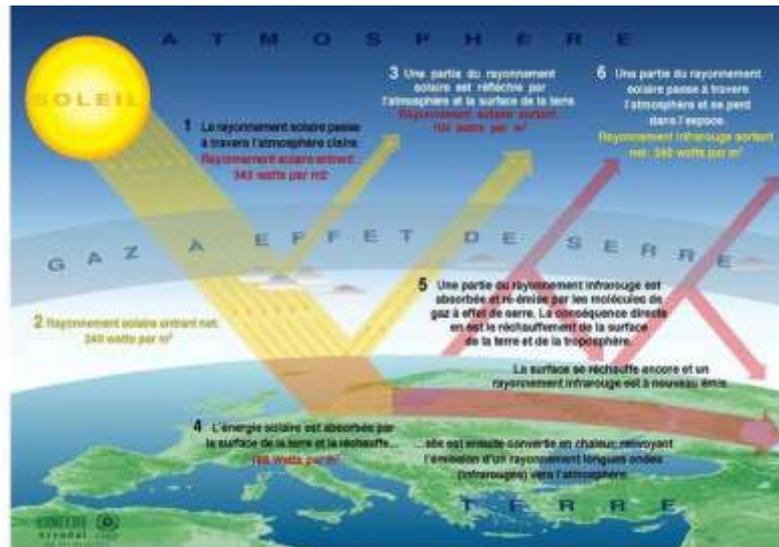


Figure I. 6. Processus de l'effet de serre

(www. wikipedia.org)

**I. 4. 1. 2. L'activité solaire :**

Le soleil traverse des périodes de grande activité, qui se traduisent par une augmentation du nombre de taches solaires. (Tabet, S. 2008.)

Lorsque le nombre de taches solaires est important, le soleil émet plus d'énergie (la terre en reçoit plus), par conséquent un changement de température et du climat à lieu (Lean, 1995 ; Hyot, 1998 ; Fröhlich ; 2000)

**I. 4. 1. 3. Les activités volcaniques :**

Plusieurs études ont montré que l'activité volcanique est un autre moteur de la variabilité climatique (Budyko, 1984 ; Touchard ,2022 ; Baroni, 2006).

Le volcanisme implique une chute des températures à court terme, mais s'avère être un puissant facteur de réchauffement sur le long terme. Les éruptions volcaniques sont parfois si violentes que de grands volumes de poussière et de gaz sont projetés à haute altitude dans l'atmosphère. Les particules qui atteignent la stratosphère peuvent plusieurs années. Elles provoquent une baisse des températures en réfléchissant de rayonnement solaire.

**I. 4. 2. Les causes anthropiques :**

Le changement climatique d'origine anthropique est principalement dû à la production et au rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère du fait de l'activité humaine. Cette augmentation des (GES) est directement liée à la croissance industrielle et aux modes de production et de consommation qui y sont associés. Dans la figure 1. 7 ; à droite, la répartition des contributions à l'effet de serre des différents gaz présents dans l'atmosphère A gauche la composition de l'atmosphère en pourcentage. Les gaz à effet de serre ne représentent que 1,04 % sur la totalité des gaz atmosphériques.

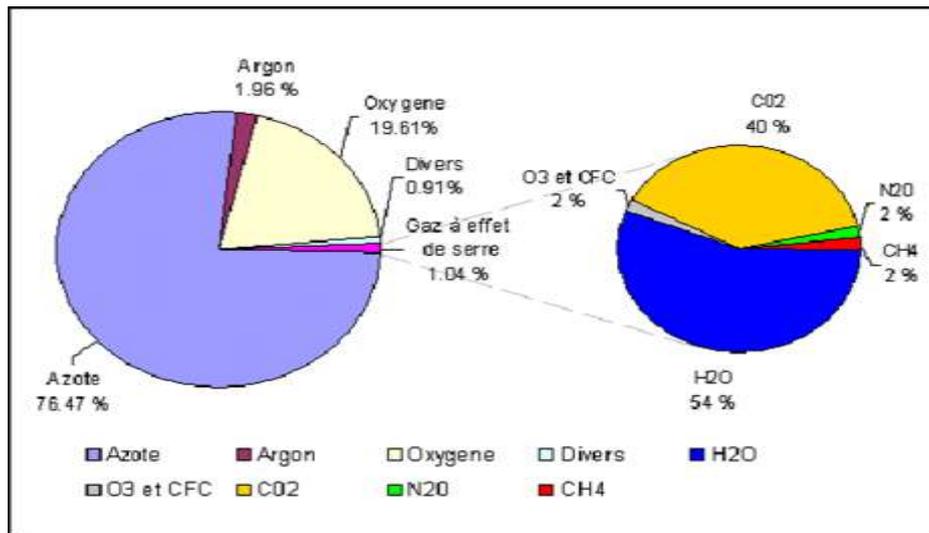


Figure I. 7. Le pourcentage des gaz à effet de serre de l'atmosphère (Tabet, S. 2008)

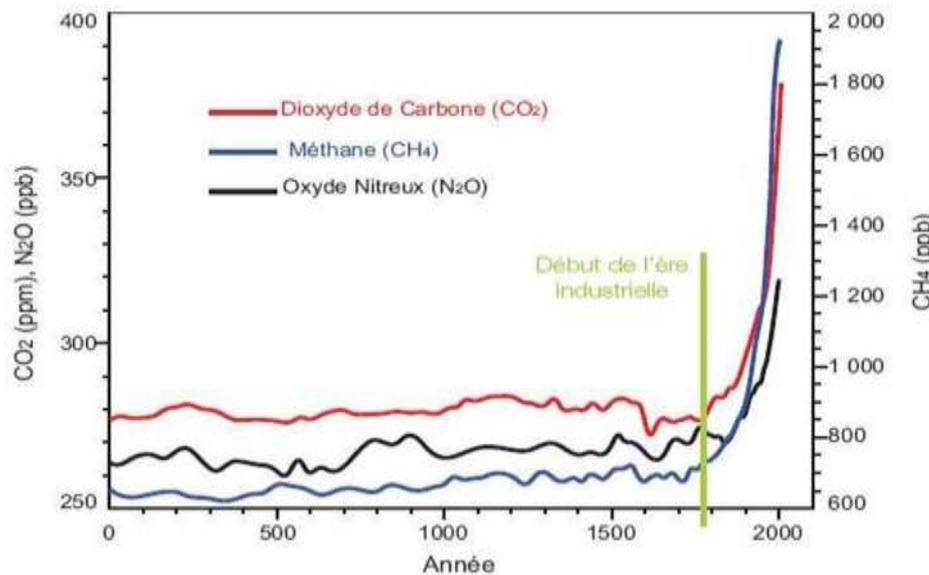
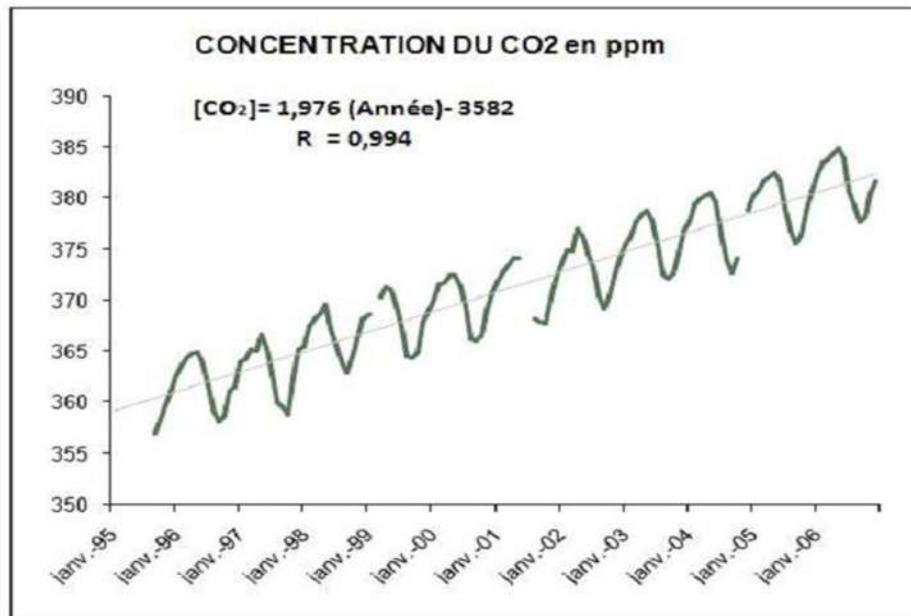


Figure I. 8. L'évolution de concentration des GES dans l'atmosphère

(GIEC)

Les mesures des concentrations des Gaz à effet de serre en Algérie se font à la station VAG (programme de la Veille de l'Atmosphère Globale) de Tamanrasset ; loin de toute source de pollution anthropique et à une altitude importante 2710 m. En 1996 : on a enregistré les concentrations suivantes ; CO<sub>2</sub> = 362ppm, CH<sub>4</sub>= 1756 ppb, CO = 106 ppb. Une croissance significative du CO<sub>2</sub> de 2 ppm/an entre 1995 et 2006. Bien qu'elle soit éloignée de toute émission industrielle, les concentrations du CO<sub>2</sub> enregistrées à la station VAG (Tamanrasset) sont presque égales à la moyenne mondiale, on devra enregistrer des concentrations élevées dans les grandes villes industrielles.



**Figure I. 9.** L'évolution de la concentration du CO<sub>2</sub> en Algérie (Tabet, S. 2008)

### **I. 5. L'eau et le changement climatiques :**

L'eau est le bien-être de nos sociétés, dressé par la division Eau de l'ONU. Ses impacts peuvent jouer à la fois sur le cycle de l'eau et sur les extrêmes comme les risques de sécheresse et d'inondation, et donc affecter durablement l'hydro-système. (Florence, H et al , 2011.)

#### **I. 5. 1. Impact du changement climatique sur le cycle hydrologique :**

Le premier paramètre qui est soumis à l'impact du changement climatique, c'est la température de l'air et des océans, qui va influencer sur le cycle de l'eau en modifiant les conditions d'alimentation du réservoir atmosphériques. Dans un second temps, ces modifications vont impacter la pluviométrie, pour conséquence, des modifications temporelles et spatiales des régimes de précipitations qui caractérisent aujourd'hui notre territoire.

#### **I. 5. 2. Impact du changement climatique sur les eaux de surface :**

Plusieurs études indiquent l'augmentation l'écoulement de surface à l'échelle globale. Les débits des fleuves ont augmenté de manière importante en nord-ouest de l'Amérique du Nord et au Europe du Nord. Diminution en Afrique sub-saharienne et en Europe du Sud.

La sécheresse persistante, en Algérie au cours des 30 dernières années et caractérisée par un déficit pluviométrique évalué à 30% (50% durant l'année 2001- 2002). Les flux trop faibles ne permettent pas de remplir suffisamment les barrages existants.

Dans beaucoup de plaines du pays, le niveau des nappes phréatiques a déjà chuté dans des proportions alarmantes (> 20 m.)

La surexploitation des nappes phréatiques a aggravé les sécheresses a entraîné la minéralisation des zones non saturées des nappes aquifères profondes, dans les régions semi-arides. Le taux moyen dans la région Nord d'utilisation des nappes phréatiques est de 79%, parfois, il dépasse les 90% dans certaines zones.

Dans les régions côtières, la baisse des niveaux de pression hydrostatique a favorisé l'intrusion de l'eau de mer dans les réserves d'eau douce des nappes aquifères côtières.

### **I. 6. 1. Définition de la sécheresse :**

Si la notion de sècheresse n'est aujourd'hui pas universellement définie, l'état de la sécheresse peut cependant être caractérisé comme un déficit hydrique marqué dans un ou plusieurs composantes du cycle hydrologique. Ce manque d'eau est généralement dû à de trop faibles précipitations sur une période donnée, par rapport à la moyenne des apports observés sur cette période et a un impact direct sur l'alimentation des différents compartiments du bassin versant (surface, sol et nappes).

### **I. 6. 2. Type de la sécheresse :**

#### **I. 6. 2. 1. Sécheresse météorologique :**

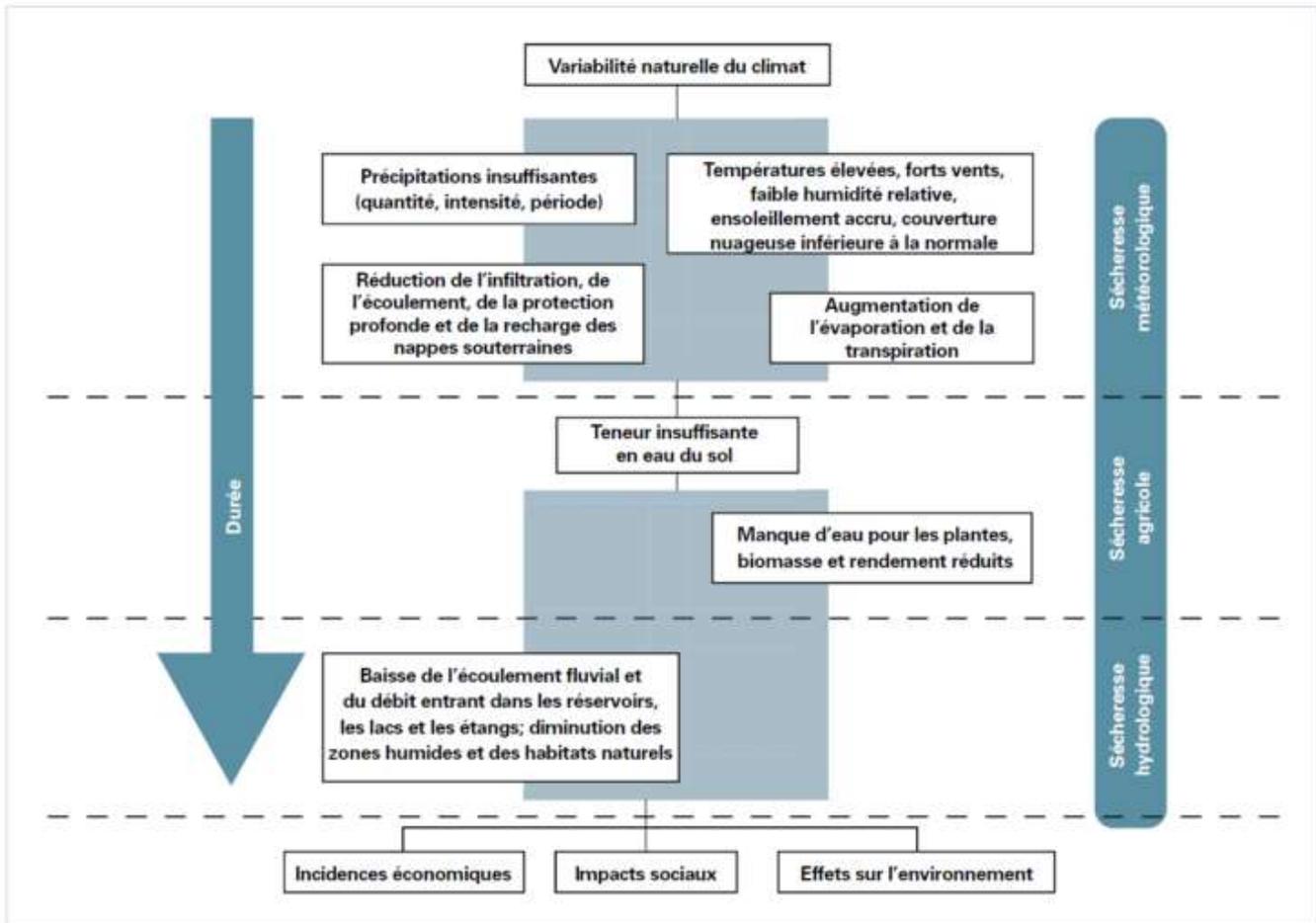
Elle est caractérisée par un déficit des précipitations, solides et liquides. Ainsi, il s'agit d'une période, qui peut varier du mois à l'année, voire dans des cas extrêmes, a plusieurs années, durant laquelle les précipitations sont inférieures à la normale.

#### **I. 6. 2. 2. Sécheresses hydrologiques :**

Les sécheresses hydrologiques peuvent à la fois définir le débit d'un cours d'eau comme trop faible mais peuvent aussi représenter le fait qu'un réservoir du sol ou du sous-sol n'est pas suffisamment réalimenté.

#### **I. 6. 2. 3. Sécheresses agricoles :**

Les sécheresses agricoles (ou édaphiques) sont caractérisées par un déficit lié à la réserve en eau du sol. Il s'agit d'une période durant laquelle l'humidité du sol est inférieure à sa valeur moyenne, ce qui a des conséquences directes sur la végétation, qu'elle soit naturelle ou cultivée.



**Figure I. 10.** Types de sécheresses

(www.wikipedia.org)

### I. 6. 3. Les caractéristiques de la sécheresse :

Il y a des caractéristiques fondamentales (sévérité, durée et distribution spatiale) et des caractéristiques supplémentaires fréquence, ampleur ou le déficit cumulé, prévisibilité, taux d'apparition et le moment.

- Sévérité : C'est le degré d'impact résultant du déficit, ou du déficit de précipitation ;
- Durée : Elle variait d'une semaine à quelques années ;
- Distribution spatiale ou L'étendue géographique : La superficie que couvre la sécheresse ;
- La magnitude : Dans la période de sécheresse le déficit accumulé en eau en dessous d'un certain seuil ;
- La fréquence : C'est la période de retour d'une sécheresse, le temps moyen entre les événements de sécheresse.

### I. 6. 3. Les indices de l'évaluation de la sécheresse :

- **l'indice des précipitations normalisées (SPI) :**

C'est un indice permettant de mesurer la sécheresse météorologique. Il s'agit d'un indice de probabilité qui repose seulement sur les précipitations. Les probabilités sont standardisées de sorte

qu'un SPI de 0 indique une quantité de précipitation médiane (par rapport à une climatologie moyenne de référence, calculée sur 30 ans). L'indice est négatif pour les sécheresses, et positif pour les conditions humides (Mc Kee et al., 1993).

$$\text{SPI} = (\text{pi} - \text{pm})/\sigma$$

**Pi** : est la Précipitation de l'année i.

**Pm** : la Précipitation moyenne.

**$\sigma$**  : la Déviation standard ou écart type.

- **Valeurs et signification du SPI :**

SPI > 0 : Plus de précipitations que la normale (plus humide) ;

SPI < 0 : Moins de précipitations que la normale (plus sec) ;

-0.99 < SPI < +0.99 : Précipitations proches de la normale ;

SPI < - 2.0 : Extrêmement sec ;

SPI > 2.0 : Extrêmement humide.

- **L'indice de la reconnaissance de la sécheresse RDI :**

C'est un indice permettant de mesurer la sécheresse météorologique. Il aborde le déficit en eau, il intègre l'évapotranspiration potentielle avec les précipitations.

- **Valeurs et signification du RDI :**

RDI < -2 Extrêmement sec

-2 ≤ RDI ≤ -1,5 Sévèrement sec

-1,5 ≤ RDI ≤ -1 Modérément sèche

-0,5 ≤ RDI ≤ +0,5 Ordinaire

+1 ≤ RDI ≤ +1,5 Modérément humide

+1,5 ≤ RDI ≤ +2 Très humide

≥ +2 RDI > +2 Extrêmement humide

### I. 7. La différence entre Sécheresse et aridité :

La sécheresse s'explique par un déficit pluviométrique temporaire, qui n'est pas propre au climat de la zone touchée mais qui dure suffisamment longtemps pour être dommageable.

L'aridité s'explique par une faiblesse des précipitations moyennes (moins de 250 mm/an) associée à une forte évapotranspiration (plus de 2000 mm). Le manque de pluie est une caractéristique permanente du climat de la zone. Elle concerne les régions où les pluies sont rares et les températures sont élevées.

**I. 8. Conclusion :**

Tous les éléments du climat agissent en même temps pour former un milieu climatique. En résumé, le climat est constitué d'une part, par une source d'énergie d'origine solaire dont les caractéristiques déterminées par la variation des facteurs cosmiques, et d'autre part, par des interrelations souvent complexes et non-étroites entre les cinq grandes entités naturelles. Ces entités sont : l'atmosphère, l'hydrosphère, la lithosphère, la cryosphère ainsi le phénomène de sécheresse et ses caractéristique et ces indices. Les indices les plus couramment utilisés pour la Surveillance de la sécheresse sont l'indice de sécheresse de Palmer (PDI) et l'indice de Précipitations Standardisé SPI et l'indice hydrométrique SDI.

# **Chapitre II :**

## **Présentation de la zone d'étude**

**II. 1. Introduction :**

Ce chapitre a pour but de définir la situation de la région de Djelfa et de présenter son aspect socio-économique ainsi la détermination de ses données physique naturelles (ensembles topographiques, facteurs climatiques...)

**II. 2. Présentation générale :****II. 2. 1. Aperçu historique de la ville de Djelfa :**

-24/09/1852 : Le Général Youssouf posa la première pierre pour la construction d'un Bordj à Djelfa (la caserne côté nord) ou Djelfa était conçu comme une halte militaire (ville garnison), servant de point d'approvisionnement pour les militaires.

-1854 : des civile s'installèrent à coté de Bordj pour faire du commerce avec les militaires. Un dispensaire fut installé par le médecin militaire Reboud (connu par ses recherches botaniques et archéologiques). Un moulin à eau fut aussi édifié par une particulière sur le bord de l'oued.

-1855 : une maison fut construite a Djelfa pour si chérif ben lahrech qui fit venir les descendants de sidi Abdelaziz (abaziz -Djelfa) et les installa près de la pris d'eau.

-1861: le village de Djelfa a connu un développement à partir du fort. Le 16 fév. de la même année fut promulgue un décret de l'empereur créant au lieu-dit « Djelfa » un centre de pop pour une superficie de 1775ha.92 ares et 65 centiares. Et la construction d'une église à Djelfa.

-1862 : ouverture du chantier du télégraphe au sommet de Djebel Sin Elba.

-1863: construction de 1<sup>er</sup> école (une classe au sien de l'actuel assemblé populaire communal).

-01/01/1869 : Djelfa fut érigée en commune mixte « militaire et civile » (au sien de l'actuel résidence du wali).

-20/02/1870 : par décision impérial ; Djelfa fut érigée en cercle de la subdivision de Médéa ; où une 2<sup>ème</sup> école construite de la même année (l'actuel école Emir Abdelkader).

-1871: construction de fort nord (caserne Ben Ayad ) et du fortin à Djelfa ( le fortin "la poudrière " ou communément appelé Dar el baroud ).

-1874 : construction de la mairie, d'une justice de paix et de mahkama de cadî. Un accord « le colorie des larbaa » était conclu entre les tribus d'Aflou et de Djelfa. Reconnu officiellement par décret de gouverneur général 1874, donna des garantie de sécurité au larbaa au cours de leur montée vers le Tell.

-1877: début des travaux de construction de la mosquée de sidi belkacen .

-1878: la construction de nouveaux remparts qui se sont achevés en 1882.

-1880: réalisation de 1<sup>er</sup> relevé cadastral des forets.

-1888: commencement de relevé topographique de la région.

-1889: réalisation d'une 2<sup>ème</sup> canalisation d'eau potable (la 1<sup>er</sup> datant de 1854).

-1895:la construction du Bureau Arabe.

- 1900: réalisation du 1er réseau d'assainissement de la ville de Djelfa.
- 1901: la ville Djelfa comptait 2.016 habitants.
- 1907: réalisation de la 3<sup>ème</sup> canalisation d'eau potable.
- 1912: construction d'une 3<sup>ème</sup> école (si Ahmed Benchirif).
- 1921: arrivé du chemin de fer l'émergence de la gare, à cette période, Djelfa comptait 3.019 habitants
- 1927: construction d'une infirmière-dispensaire (l'actuel centre de formation paramédical).
- 1931: distribution de l'électricité dans la ville de Djelfa. La ville acquiert un paysage nocturne.
- 1927: réalisation de la poste et des villas de la « pépinière ».
- 1950: commença la démolition des remparts.

### **II. 3. Situation géographique et limites administratives :**

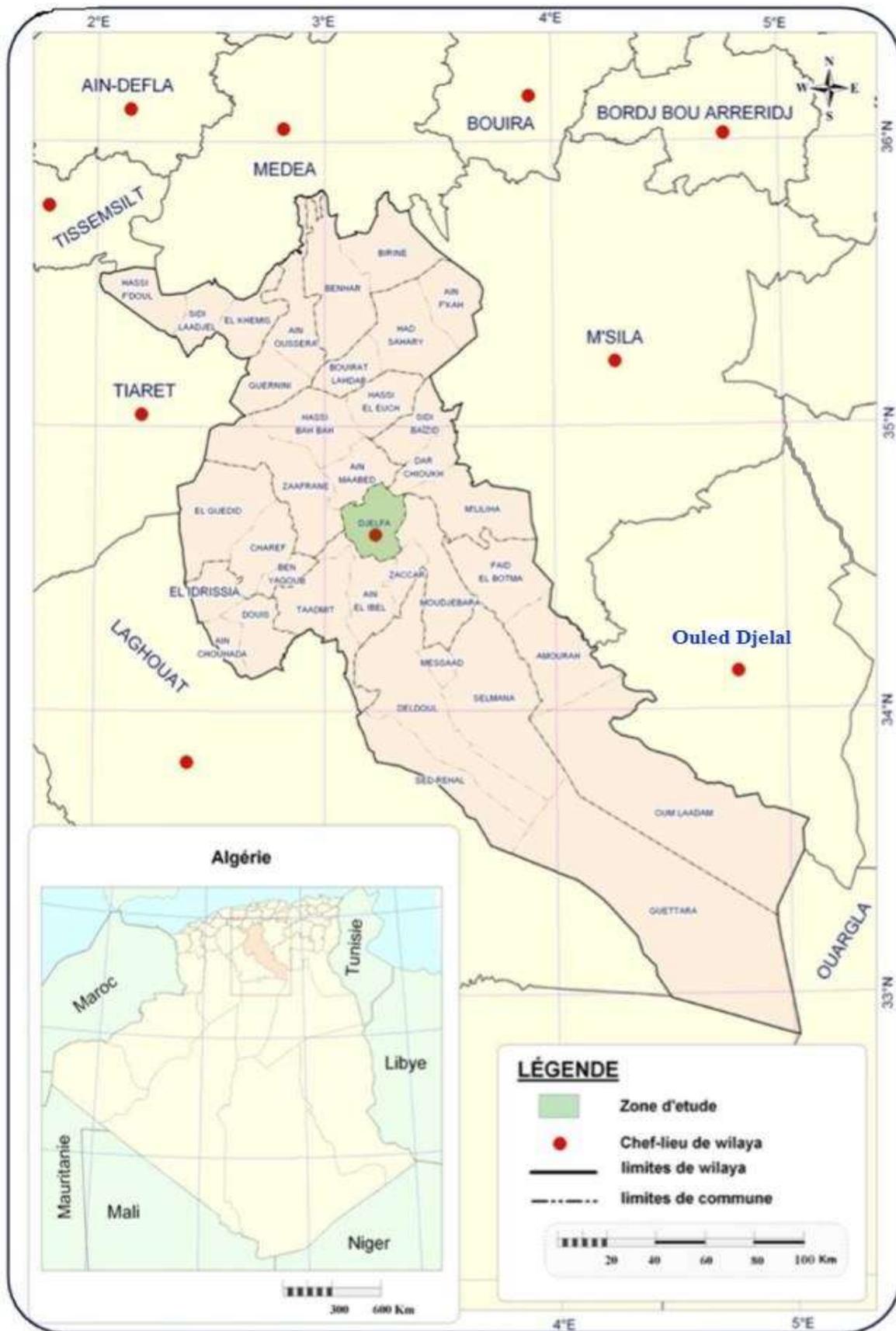
La wilaya de Djelfa est située dans la partie centrale de l'Algérie du Nord au des piémonts Sud de l'Atlas Tellien en venant du Nord le chef-lieu de Wilaya est à 300Km au Sud de la capitale (DPTA, 2003). Elle est comprise entre 2° et 5° de longitude Est et entre 33° et 35° de latitude Nord. Elle est limitée :

- Au Nord par les wilayas de Médéa et de Tissemsilt.
- A l'Est par les wilayas de M'sila et de ouleddjellal.
- A l'Ouest par les wilayas de Laghouat et de Tiaret.
- Au Sud par la wilaya de Ghardaïa.

Erigée au rang de wilaya à la faveur du découpage administratif de 1974, cette partie du territoire d'une superficie totale de 66 415 Km<sup>2</sup> représentant 1,36% de la superficie totale du pays (DPTA, 2003) se compose actuellement de 36 communes regroupées en 12 dairas.

Elle est considérée comme un carrefour très important Nord-Sud et Est-Ouest, reliée par un important réseau routier assurant les trafics inter Wilayas d'importance nationale et régionale :

- La route nationale 1 (R.N.1) : reliant Alger au Sud du pays en passant par Djelfa.
- La R.N.46 : reliant Djelfa à Boussaâda, puis Biskra au Sud-est et Sétif au Nord-est.
- C.W.189 : reliant Djelfa à Moudjbara au Sud-est.
- C.W.164 : reliant Djelfa à Charef à l'Ouest.



Source : Base cartographique d'institut nationale de cartographie et télédétection (2009) + travail des étudiantes

Figure II. 1. Présentation de la zone d'étude

## II. 4. Cadre physique :

### II. 4. 1. Le relief :

Le relief de la Wilaya de Djelfa est caractérisé par une succession de quatre zones hétérogènes classées du Nord au Sud. Hormis la zone des monts de Ouled Nail dont l'altitude est élevée (point culminant se situe à Benyagoub avec une altitude de 1.613 m et le point le plus bas est à l'extrême Sud de la Wilaya, du côté du Chott Merhir, avec une altitude de 150 m.



**Figure II. 2 :** les quatre zones de reliefs de Djelfa (monographie 2020)

Les quatre zones sont :

➤ La zone des « Hautes Plaines » du Nord :

D'une superficie de l'ordre de 450.000 Ha, cette zone est aussi appelée "Plaine de Ain Oussera". Elle forme une bande de hautes terres comprise entre 700 m et 900 m d'altitude. Les pentes sont insignifiantes (inférieures à 5 %) et s'inclinent vers le Nord où les oueds déversent sur l'Oued Chelif. Ces plaines s'étendent du piémont sud de l'Atlas tellien au piémont nord de l'Atlas saharien, elles s'intègrent dans quatre sous bassins versants alignés suivant la direction Sud-Ouest et Nord-Est.

- Le sous bassin de l'Oued Touil Aval qui constitue une dépression en longeant la rive Est de l'Oued Touil. Il est limité au sud par une série de mamelons ou Koudiet (Feidj el Barkla, Okat Chergui, El Keskas, El Guebouria, El Mendjel). Les altitudes sont de 700 m (au nord) à 860 m (au sud)
- Le sous bassin de Boughzoul qui s'incline sensiblement vers le nord pour permettre à l'oued Cheliff de se déverser en dehors des Hautes Plaines à travers les chaînes telliennes. Ce secteur est le plus septentrional et le mieux drainé des Hautes Plaines et constitue un domaine nettement moins steppique que le reste et assez riche sur le plan agricole. Les altitudes sont de 850 m à 600 m du sud au nord.

- Le sous bassin d'Ain Oussera au centre, coupé en deux dépressions séparées par une très légère ondulation formée par Draa El Heneche au Nord de Hassi Bahbah.
- Le sous bassin de l'Oued Sbisseb orienté vers le territoire de la wilaya de M'sila (Daiet El Abaziz), d'altitude 800 m à 650 m d'Ouest en Est.

➤ La zone de dépression des « Zahrez »

Elle formée de deux dépressions d'origine hydro-éolienne (Zahrez Chergui et Zahrez Gherbi) séparés par un léger bombement, formé de terrains crétacés du Djebel Djehfa. Cette région est cernée au Sud par l'Atlas Saharien et, elle s'intègre dans trois sous bassins versants d'Ouest en Est :

- Le sous bassin Oued Touil Moyen constitué essentiellement de Feidhs et Daiets et d'altitudes 850 à 895 m du Nord au Sud
- Le sous bassin Zahrez Guerbi au centre occupant le chott et la partie Nord et Nord-est, les altitudes sont de 850 à 900 m
- Le sous bassin Zahrez Chergui au Nord-est cantonné entre les Djebel, Draa et Koudiat au Nord (Ferchet el Arbi, Bou Maaded, Bou Massid, Regouba, El Feidja et Sbaa Seribaa) et les Monts des Ouled Nail au Sud. Les altitudes varient de 1200 à 760 m.

➤ La zone atlasique des « Ouled Naïl »

Son relief est le plus élevé de l'ensemble de la wilaya de Djelfa, Cette région domine à la fois la plateforme saharienne au sud (550 m en moyenne) et les Hautes Plaines au Nord (700 m en moyenne). Les reliefs sont très contrastés et parfois très accidentés, marqués par des versants à forte pente allant de 15 à plus de 25°. Cette zone est formée de plateaux d'altitude variant entre 900 m et 1.600 m. La partie élevée est constituée de la chaîne montagneuse des Ouled Naïl, orientée du Sud-ouest au Nord-est. Elle est formée des principaux monts de la Wilaya qui sont le "Djebel Senalba", le Djebel "Azreg" et le Djebel "Zerga" dont l'altitude est comprise entre 1.200m et 1.600m.

Les reliefs arrondis et les couloirs intra montagneux correspondent souvent à des formes d'inversion de relief, avec des bassins, formées aux dépens des anticlinaux approfondis, et des synclinaux perchés mis en relief grâce au dégagement des anticlinaux. L'alternance des reliefs dans cette zone, entre les formes saillantes (corniches, crêtes, chevrons.) et les formes déprimées, a permis de rendre ce domaine accessible et le transit vers le sud très facile

Les sous bassins intégrant les monts Ouled Nail sont au nombre de cinq orientés du Sud –ouest au Nord-est (Mesrane, Djelfa Hadjia, Taadmit, Mefiteg et Mjdedel).

➤ La zone de la « Plateforme Saharienne »

Cette zone, appelée aussi "Plateau Saharien", est située dans la partie Sud de la Wilaya. Elle plonge dans la dépression formée par l'Oued Djeddi considéré comme la limite naturelle du Nord du Sahara. Cette zone se caractérise par son inclinaison générale du Nord-ouest vers le Sud-Est ce qui explique l'orientation générale des principaux cours d'eau, notamment l'oued Djedi qui débouche dans la cuvette du Chott Mrhir à proximité de Touggourt. Le relief de cette zone ne présente aucune contrainte majeure à l'aménagement et au développement. Il est à souligner enfin que cette plateforme est dominée par la présence d'un grand nombre de cuvettes dont le fond est légèrement encaissé et dont la plupart sont occupées par des Dayas, par des Chotts ou des Sebkhass.

La zone du présaharien compte 6 sous bassins versants, d'Ouest en Est Oued, Djeddi-Fedj, Oued Djeddi Djorf, Demmed, Oued Djeddi Douiba et Ain Rich. L'extrême sud n'étant pas couvert par le découpage en bassin versant

#### **II. 4. 2. Contexte climatique :**

Le climat de la Wilaya de Djelfa est nettement semi-aride à aride avec une nuance continentale. En effet, le climat est semi-aride dans les zones situées dans les parties du Centre et du Nord de la Wilaya avec une moyenne de 200 mm à 500 mm d'eau de pluie par an et aride dans toute la zone située dans la partie Sud de la Wilaya et qui reçoit moins de 200 mm d'eau de pluie en moyenne par an.

Les précipitations les plus importantes sont enregistrées au cours de la période allant d'Octobre à Janvier et d'Avril à Mai. C'est dire que dans cette région, il pleut beaucoup plus en automne et au printemps qu'en hiver. La période sèche apparaît à partir du mois de Juin avec un maximum en Juillet et Août.

Les enneigements signalés sont saisonniers et variables d'une région à une autre. L'enneigement moyen est de 04 à 13 jours par an.

Durant la saison d'hiver et le début du printemps, des gelées blanches sont observées dans le quasi-totalité du territoire de la Wilaya et varient entre 40 et 60 jours suivant les régions les plus exposées à ce phénomène.

Des écarts importants sont observés entre les températures journalières, saisonnières et inter-annuelles. Ainsi, il est enregistré un écart de 33° C. entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid. La température minimale absolue est, à l'exception des mois de Juin, Juillet, Août et Septembre, inférieure à 0° C. Les mois les plus chauds sont Juin, Juillet et Août avec un maximum pour ce dernier.

Les vents dans la Wilaya de Djelfa sont caractérisés par leur intensité et leur fréquence. Dans la région de Djelfa, faisant partie la zone de la dépression des Ouled Naïl, les vents les plus fréquents sont ceux d'orientation Nord-Est et Nord-Ouest d'origine océanique et nordique. Cependant, la principale caractéristique des vents dominants dans la région est matérialisée par la fréquence du sirocco, d'origine désertique, chaude et sèche, dont la durée peut varier de 20 à 30 jours par an.

D'une manière générale, l'intensité des vents active l'évaporation des eaux de surface, l'érosion des roches par le transport des débris et l'accumulation des sables formant des dunes.

L'absence d'obstacles importants, notamment de chaînes de montagnes, favorise une plus grande circulation des vents particulièrement le sirocco à travers tout le territoire de la Wilaya. Des tempêtes de sable sont fréquentes notamment durant le printemps.

**II. 5. Aperçu géologique :**

La région de Djelfa se trouve dans la zone de transition de deux grandes unités structurales : les hauts plateaux et l'Atlas saharien.

L'effet de la pression de ces deux unités est fait par un mouvement de plissement tectonique récent de la Terre. Ainsi cette région se situe, du point de vue géologique, dans la période d'ascension. Cette région peut être divisée en deux parties structurales :

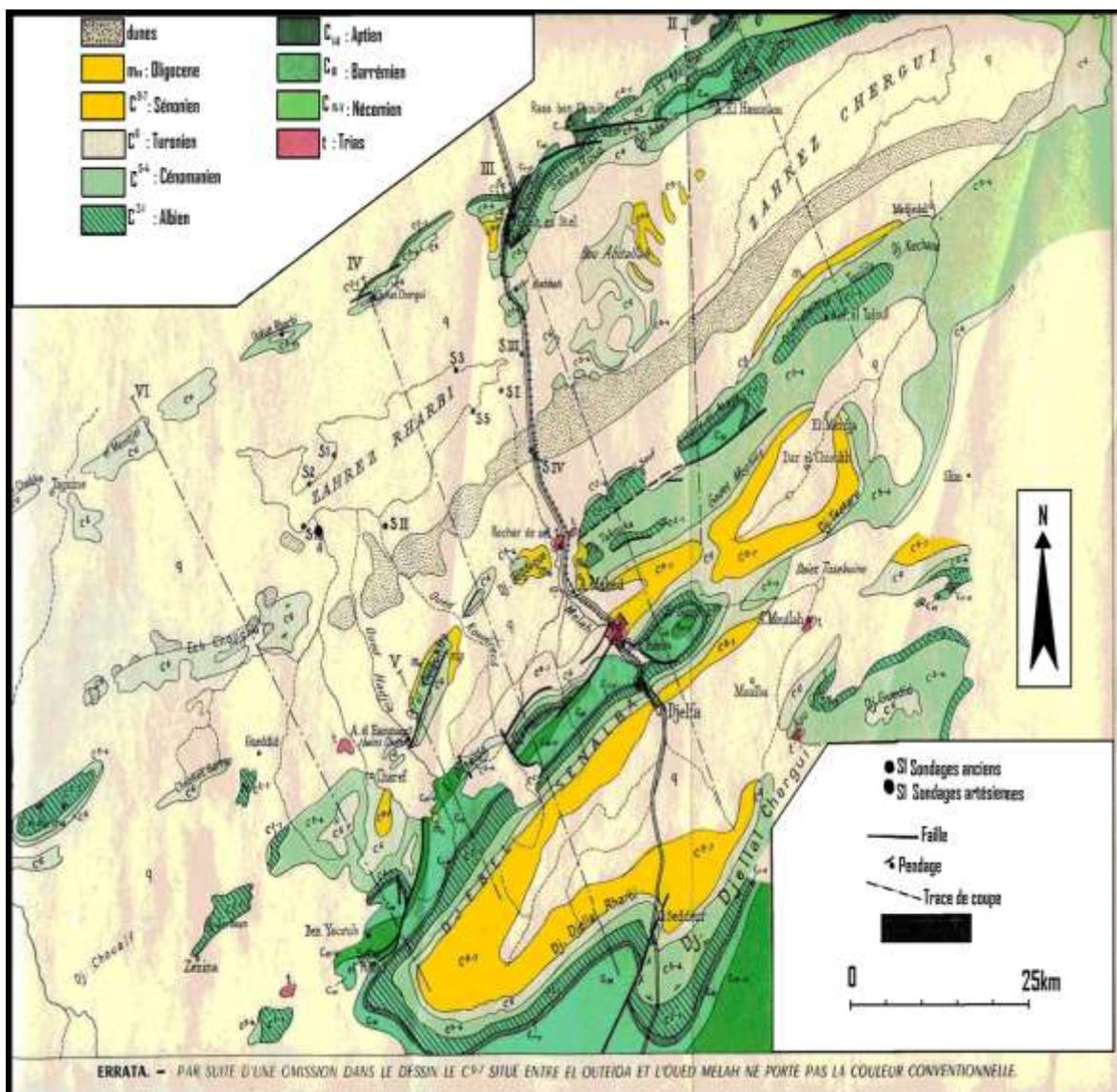


Figure II. 3 : carte géologique de la zone d'étude(DPAT2020)

### II. 5. 1. Le grand synclinal sud de Djelfa

Dont l'axe s'oriente dans le sens Est-nord et s'incline vers le Nord-est avec cette inclinaison, le grand synclinal Sud forme au côté d Sud-ouest, une assise semi-fermée. Celui-ci a une base large, à pente modérée.

### II. 5. 2. Le petit synclinal Nord

Il suit la même orientation que le précédent, mais il est caractérisé par ses diapirs rapprochés les uns des autres, par l'importance d'angle d'inclinaison des roches et par le développement de ses fissures de au plissement.

### II. 5. 3. Point de vue hydrogéologique

La formation litho stratigraphique est composée par trois classes :

- La formation perméable est constituée des alluvions, des sables, d'argiles et molasses, cette formation se situe le long de la ville de Djelfa à l'Est, sud-ouest et au Nord ;
- La formation moyennant perméable constitue d'argiles, conglomérats et calcaires, elle se situe aussi le long de la ville de Djelfa au Sud et à l'Est ;
- La formation imperméable de calcaires, calcaires ocre, marnes, grés et argiles

Il existe, dans la Wilaya, six grandes nappes dont quatre sont assez bien connues (nappe d'Ain Oussera, de l'Oued Touille, des Zahers et les synclinaux Nord et Sud). Les moins connues sont celles situées dans la partie Sud de la Wilaya la nappe du complexe terminal et celle du continental intercalaire.

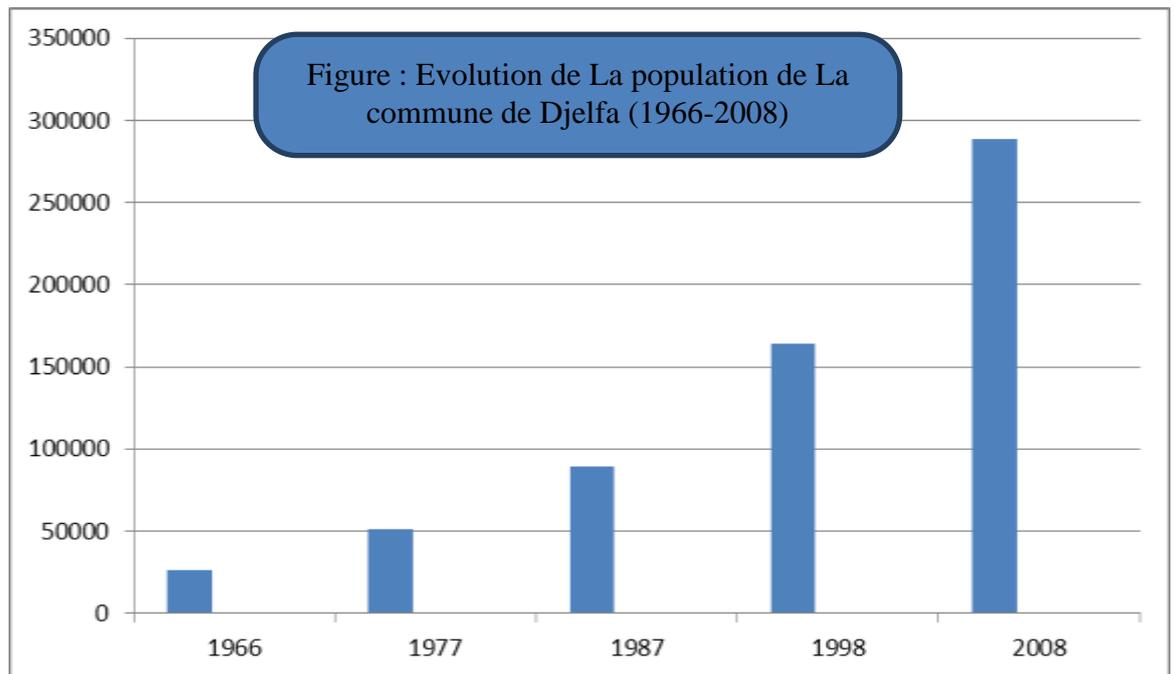
### II. 6. Evolution de la population de la commune de Djelfa :

La commune de Djelfa a connu d'après les 05 recensements (1966, 1977, 1987,1998, 2008) une croissance démographique très importante. Selon les RGPHs (1966/2008) la population est passée de 26000 habitants en 1966 à 288228 habitants en 2008 le tableau suivant montre cette évolution :

**Tableau II. 1. :** Evolution de la population de la commune de Djelfa

Années	Nombre de population	Croissance	Taux d'accroissement(%)
1966	26000	/	/
1977	50953	24953	6,30
1987	89090	38137	5,74
1998	164126	75036	6,30
2008	288228	24102	5,79

(RGPH.S1966/2008)



**Figure II. 4.** Evolution de la population commune de Djelfa (1966-2008) (ONS+ travail d'étudiant)

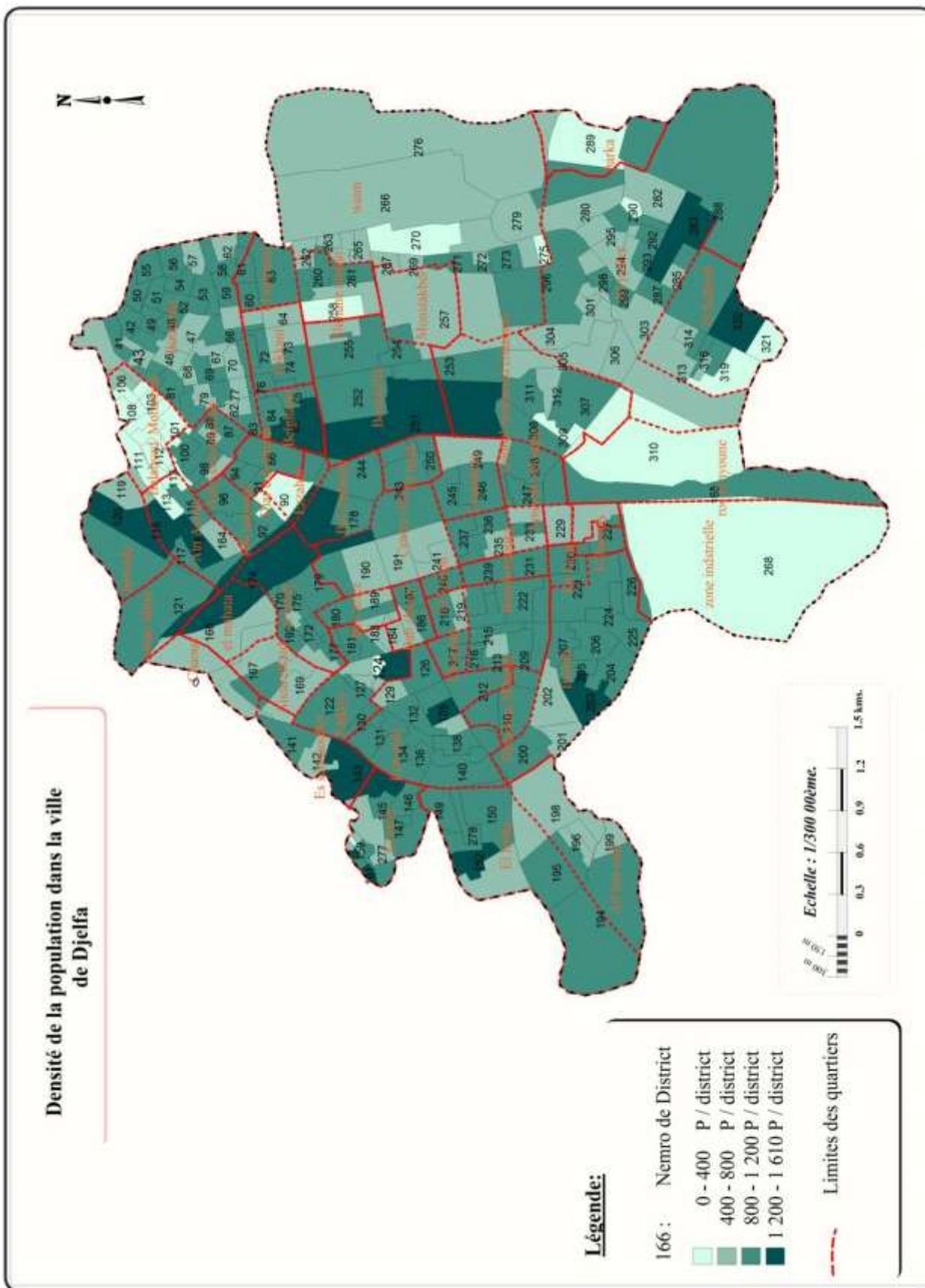
L'augmentation de la population s'explique par :

- ✓ L'amélioration des conditions sociales reflétées par la croissance du taux de natalité et la baisse du taux de mortalité
- ✓ Le flux migratoire, et l'exode rural à La recherche de sécurité, ou de travail dans La ville
- ✓ La création de la zone industrielle avec l'implantation de nombreuses unités de production
- ✓ La présence d'un grand nombre d'équipements et de services, ainsi que la réalisation d'un grand nombre de programmes d'habitat dans le cadre des Z.H.U.

### II. 6. 1. Répartition de la population par dispersion :

La population totale estimée par 452254 Habitants se réparti en 417129 Habitants agglomération chef-lieu et 16593 Habitants dans les zones éparses, et dans les agglomérations secondaires 18532 habitants. Le tableau suivant exprimé cela :

Figure II. 5 : carte de la densité de la population de Djelfa(DPAT2020)



### II. 6. 2. Répartition de la population occupée

La répartition de la population occupée par branche d'activité économique montre, d'une façon générale, une bonne répartition de l'emploi entre trois branches à savoir l'agriculture, les services et les bâtiments et travaux publics (BTPH) et la faiblesse de l'emploi industriel.

**Tableau II. 2 :** Répartition de la population occupée

Branche d'activité	Nombre	%
- Agriculture	4930	9
- Industrie	1670	3
- BTP	15785	29
-Service	31675	59
Total	54060	100

The pie chart visualizes the data from the table. The Service sector (purple) represents 59% of the total employed population. BTP (green) represents 29%, Agriculture (blue) represents 9%, and Industrie (red) represents 3%.

SPSB Djelfa 2016 + travail d'étudiant

### II. 7. Conclusion :

La région de Djelfa occupe par sa position géographique la région centrale steppique Algérienne, elle est distinguée par son climat à caractère semi-aride, par élévation de température et faiblesse de précipitations, et Socio économiquement, la population a connu une croissance perpétuelle dans les différents RGPH

**Chapitre III :**  
**Etude Hydroclimatologique**

### III. 1. Introduction :

Ce chapitre a pour but de l'élaboration du bilan hydrique. L'analyse des données climatiques consiste à réaliser une analyse statistique des données, de façon à faire apparaître et quantifier la variabilité spatiotemporelle du climat. Cette variabilité peut être étudiée sur la base de l'analyse de longues séries chronologiques, continues et homogènes de variables climatiques sur une période de 20 ans, la référence actuelle étant la période 2000-2020 selon les deux stations climatologiques de notre région.

### III. 2. Collecte des données :

Les valeurs mensuelles des précipitations et température ont été effectuées auprès des stations climatologiques de Djelfa et Ain oussera. Ces valeurs relevées à partir des documents originaux (tableaux climatologiques mensuels T.C.M) des stations de notre région d'étude.

### III. 3.Choix des stations étudiées :

Pour effectuer notre étude, nous avons choisi deux stations localisées dans les hauts plateaux plus précisément, la wilaya de Djelfa.

Le tableau **III.1** résume, les coordonnées ainsi que la période d'observation enregistrées au niveau de ces deux stations.

**Tableau III.1.**Présentation des stations étudiées

Station	Latitude	Longitude	Altitude (m)	La période d'étude
Djelfa	34°40' N	3°15' E	1144	2000-2020
Ain oussera	35.45°N	2.91°E	649	2000-2020

### III. 4. Eléments du climat :

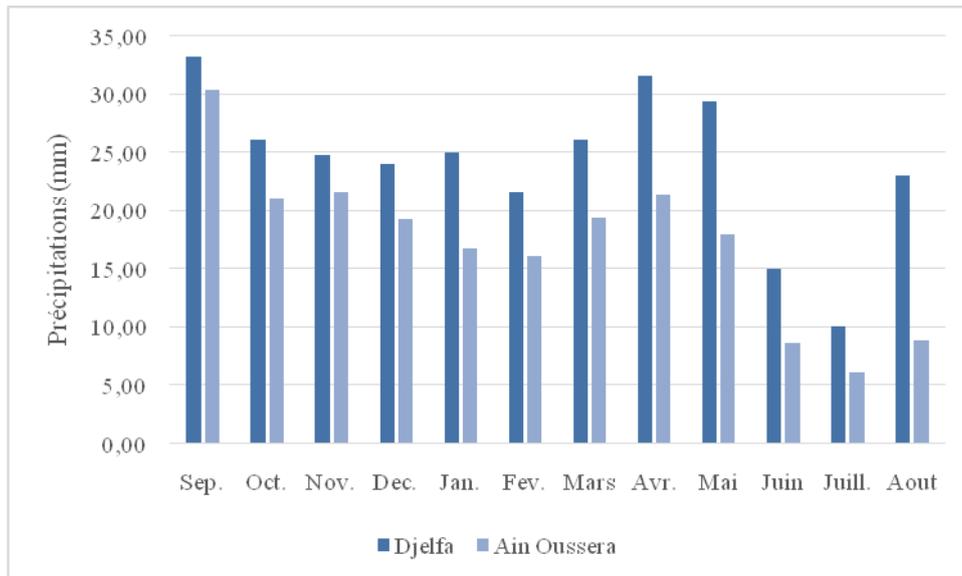
#### III. 4. 1. précipitation :

Les précipitations désignent tous les météores qui tombent dans l'atmosphère et il peut s'agir de solides, liquides ou de gazeuse selon la composition et la température.

#### III. 4. 1. 1. Les précipitations moyennes mensuelles :

**Tableau III. 2.** Précipitations moyennes mensuelles dans les deux stations (mm)

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total (mm)
<b>Stations</b>													
<b>Djelfa</b>	33.19	26.09	24.79	24.00	25.03	21.62	26.13	31.55	29.37	15.05	10.14	23.07	<b>290.05</b>
<b>Ain Oussera</b>	30.43	21.03	21.61	19.28	16.76	16.12	19.47	21.44	17.98	8.69	6.12	8.88	<b>207.81</b>



**Figure III. 1 :** Histogramme de précipitation mensuelle (mm) dans les stations Djelfa et Ain oussera.

La pluviométrie est marquée par une grande irrégularité d’une station à l’autre, Les pluies sont souvent sous forme d’orages, La forme des précipitations la plus importante est la pluviosité, la répartition des précipitations moyennes mensuelles des stations d’étude montrent que le mois de Mai à la station de Djelfa et septembre à la station de Ain oussera est le mois le plus pluvieux alors que le mois de juillet constitue le mois le moins pluvieux pour les deux station.

**III. 4. 1. 2. Répartition saisonnière des précipitations :**

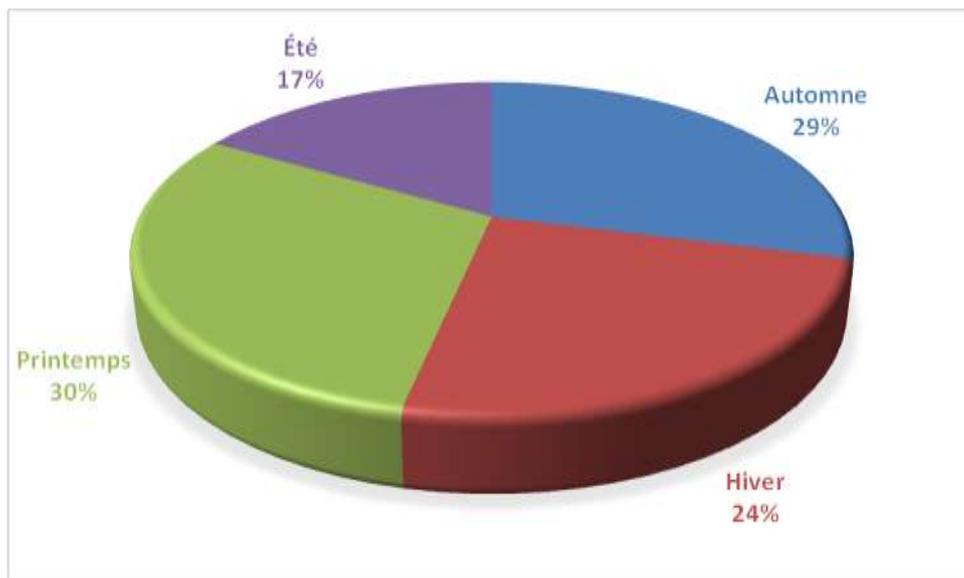
L’étude du régime saison il donne une indication sur la répartition des pluies suivant les quatre saisons de l’année :

- L’automne (Septembre, Octobre et Novembre).
- L’hiver (Décembre, Janvier et Février).
- Le Printemps (Mars, Avril et Mai).
- L’été (Juin, Juillet et Août).

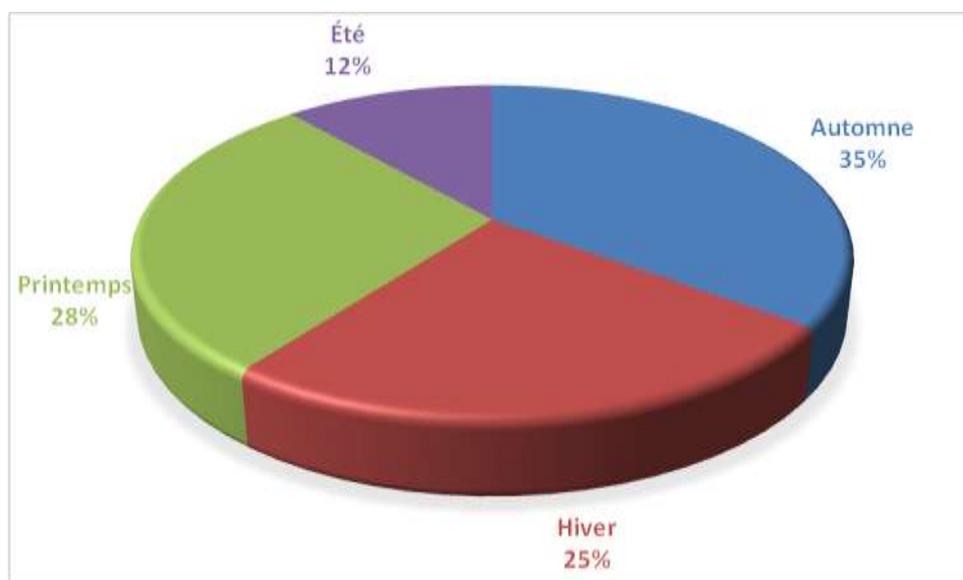
**Tableau III. 3 :** Variation saisonnière des précipitations aux stations.

Stations	Automne		Hiver		Printemps		Été		Total	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Djelfa	84.08	28.99	70.65	24.36	87.05	30.01	48.27	16.64	290.05	100
Ain Oussera	73.07	35.16	52.17	25.10	58.89	28.34	23.69	11.40	207.81	100

Le type AHPE est le régime saisonnier de la zone d’étude, avec l’été comme la saison la plus sèche alors que la saison la plus humide est l’automne pour Ain oussera et le printemps pour Djelfa.



**Figure III. 2 :** Répartition saisonnière des précipitations à la station de Djelfa (2000/2020).



**Figure III. 3 :** Répartition saisonnière des précipitations à la station de Ain Oussera (2000/2020).

#### **III. 4. 1. 3. Les précipitations moyennes annuelles :**

La variation annuelle des précipitations pour la période de 2000-2020 est représentée sur les Figure **III. 4** et **III. 5** et dans le tableau **III. 4** et **III. 5**

**Tableau III. 4 :** Précipitations moyennes annuelles et Coefficients pluviométriques de la station de Djelfa (2000-2020).

Années	Hauteur annuelle des précipitations P (mm)	Coefficient Pluviométrique	Les années déficitaires et excédentaires
2000-2001	215	0.74	Déficitaire
2001-2002	250.9	0.87	Déficitaire
2002-2003	249.2	0.86	Déficitaire
2003-2004	371.5	1.28	Excédentaire
2004-2005	376	1.30	Excédentaire
2005-2006	357.6	1.23	Excédentaire
2006-2007	289	1.00	Excédentaire
2007-2008	328.3	1.13	Excédentaire
2008-2009	410.5	1.42	Excédentaire
2009-2010	358.6	1.24	Excédentaire
2010-2011	330.7	1.14	Excédentaire
2011-2012	241.8	0.83	Déficitaire
2012-2013	248.2	0.86	Déficitaire
2013-2014	310.72	1.07	Excédentaire
2014-2015	204.74	0.71	Déficitaire
2015-2016	252.6	0.87	Déficitaire
2016-2017	202.21	0.70	Déficitaire
2017-2018	345.1	1.19	Excédentaire
2018-2019	274.85	0.95	Déficitaire
2019-2020	183.41	0.63	Déficitaire
2000-2001	215	0.74	Déficitaire
2001-2002	250.9	0.87	Déficitaire
2002-2003	249.2	0.86	Déficitaire
2003-2004	371.5	1.28	Excédentaire

**Tableau III. 5 :** Précipitations moyennes annuelles et les Coefficients pluviométriques de la station de Ain Oussera (2000-2020).

Années	Hauteur annuelle des précipitations P (mm)	Coefficient Pluviométrique	Les années déficitaires et excédentaires
2000-2001	136.53	0.66	Déficitaire
2001-2002	158.00	0.76	Déficitaire
2002-2003	178.40	0.86	Déficitaire
2003-2004	295.10	1.42	Excédentaire
2004-2005	142.82	0.69	Déficitaire
2005-2006	223.21	1.07	Excédentaire
2006-2007	192.83	0.93	Déficitaire
2007-2008	248.00	1.19	Excédentaire
2008-2009	298.01	1.43	Excédentaire
2009-2010	307.40	1.48	Excédentaire
2010-2011	188.74	0.91	Déficitaire
2011-2012	236.56	1.14	Excédentaire
2012-2013	200.84	0.97	Excédentaire
2013-2014	244.13	1.17	Excédentaire
2014-2015	201.72	0.97	Déficitaire
2015-2016	182.93	0.88	Déficitaire
2016-2017	188.71	0.91	Déficitaire
2017-2018	177.02	0.85	Déficitaire
2018-2019	183.77	0.88	Déficitaire
2019-2020	171.50	0.83	Déficitaire

### III. 4. 2. La température :

Les températures conditionnent le déficit d'écoulement ainsi que son estimation et jouent un rôle dans le processus de condensation et d'évaporation de l'eau. C'est pourquoi ses études s'avèrent nécessaire dans l'établissement du bilan hydrologique et la détermination du caractère climatique d'une région.

Le tableau ci-dessus indique une température relative moyenne de 16 C° pour la période 2000-2020.

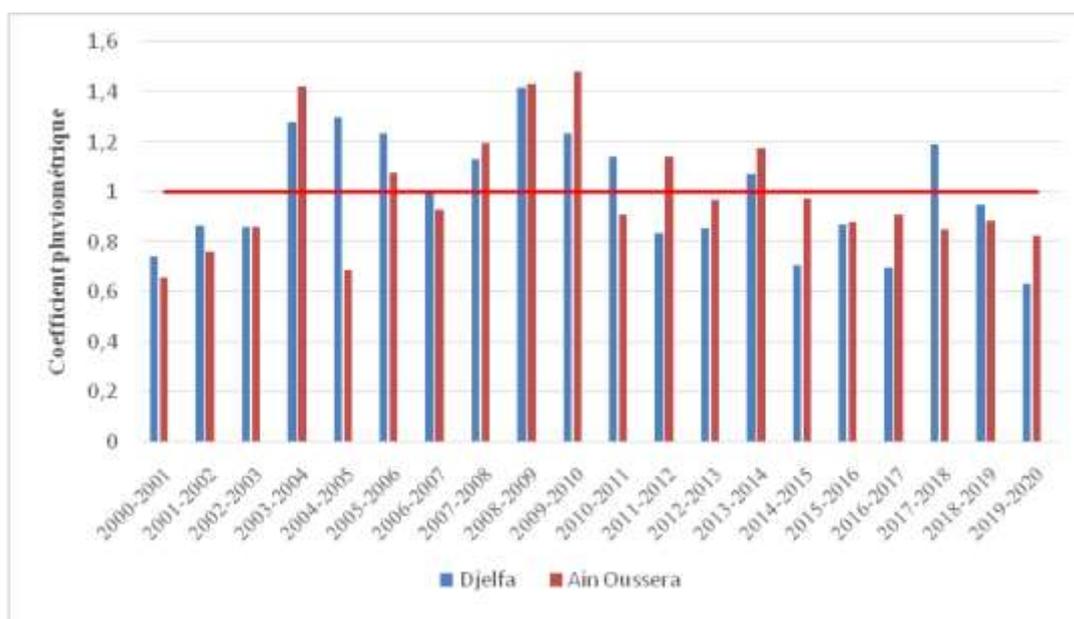


Figure III. 4 : Les variations du coefficient pluviométrique aux stations de Djelfa et Ain Oussera (2000/2020).

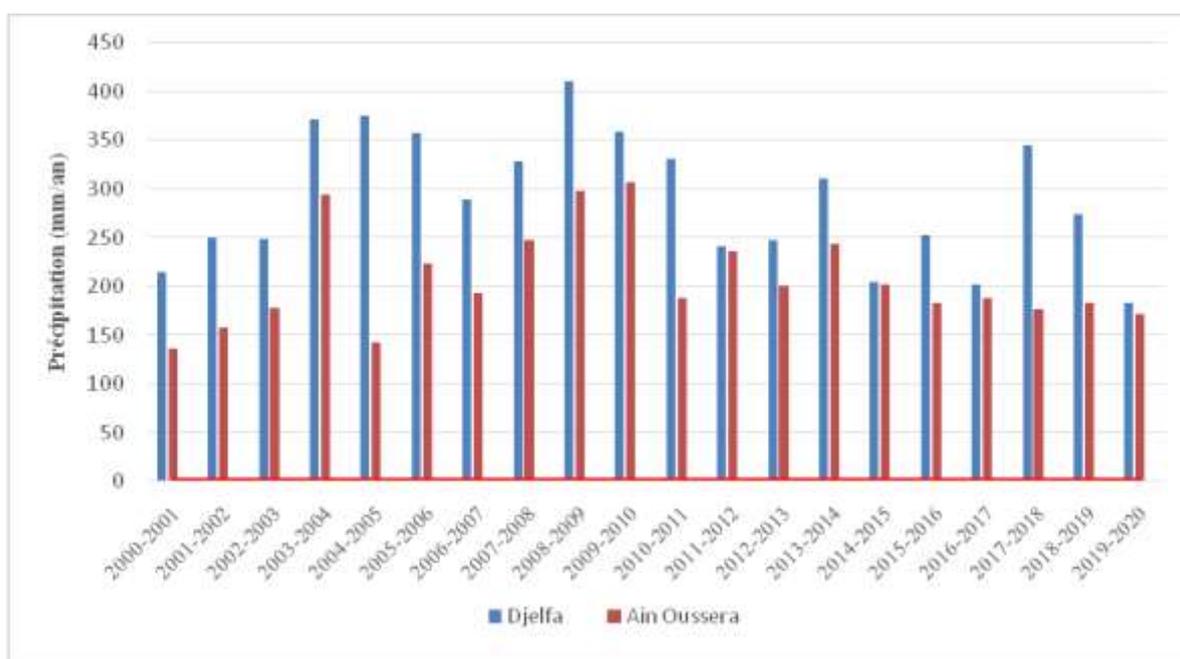
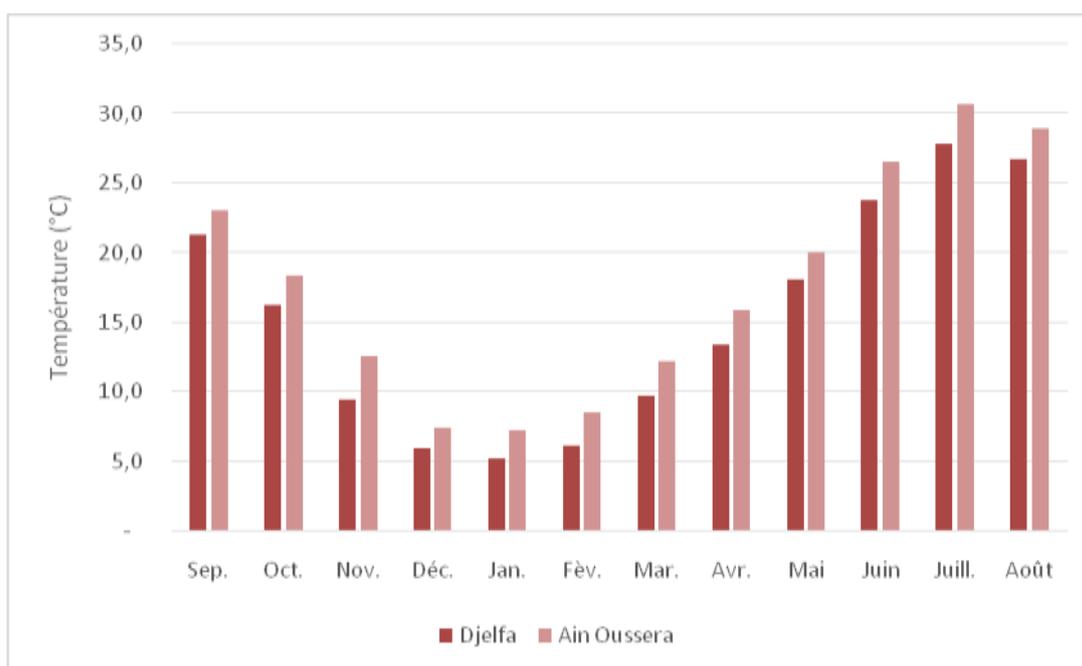


Figure III. 5 : Les variations des précipitations annuelles aux stations de Djelfa et Ain Oussera (2000/2020).

III. 4. 2. 1. Les températures moyennes mensuelles

Tableau III. 6 : Températures moyennes mensuelles pour la période (2000-2020) en °C :

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai.	Juin	Juill.	Août	Moy.
Djelfa	21.28	16.30	9.46	6.01	5.20	6.20	9.76	13.41	18.08	23.80	27.85	26.70	15.34
Ain Oussera	23.0	18.41	12.60	7.46	7.22	8.55	12.19	15.94	20.03	26.58	30.72	28.94	23.02



**Figure III. 6 :** Histogramme des températures moyennes mensuelles aux stations de Djelfa et Ain Oussera (2000/2020).

Sur les 20 années d'analyses de la températures , pour les deux stations le minimum des températures est intervenu au mois de janvier et en cette là, Le maximum, pour sa part est survenu au mois de juillet

**III. 4. 2. 2. Les températures moyennes annuelles :**

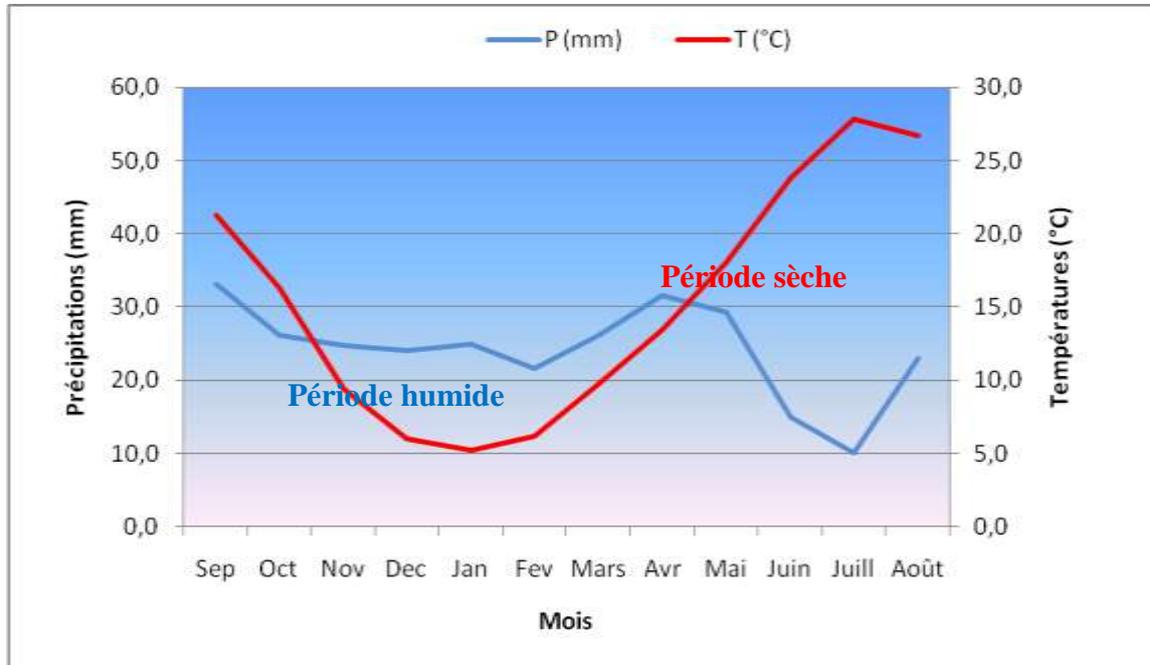
**Tableau III. 7 :** Températures moyennes annuelles(C°).

Années	Djelfa	Ain Oussera	Année	Djelfa	Ain Oussera
2000-2001	15.28	17.44	2010-2011	14.95	17.43
2001-2002	15.13	17.31	2011-2012	15.10	21.54
2002-2003	15.16	18.18	2012-2013	14.51	16.82
2003-2004	14.58	16.81	2013-2014	15.28	15.51
2004-2005	15.06	17.97	2014-2015	15.22	18.02
2005-2006	15.11	17.47	2015-2016	15.48	17.67
2006-2007	15.47	18.02	2016-2017	15.80	18.19
2007-2008	15.25	17.07	2017-2018	15.73	16.55
2008-2009	14.43	17.30	2018-2019	16.49	17.51
2009-2010	15.39	17.57	2019-2020	17.30	18.38
			<b>Moyenne</b>	<b>15.34</b>	<b>17.64</b>

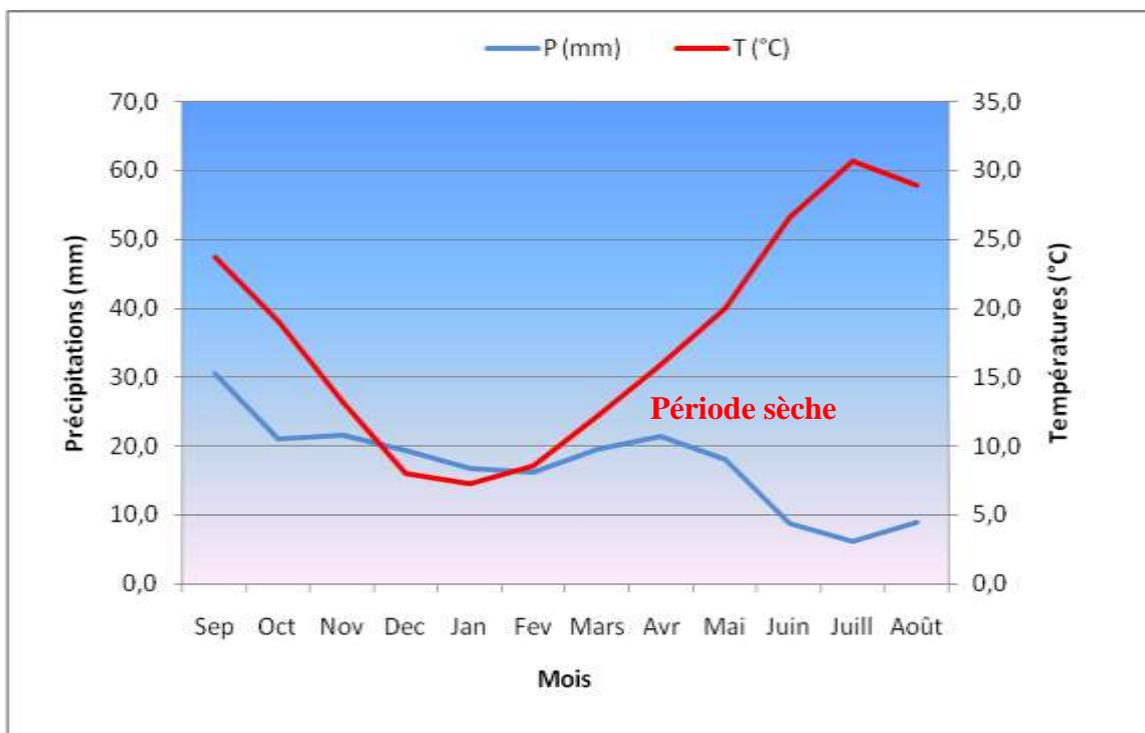
La température moyenne annuelle sur une période de 20 ans pour les deux stations de mesure est reportée dans le tableau III. 7, et sont respectivement de 15.34 °C à Djelfa, 17.64 °C à Ain Oussera.

**III. 5. Caractéristiques du climat :**

**III. 5. 1. Diagramme Omrothermique :**



**Figure III.7 :** Diagramme Omrothermique de la station Djelfa (2000-2020).



**Figure III.8. :** Diagramme Omrothermique de la station de Ain Oussera (2000-2020).

L'indice Omrothermique de Gausson (1952), a franchi le temps à cause de sa simplicité et de son efficacité, pour Gausson un mois est considéré comme sec si le quotient des précipitations mensuelles P

exprimé en mm, par la température moyenne  $T$  exprimé en °C est inférieur à 2, et la représentation sur un même graphique des températures et des précipitations moyennes mensuelles avec en abscisse les mois permet d'obtenir le diagramme Ombrothermique qui mettent immédiatement en évidence les périodes sèches et les périodes pluvieuses (GUYOT, 1997), et les échelles prises en ordonnées sont telles que 1° C correspond à 2 mm de précipitations, donc on a une période sèche chaque fois que la courbe des températures passe au-dessus la courbe des précipitations (GUYOT, 1997) ; cette période peut être facilement calculée (HUFTY, 2001).

Les deux diagrammes ombrothermiques des stations pour la période d'étude montre :

L'existence des deux périodes l'une humide et l'autre sèche. La période sèche s'étend sur 6 mois allant de fin avril jusqu'à la fin octobre (Pour Djelfa), et de mars jusqu'à novembre (pour Ain oussera) La période humide s'étale sur 6 mois, allant de la fin d'octobre jusqu'à fin d'avril (Pour Djelfa), Une saison humide qui s'étend du mois de décembre (pour Ain oussera) jusqu'au mois de février

### III. 5. 2. Le climagramme d'Emberger :

EMBERGER (1955) proposait de définir des sous-classes (saharien, aride, semi-aride, subhumide et humide) dans le bioclimat méditerranéen sur la base de l'humidité globale du climat et sa rigueur hivernale. Il fait intervenir en plus du totale de précipitation  $P$  (mm) la moyenne des maxima des mois les plus chauds ( $M$ ) et la moyenne des minima du mois plus froids ( $m$ ) pour calculer le quotient pluviométrique  $Q$  donné par la formule suivante :

$$Q = (P / (M + m/2)(M - m)) * 1000$$

**P** : Moyenne des précipitations annuelles exprimées en mm.

**M** : Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud en °C.

**m** : Moyenne des températures minima du mois le plus froid en °C.

Le quotient pluviométrique de la zone d'étude calculé pour une période de 20 ans, depuis l'année 2001 jusqu'à 2021 a une valeur de  $Q = 29,621$  pour Djelfa et  $Q = 19,86$  pour Ain oussera

En rapportant cette valeur (29,621) avec  $m^{\circ}c$  (273,81) sur le climagramme d'Emberger de

Djelfa apparaît dans l'étage bioclimatique semi-aride.

Et valeur (19,86) avec  $m^{\circ}c$  (275,60) sur le climagramme d'Emberger d'Ain oussera apparaît dans l'étage bioclimatique semi-aride.

**Tableau III. 8.** Les paramètres de climatogramme d'emberger

Stations	Années	P (mm)	M (°K)	m (°K)	Q	Type de climat
Djelfa	2000/2020	290.05	307.54	273.71	29.50	Semi-aride
Ain Oussera	2000/2020	207.81	311.26	275.60	19.86	aride

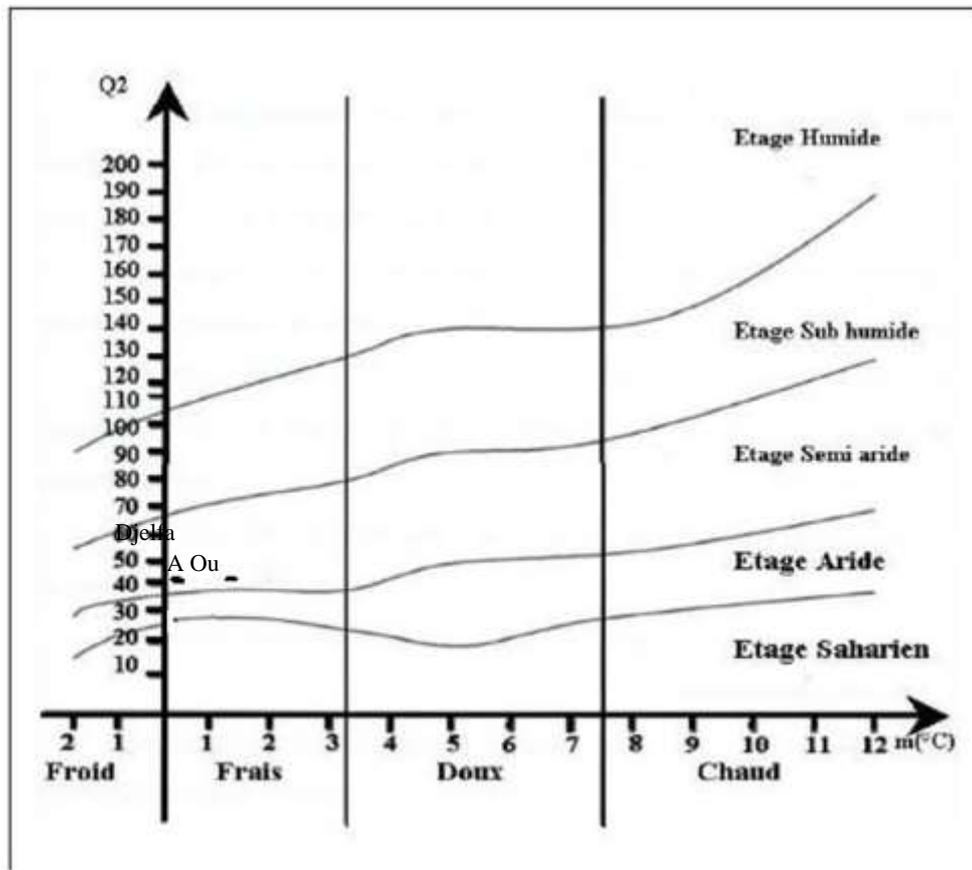


Figure III. 9. Climagramme pluviométrique d'Emberg

**III. 6. Estimation des paramètres du bilan hydrique :**

Elle représente la quantité de pluie disponible pour les plantes, une fois les besoins en évaporation et en transpiration satisfaits. Elles sont calculées par la différence entre les précipitations (P) et l'évapotranspiration potentielle (ETP estimée selon la méthode de Turc (Turc, 1961))

**III. 6. 1. Définition de l'évapotranspiration :**

Est une mesure de la capacité de l'atmosphère à éliminer l'eau de la surface d'un sol avec couvert végétal disposant de l'eau en abondance.

C'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifié (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance.

**III. 6. 2. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :**

Est la quantité d'eau retirée d'une surface (par le sol et par les plantes) en raison du processus d'évaporation et de transpiration quand l'eau vient à manquer. Les plantes étant à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

Calcul de l'ETR par la formule de Turc:

$$ETR \text{ (mm/an)} = P / (0,9 + P^2/L^2)^{1/2}$$

$$L = 0,05T^3 + 25 T + 300$$

P = Précipitations en mm

T = température en °C

Cette formule peut être utilisée lorsque les valeurs décadaires ou mensuelles de la température et des précipitations ne sont pas disponibles.

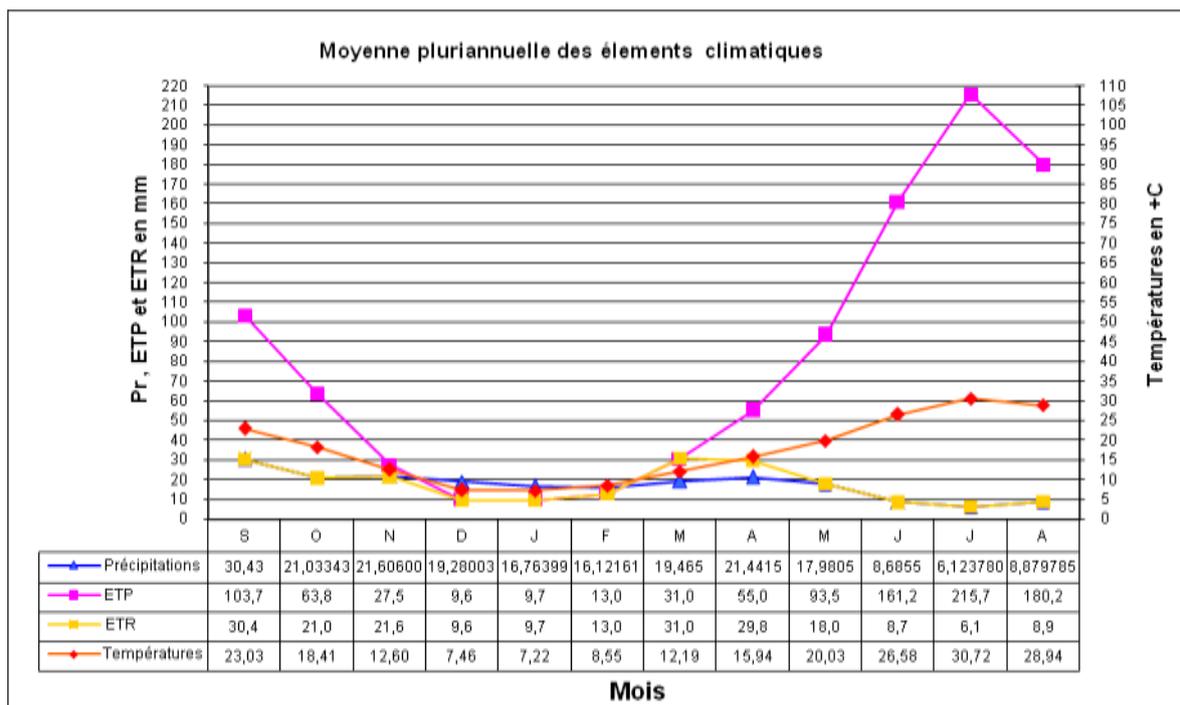
L'évapotranspiration réelle (ETR) n'est égale à l'ETP que lorsque l'alimentation en eau n'est pas limitant ; la différence entre ETR et ETP constitue une mesure du déficit hydrique auquel est soumis le peuplement végétal.

Tableau III. 9 : ETR annuelle selon la méthode de Turc.

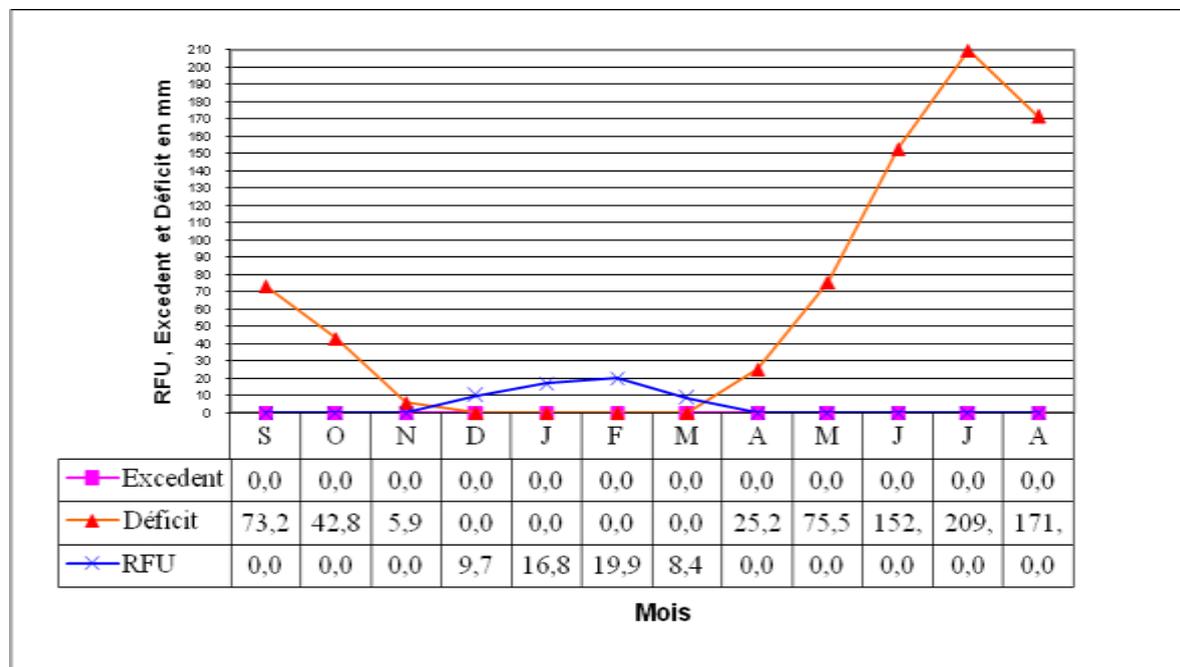
Paramètres Stations	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm/an)
Djelfa	290.05	15.34	863.71	<b>288.21</b>
Ain Oussera	207.81	17.63	1015.23	<b>214.12</b>

Tableau III. 10 : Bilan hydrique à la station de Djelfa pour la période (2000-2020).

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	21.28	9.0	1.03	98.6	33.194	-65.4	-0.7	0.0	0.0	33.2	65.4	0.0
O	16.30	6.0	0.97	59.7	26.091	-33.6	-0.6	0.0	0.0	26.1	33.6	0.0
N	9.46	2.6	0.86	21.5	24.791	3.3	0.2	3.3	3.3	21.5	0.0	0.0
D	6.01	1.3	0.81	9.5	23.999	14.5	1.5	14.5	17.7	9.5	0.0	0.0
J	5.20	1.1	0.87	8.1	25.029	17.0	2.1	8.3	26.0	8.1	0.0	8.7
F	6.20	1.4	0.85	10.6	21.622	11.1	1.0	0.0	26.0	10.6	0.0	11.1
M	9.76	2.8	1.03	27.1	26.131	-1.0	0.0	-1.0	25.0	27.1	0.0	0.0
A	13.41	4.5	1.10	49.0	31.554	-17.5	-0.4	-17.5	7.5	49.0	0.0	0.0
M	18.08	7.0	1.21	88.4	29.366	-59.0	-0.7	-7.5	0.0	36.9	51.5	0.0
J	23.80	10.6	1.22	140.5	15.053	-125.5	-0.9	0.0	0.0	15.1	125.5	0.0
J	27.85	13.5	1.24	185.3	10.144	-175.2	-0.9	0.0	0.0	10.1	175.2	0.0
A	26.70	12.6	1.16	161.7	23.074	-138.6	-0.9	0.0	0.0	23.1	138.6	0.0
Annuel	15.34	72.2		860.0	290.0	-569.9				270.3	589.7	19.8



**Figure III. 10:** Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques à la station de Djelfa pour la période (2000-2020).



**Figure III. 11:** Diagramme de la variation de la RFU, du déficit agricole et de l'excédent à la Station de Djelfa (2000-2020).

Tableau III. 11: Bilan hydrique à la station de AinOussera pour la période (2000-2020).

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	23.03	10.1	1.03	103.7	30.43	-73.2	-0.7	0.0	0.0	30.4	73.2	0.0
O	18.41	7.2	0.97	63.8	21.033	-42.8	-0.7	0.0	0.0	21.0	42.8	0.0
N	12.60	4.1	0.86	27.5	21.606	-5.9	-0.2	0.0	0.0	21.6	5.9	0.0
D	7.46	1.8	0.81	9.6	19.28	9.7	1.0	9.7	9.7	9.6	0.0	0.0
J	7.22	1.7	0.87	9.7	16.764	7.1	0.7	7.1	16.8	9.7	0.0	0.0
F	8.55	2.3	0.85	13.0	16.122	3.1	0.2	3.1	19.9	13.0	0.0	0.0
M	12.19	3.9	1.03	31.0	19.465	-11.5	-0.4	-11.5	8.4	31.0	0.0	0.0
A	15.94	5.8	1.10	55.0	21.442	-33.6	-0.6	-8.4	0.0	29.8	25.2	0.0
M	20.03	8.2	1.21	93.5	17.981	-75.5	-0.8	0.0	0.0	18.0	75.5	0.0
J	26.58	12.5	1.22	161.2	8.6855	-152.5	-0.9	0.0	0.0	8.7	152.5	0.0
J	30.72	15.6	1.24	215.7	6.1238	-209.6	-1.0	0.0	0.0	6.1	209.6	0.0
A	28.94	14.3	1.16	180.2	8.8798	-171.3	-1.0	0.0	0.0	8.9	171.3	0.0
Annuel	17.64	87.4		963.9	207.8	-756.0				207.8	756.0	0.0

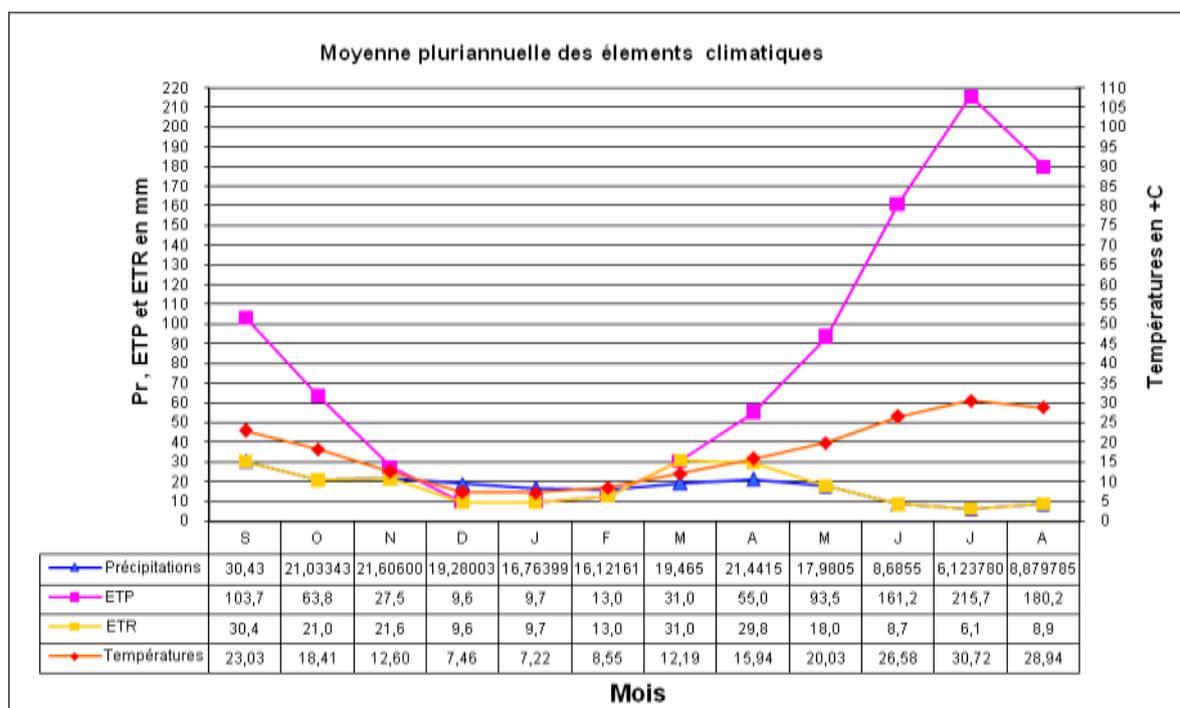
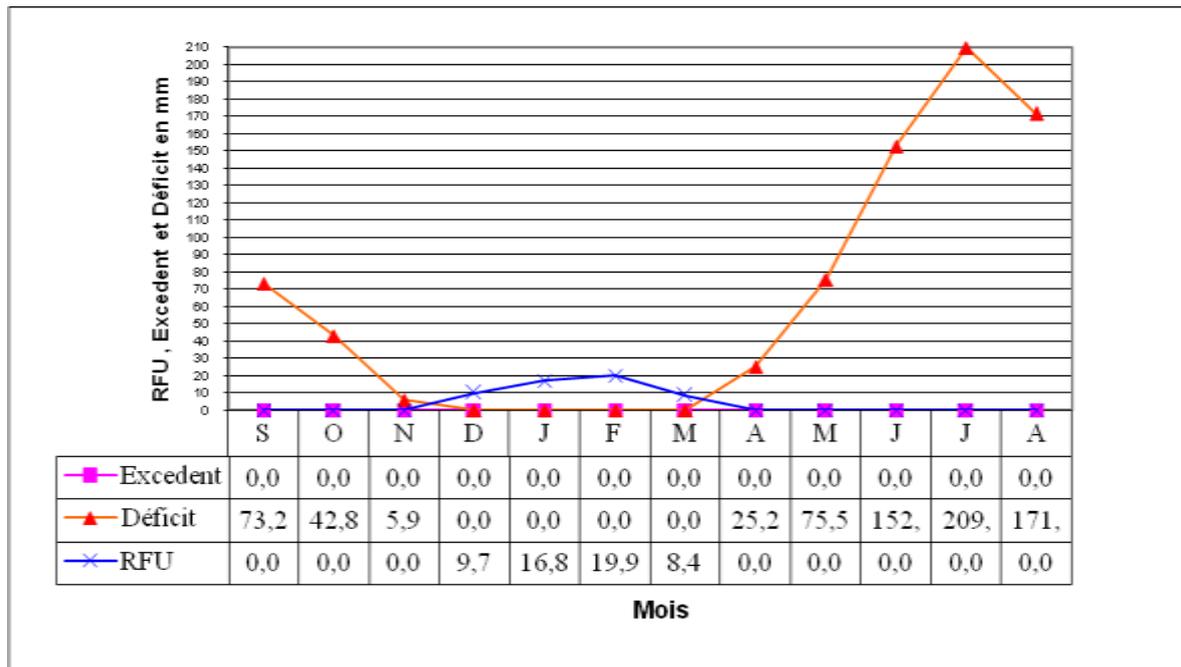


Figure III. 10 : Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques à la station d’Ain Oussera pour la période (2000-2020).



**Figure III. 12 :** Diagramme de la variation de la RFU, du déficit agricole et de l'excédent à la Station de Ain Oussera (2000-2020).

D’après le bilan hydrique pour les deux stations, selon la méthode de Thornthwaite, la **RFU** (réserve facilement utilisable) commence à se reconstituer à partir du mois de **Décembre (Ain oussera)** pour atteindre son maximum **19.9 mm** de **février** et elle a commencé de mois de **Novembre** à la station de Djelfa,

L’**ETP** atteint son maximum au mois d'Avril (**49.0 mm** à **Djelfa**) et au mois de **Mars (31.0 mm** à **Ain oussera**), son minimum au mois de **Janvier** pour **Djelfa (8.1 mm)** et au mois de **Juillet (6.1 mm** à **Ain oussera**). L’**Excédent** à partir du mois de **janvier** atteint son maximum au mois de **février (11.1 mm** au **Djelfa**)

**III. 6. 3. Le ruissellement :**

Est l’écoulement des eaux à la surface de la terre, notamment la surface des sols

- Formule de Tixerant-Berckaloff

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Avec :

P : Précipitation moyenne en m.

R : Ruissellement en m.

ETP : Evaporation potentiel en m

**Tableau III. 12 :** Ruissellement selon la formule de Tixerant-Berckaloff.

Paramètres Stations	P (m)	ETP(m)	R(m)
	Djelfa	0.290	0.86
Ain Oussera	0.208	0.964	<b>0.0032</b>

Le bilan hydrique est défini selon l'équation suivante.

$$P = ETR + R + Ie$$

Avec :

**P** : Précipitations moyennes annuelles en mm/an.

**ETR** : Evapotranspiration réelle en mm /an.

**Ie** : Infiltration efficace en mm/an.

### III. 6. 4. Infiltration efficace :

L'infiltration efficace est déduite de l'équation du bilan hydrique :

$$Ie = P - ETR - R$$

- Si  $Ie > 0$  : Les entrées sont supérieures aux sorties.
- Si  $Ie < 0$  : Les entrées sont inférieures aux sorties.

**Tableau III. 13 :** Les valeurs de l'infiltration efficace.

Paramètres Stations	P (mm)	ETR		R		Ie	
		(mm/an)	(%)	(mm/an)	(%)	(mm/an)	(%)
Djelfa	290.05	270.3	93.19	11.00	3.79	8.75	3.02
Ain Oussera	207.81	207.8	100.00	3.22	1.55	-3.21	0.00

### III. 7. Conclusion :

De l'étude hydroclimatologique, on peut distinguer que les deux régions appartiennent même type de climat (climat semi-aride). Les précipitations durant la période (2000-2020) sont de l'ordre de 290.05 mm pour Djelfa et 207.81 pour Ain oussera en moyenne annuelle, la température moyenne annuelle est de 15.34°C pour Djelfa ,et 17.64 °C au Ain oussera. L'évapotranspiration réelle (ETR) déterminées par la méthode de Turc, sont respectivement égales à : 288.21 mm/an au Djelfa et 214.12 mm/an à Ain oussera.

# **Chapitre IV :**

## **Etude de la sécheresse**

**IV. 1. Introduction :**

Le présent chapitre c'est la partie dans laquelle on réalise des calculs à l'aide d'un code programmé (DrinC), à travers l'application des indices pluviométrique et hydrologique cités dans la partie recherche bibliographique, dans notre zone d'étude sur des séries d'observations climatique de durée de quarante an, de deux stations météorologiques de Djelfa et de Ain oussera. Enfin on termine par une discussion de l'ensemble des résultats du travail et mètre également en valeurs les interprétations, les comparaisons et les conclusions résultantes.

**IV. 2. Logiciel DrinC**

DrinC est un logiciel PC autonome fonctionnant sous les plates-formes Windows. L'objectif principal du logiciel est de faciliter la procédure de calcul des indices de sécheresse, qui peut être une tâche compliquée, en particulier dans le cas de l'évaluation de la distribution spatiale des indices. DrinC permet de calculer trois indices de sécheresse :

- DP (Déciles Précipitation).
- SPI (Indice de Précipitation Standardisé).
- RDI (Indice de Sécheresse de Reconnaissance).

Aussi : l'évapotranspiration potentielle avec trois méthodes : méthode de Thornwaite, méthode de Hargreaves et la méthode de Blaney –Criddle.

Installation du logiciel : La configuration système recommandée pour DrinC est un ordinateur à processeur Pentium 4 avec 128 Mo de RAM et une version de MS Excel (97 ou supérieure) installée. Exécutez l'application «DrinC setup.exe» pour initialiser la configuration du logiciel et suivez les instructions de l'assistant pour terminer le processus d'installation. Le programme DrinC est téléchargeable gratuitement

**\*Entrée des données :**

Les données d'entrée sont les précipitations annuelles ou mensuelles pour le calcul des déciles et du SPI, tandis que des données d'évapotranspiration potentielle (PET) sont également nécessaires pour le calcul du RDI. Il est également possible d'utiliser les données de température pour calculer le PET selon la méthode de Thornthwaite. Notons qu'une série de données d'au moins 30 ans doit être disponible pour obtenir des résultats fiables

ANNEE	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	P.Aen
1939-40	31,7	5,7	73,5	145,5	31	120	88,9	101	23,3	20,4	0	8,5	659,0
1940-41	7	7,5	8,8	48,3	129,3	67	42,5	16,7	16,5	53,3	0	2,8	399,7
1941-42	15	18,9	95,5	38,3	42,6	58,5	118	137	72	13	10,5	0	619,5
1942-43	122	17	79	29	84	69	76	25	24,6	0	0	0	525,6
1943-44	18,9	4,5	39	157,8	41,4	110,1	90,6	19,5	69,3	12,8	0	0	963,9
1944-45	62,1	65,5	59,8	171	0,5	45	107,5	45,7	59,5	35,3	0	2	653,9
1945-46	24,5	20,2	17,3	74,6	156,4	19	23,3	3,2	12,5	16,2	0	1,2	379,2
1946-47	14	86,1	50	58,8	209	54	43,2	153,3	32,2	14,5	0	0	715,1
1947-48	6,5	8,5	48,4	204,5	33,3	62,1	34,8	6,7	213,3	3,1	0	0,8	608,0
1948-49	19	21,6	1,6	232,8	115,1	129,4	21,4	90	142,5	0,8	0,1	0,8	745,1
1949-50	6,7	139,3	0	104,4	148,4	25,4	48,3	99,4	24,2	2,9	0,5	7	607,7
1950-51	12,3	0	77,9	201,7	171,4	25,7	134,1	38,8	72,3	2,1	0,1	10,8	795,0
1951-52	99,5	119,2	5,7	491,1	75,3	80,2	84,7	42,2	21,2	6,0	1,7	1	928,3
1952-53	51,9	156,9	100,2	177,3	82,3	32,8	30,6	87,3	121,9	2,2	3,9	3,1	852,6
1953-54	7,8	32,8	11,9	112,1	80	56,7	126,8	7,7	15	10,7	0,9	1,5	463,9
1954-55	49,4	31,1	35,1	256,6	75,6	167,3	96,7	188,7	30,8	2,3	1,6	1,3	846,8
1955-56	8,8	21,3	57,8	263,9	125,9	67,7	81,5	86,2	16,9	33	5,1	3,8	765,9
1956-57	28,9	9,8	26,1	156	59,5	176,8	51,9	72,8	27,3	1	0	0,6	610,5
1957-58	25,2	34,2	65,5	257,2	61,4	8,4	103,4	117,8	11,8	7	3,5	2	667,6

**\*Exemples de format de fichier (ensembles de données mensuels et annuels)**

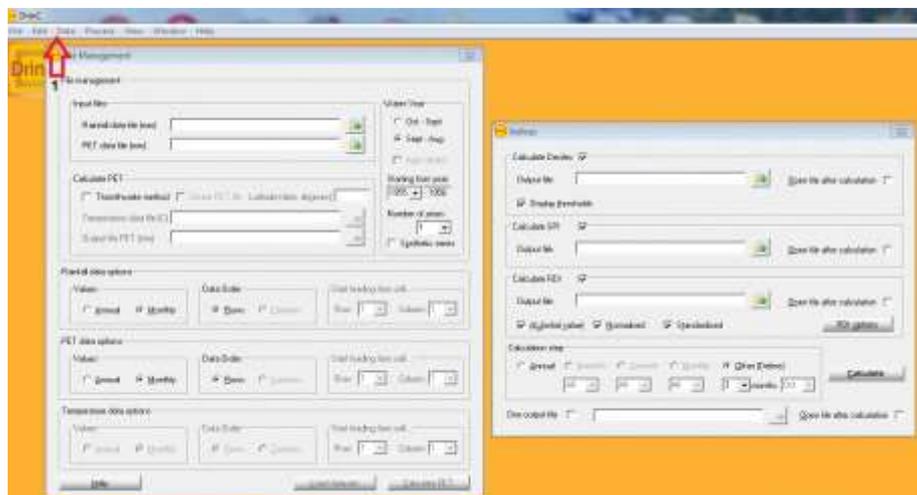
Les fichiers sont au format feuille de calcul MS Excel. Pour le calcul des indices sur une base annuelle, les données peuvent être annuelles ou mensuelles, pour les calculs saisonniers (mois, 3 mois, 6 mois ou autre pas de temps), des données mensuelles sont requises.

En ce qui concerne les fichiers de données mensuels, le logiciel est capable de reconnaître automatiquement la position des données et d'ignorer les autres informations incluses dans le fichier. Le format du fichier doit contenir une ligne avec le nom des mois (au moins la première lettre de chaque mois) de l'année de l'eau (octobre à septembre ou septembre à août). Les données de chaque année sont placées dans les lignes sous les mois respectifs.

Les données annuelles doivent être placées dans une colonne (une valeur par an).

**\*Exécution du programme sous Windows :**

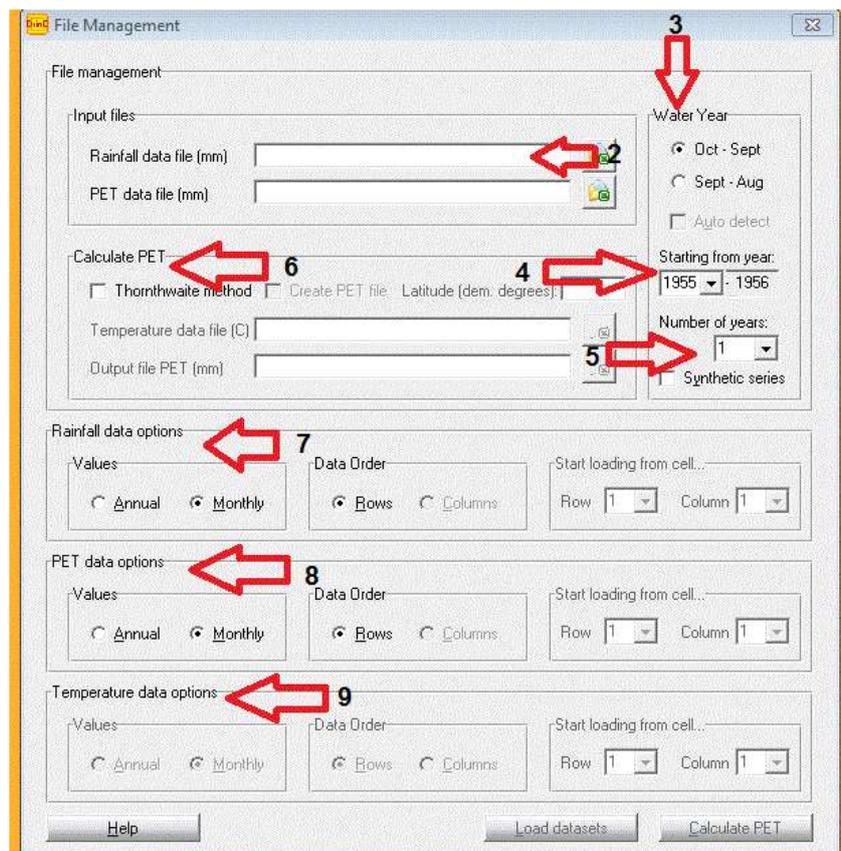
Voici comment exécuter le programme sous Windows:



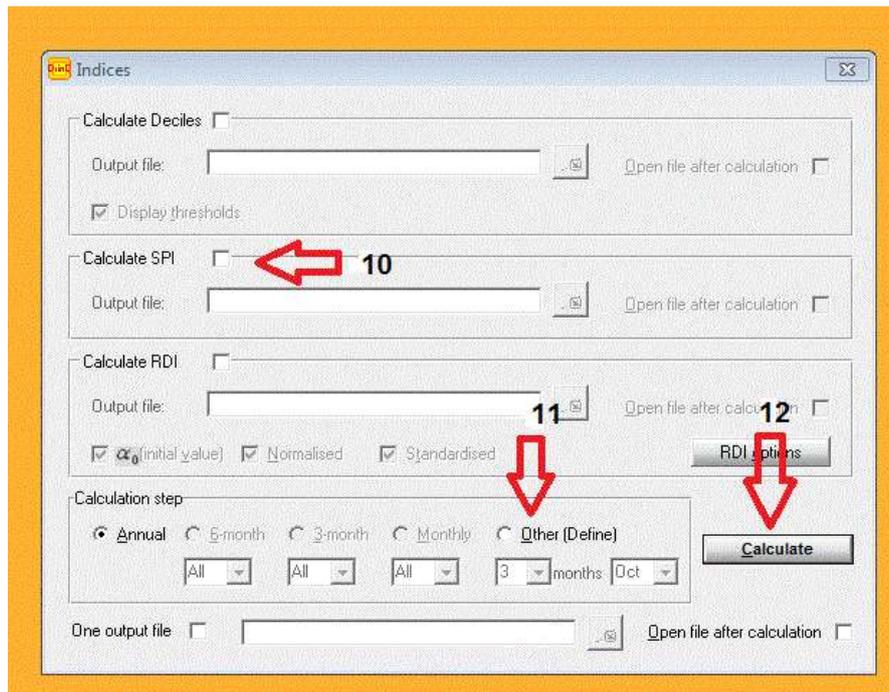
1. Les fichiers de données sont sélectionnés dans la fenêtre Gestion des fichiers. (Menu>Data>file Management).

Exécuter le logiciel Drinc et suivre les explications suivantes

Dans cette fenêtre sont définis les fichiers de précipitations et d'évapotranspiration potentielle (PET), la première année et le nombre d'années de l'ensemble de données. Si les données sont sur une base annuelle, la cellule où se trouve la valeur de la première année doit également être définie par l'utilisateur (par exemple, Ligne : 9, Colonne : 3).



2. Choisir le fichier Excel format « Excel.xls ».
3. Sélectionner début et fin pour les mois (oct-sep)
4. Choisir le début de l'année.
5. Sélectionner les nombres des années.
6. Calculer PET et entrer le fichier des données des températures.
7. Sélectionner les options de données des précipitations.
8. Sélectionner les options de données du PET.
9. Sélectionner les options de données des températures



Les paramètres de calcul des indices de sécheresse sont définis dans la fenêtre Indices (« menu » > « Processus » > « Calculer les indices »).

**10.** En cochant les cases correspondantes, chaque indice (ou tous les indices à la fois) sera calculé. Les sorties peuvent être enregistrées soit dans des fichiers séparés en définissant le nom des fichiers de sortie dans les zones de texte respectives, soit dans le même fichier pour tous les indices si l'étape de calcul annuel est sélectionnée et que la case "Un fichier de sortie" est cochée. Plusieurs intervalles de temps sont disponibles pour le calcul : mensuel, 3 mois, 6 mois, annuel et définis par l'utilisateur.

Pour chaque indice, il existe différentes options de sortie. Pour les déciles, chaque seuil de décile peut être affiché dans le fichier de sortie, tandis que pour RDI, chacune des différentes formes de l'indice peut être sélectionnée pour la sortie.

**11.** Plusieurs intervalles de temps sont disponibles pour le calcul : mensuel, 3 mois, 6 mois, annuel et défini par l'utilisateur.

**12.** Calculer les résultats.

**Note :** Les fichiers de sortie produits sont au format feuille de calcul MS Excel, afin de faciliter tout traitement ultérieur.

#### **\*Données d'entrée et tableaux de résultats**

Les données d'entrée et les résultats sont présentés dans des tableaux ('menu' > Processus > 'Tableaux de données d'entrée et Tableaux de résultats'), dans lesquels on peut modifier et enregistrer les nouveaux fichiers.

	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Annual		
1955-56	60.1	103.3	75.6	51.1	78.2	70.7	8.2	10.6	1.2				459		
1956-57	7.9	26.5	65.2	100.3	4.0	21.3	0.0	29.5	11.5			29.0	241		
1957-58	26.0	38.5	75.2	32.7	10.1	13.9	4.7	1.4					12.5	215	
1958-59	9.6	26.0	29.6	67.4	4.2	28.5	6.4	10.5	1.7	19.8			0.1	202	
1959-60	28.8	20.4	65.4	54.5	26.5	56.9	13.2	1.7					0.6	277	
1960-61	10.9	44.6	76.5	113.7	48.1	31.7	0.5	42.4	1.7					370	
1961-62	77.0	18.0	128.5	60.3	62.5	63.4	1.4	10.4	0.6				29.5	471	
1962-63	22.5	11.0	156.2	29.1	47.2	27.5	5.0	21.8						321	
1963-64	42.2	32.9	75.9	56.8	21.7	30.0	3.0	4.6	6.8				20.5	294	
1964-65	1.5	22.7	29.5	68.3	71.2	72.8	18.1	33.7	15.5					333	
1965-66	10.4	0.1	41.6	77.2	44.0	16.1	9.6	3.0	1.5				11.3	222	
1966-67	5.2	26.1	96.3	50.7	32.6	23.4	37.0	6.4	1.1					1.0	288
1967-68	28.5	54.1	51.9	107.0	65.0	28.5	1.3	12.7	10.4			1.5	0.4	361	
1968-69	60.7	67.2	30.5	109.5	12.5	55.7	37.2	4.1						200	
1969-70	3.0	2.4	134.8	45.8	48.9	93.7	4.8	28.6	12.5			0.2		374	
1970-71	76.0	30.5	54.5	130.5	106.3	56.7	7.2	1.3	0.2	4.7			0.2	476	
1971-72	3.2	19.4	33.1	27.9	36.2	116.3	25.9	12.4		11.2	74.0			360	
1972-73	106.0	29.0	44.0	152.3	43.4	28.3	71.7	0.6						0.6	475
1973-74	26.1	26.5	31.7	14.2	117.2	54.6	10.0	1.9					10.1	292	
1974-75	9.7	90.0	20.5	59.0	65.7	25.1	20.3	4.4	20.6					351	

**IV. 3. Evaluation de la sécheresse météorologique :**

**A-1. Sécheresse météorologique à court terme :**

- Les pas de temps 1 et 3 sont ceux qui représentent le court terme de la sécheresse.

Les figures (IV.1., 2., 3., 4.) présentent la comparaison entre le SPI & RDI1 et 3 calculer par trois méthodes d'évapotranspiration potentielle "ETP" (Hargreaves, Thornthwaite, Blaney-Criddle)

\* Les durées les plus longues de la sécheresse sont observées entre 1983-1984 ; 1991-1994 ; 1997-2000 et 2005-2008 selon le SPI&RDI1 ; et entre 1983-1984 ; 1989-1994 et 1997 - 2002 selon le SPI3 et RDI3, toutes ces périodes ont une sévérité extrêmement sec. (pour Djelfa), et entre 1983-1984 et 2005- 2008 selon le SPI&RDI1 ; et entre 1983-1984 ; 1989-1994 et 1997 -2002 selon le SPI3 et RDI3, toutes ces périodes ont une sévérité extrêmement sec. (Pour Ain oussera)

\* La sévérité maximale de la sécheresse s'observe durant les années 1997-2000 et 2005 2008 pour SPI1, RDI1=-2,05 par la méthode de Blaney-Criddle Hargreaves et Thornthwaite, avec une sécheresse sévèrement à extrêmement sec, (pour Djelfa). Durant l'année 2005-2008 pour SPI1, RDI1= -4,05 par la méthode de Blaney-Criddle et Thornthwaite, avec une sécheresse sévèrement à extrêmement sec. (Pour Ain oussera).

• La période entre 1997-2002 pour SPI3, RDI3= -3 avec une sécheresse sévèrement à extrêmement sec. (pour les deux zones).

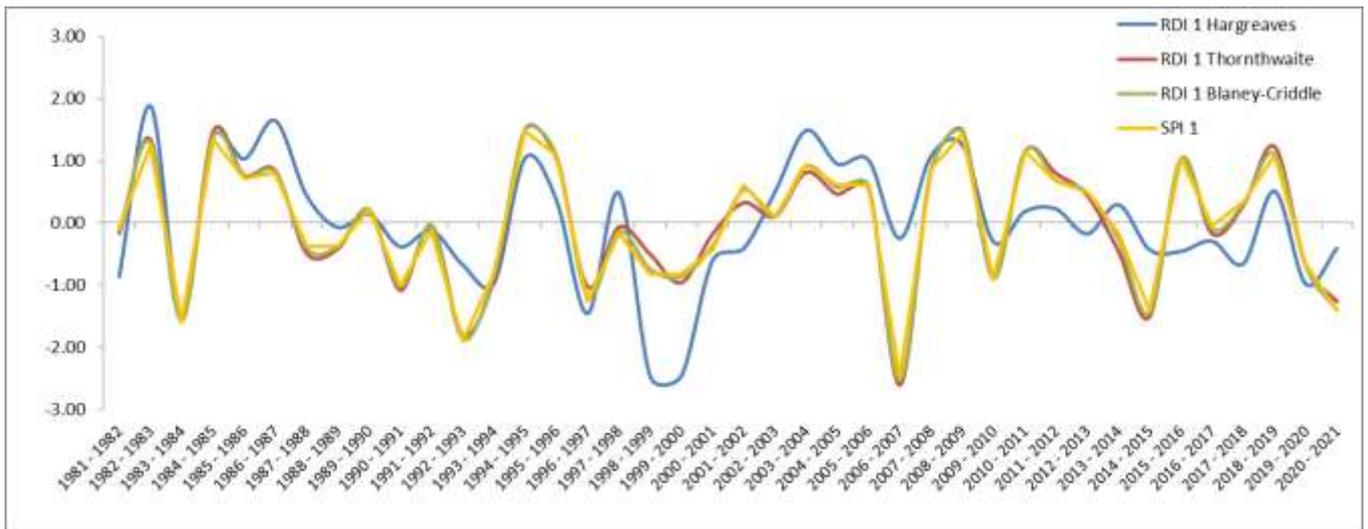


Figure IV. 1 : Comparaison de SPI 1 et RDI 1 pour la station de Djelfa (1981/2021) avec un pas de temps de 1 mois.

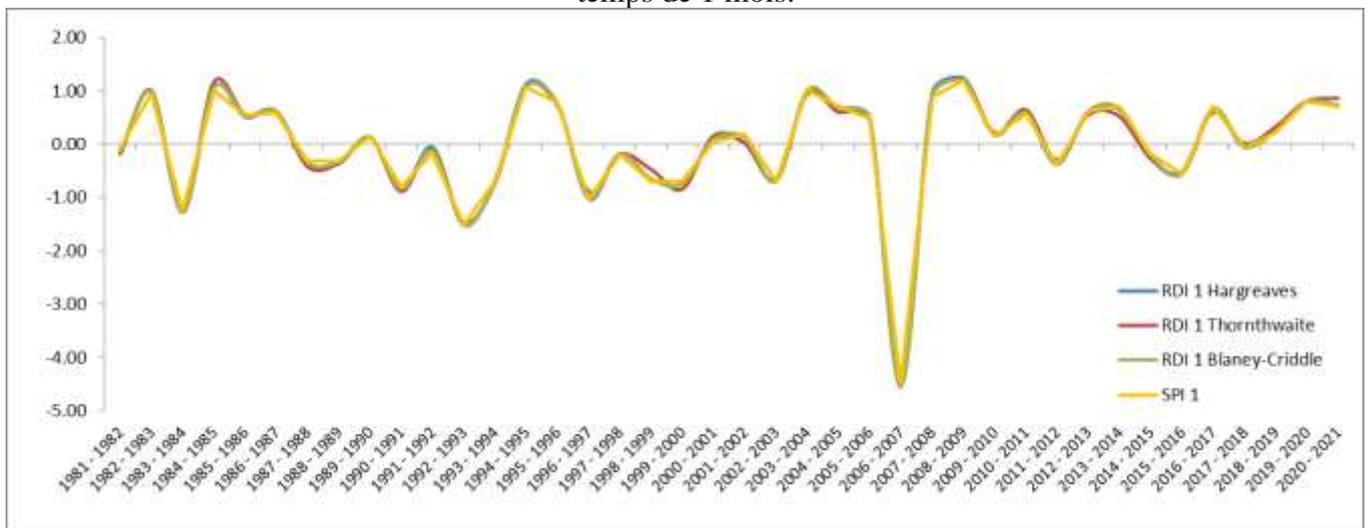


Figure IV. 2 : Comparaison de SPI 1 et RDI 1 pour la station de Ain oussera (1981/2021) avec un pas de temps de 1 mois

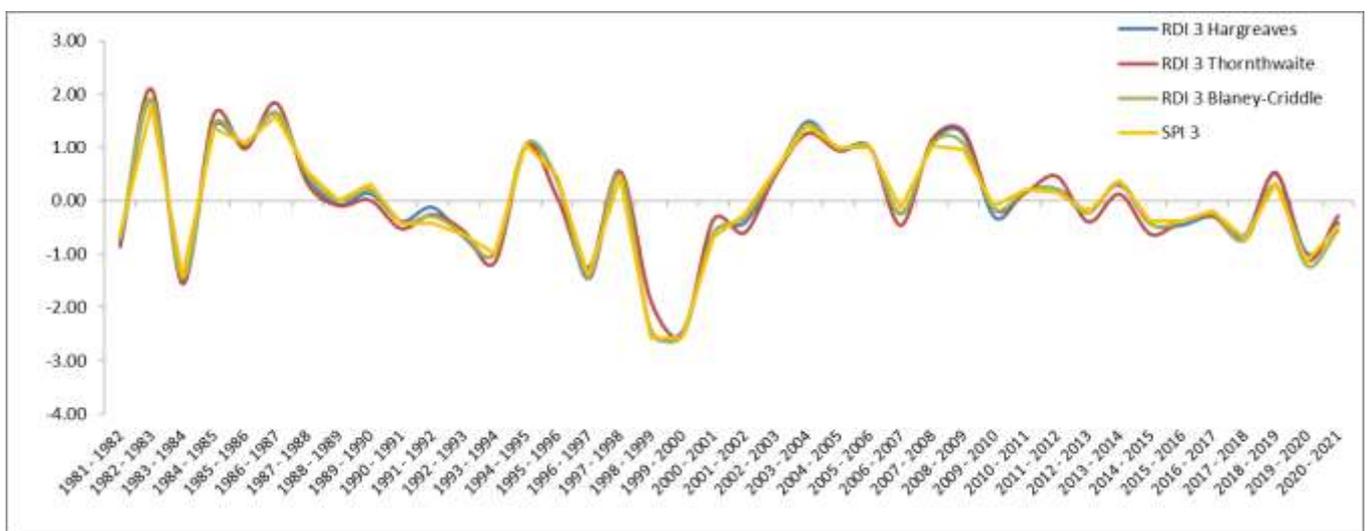
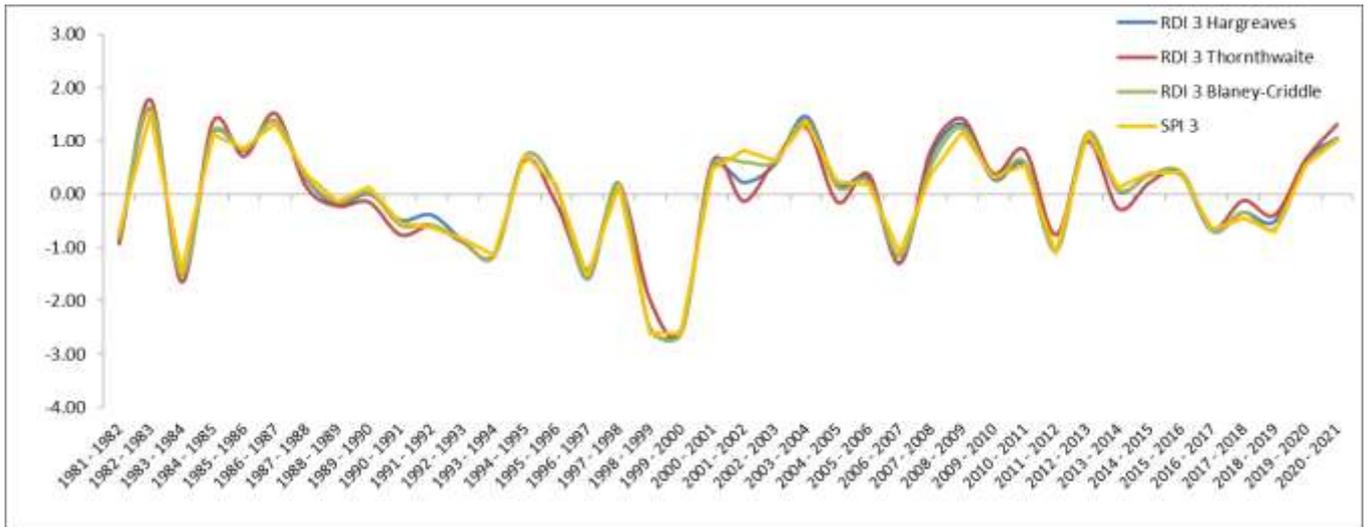


Figure IV. 3 : Comparaison des SPI 3 et RDI 3 pour la station de Djelfa (1981/2021) avec un pas de temps de 3 mois.

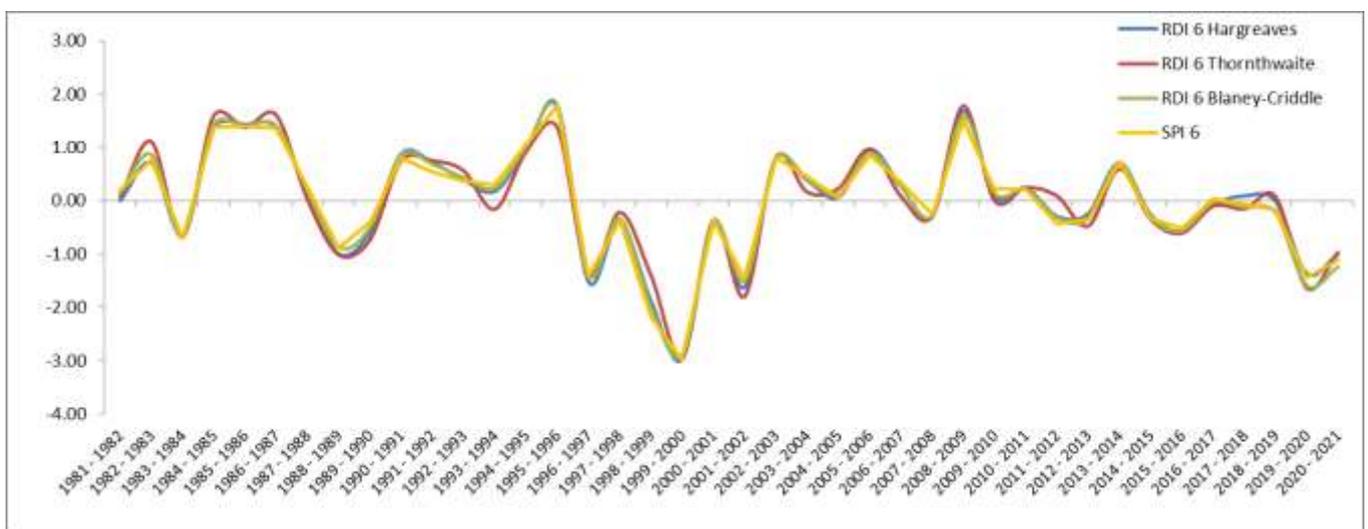


**Figure IV. 4 :** Comparaison des SPI 3 et RDI 3 pour la station de Ain oussera (1981/2021) avec un pas de temps de 3 mois.

**A-2. La Sécheresse à moyen et à long terme :**

Le pas de temps 6 représente le moyen terme alors que ceux de 9 et 12 mois représentent l'évaluation de la sécheresse à long terme (Figure IV.5., 6., 7., 8., 9., 10.).

- Les SPI & RDI6 présentent les durées suivantes : entre 1983-1984 ; 1987-1990 ; 1995-2002 ces durées se caractérisent par une sévérité extrêmement sec (pour Djelfa).
- Et entre 1983-1984 ; 1987-1990 ; 1995-2000 et 2017-2018 avec une sévérité extrêmement sec (pour Ain oussera).
- Les SPI & RDI 9 et 12 montrent la même durée de sécheresse au cours des années : 1983-1994 ; 1997-2002 et ces périodes sèches sont d'une sévérité extrêmement sèche. (Pour Djelfa)
- Le SPI6& RDI6 présentent les durées suivantes : 1983-1984 ; 1997-2002 ; 2003-2006 et 2015-2020. Le SPI12 & RDI 12 au cours des années 1983-1984 ; 1997-2004 ; 2011-2014 ; 2015-2020 une sévérité extrêmement sec. (Pour Ain oussera)



**Figure IV. 5 :** Comparaison des SPI 6 et RDI 6 pour la station de Djelfa (1981/2021) avec un pas de temps de 6 mois.

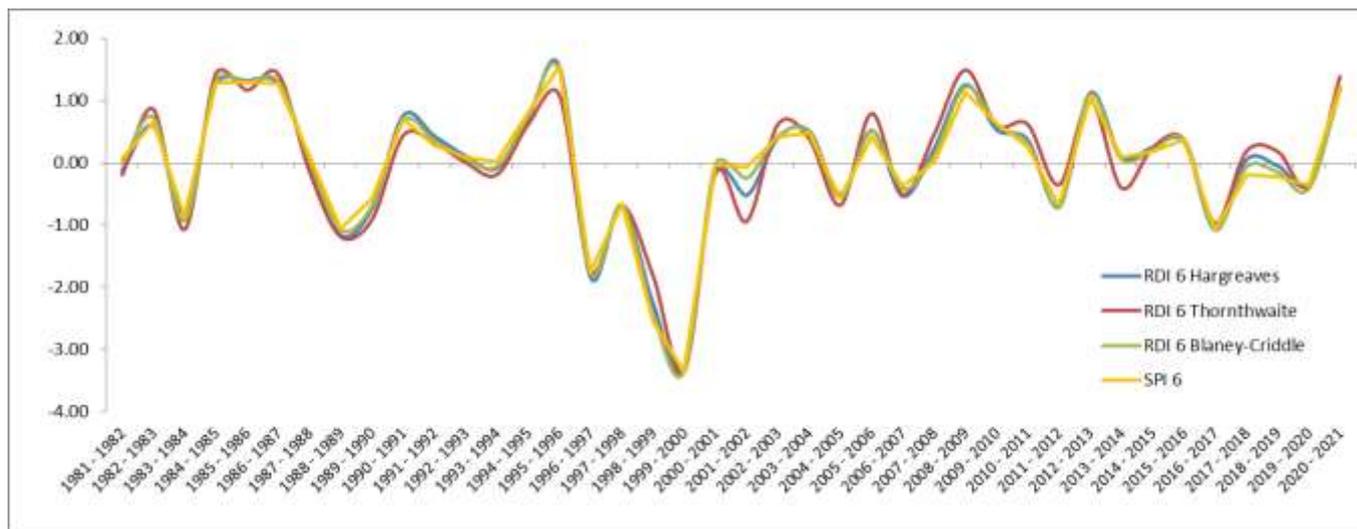


Figure IV. 6 : Comparaison des SPI 6 et RDI 6 pour la station de Ain oussera (1981/2021) avec un pas de temps de 6 mois.

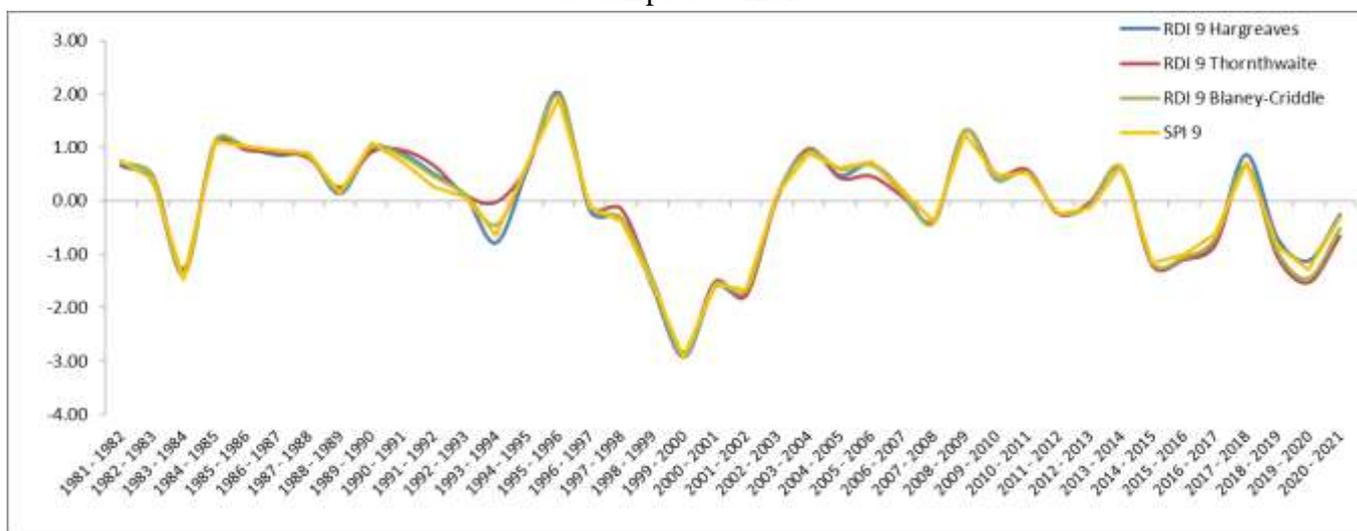


Figure IV. 7 : Comparaison des SPI 9 et RDI 9 pour la station Djelfa (1981/2021) avec un pas de temps de 9 mois.

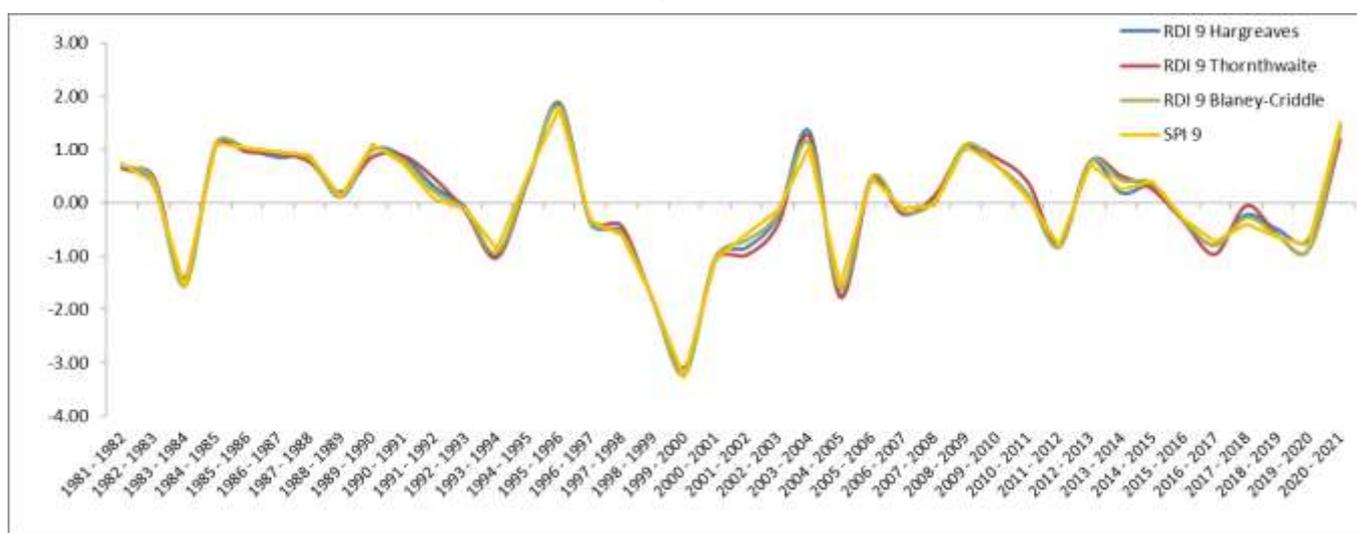
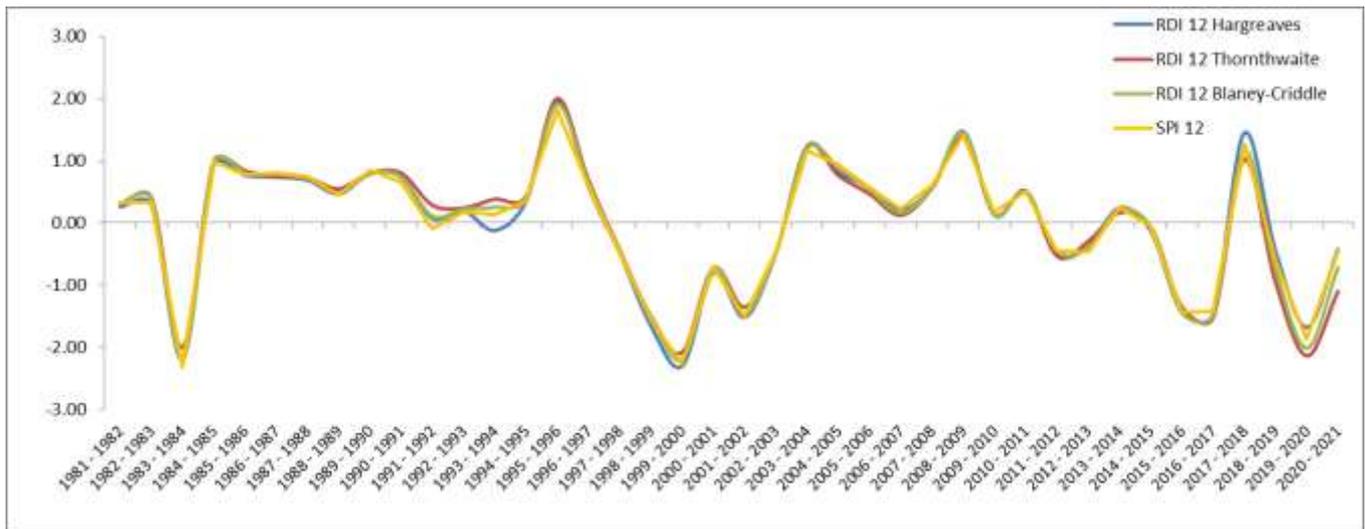
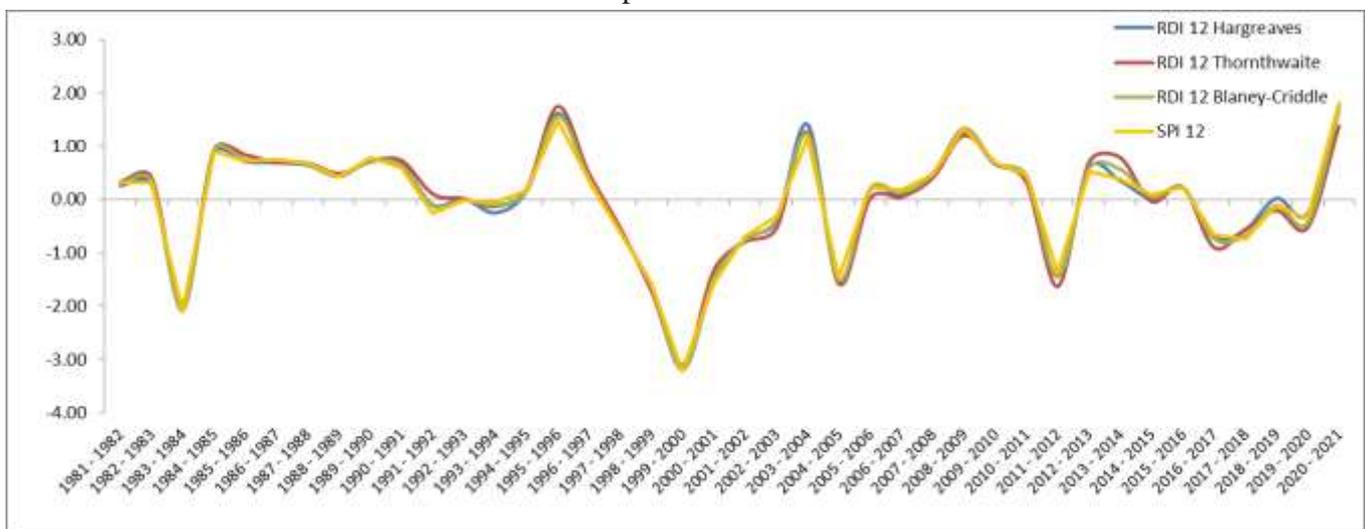


Figure IV. 8 : Comparaison des SPI 9 et RDI 9 pour la station Ain oussera (1981/2021) avec un pas de temps de 9 mois.



**Figure IV. 9 :** Comparaison des SPI 12 et RDI 12 pour la station Djelfa (1981/2021) avec un pas de temps de 12 mois.



**Figure IV. 10 :** Comparaison des SPI 12 et RDI 12 pour la station de Ain oussera (1981/2021) avec un pas de temps de 12 mois.

Les deux régions ont les mêmes périodes de sécheresse, le même type de climat et le même effet sur la sécheresse.

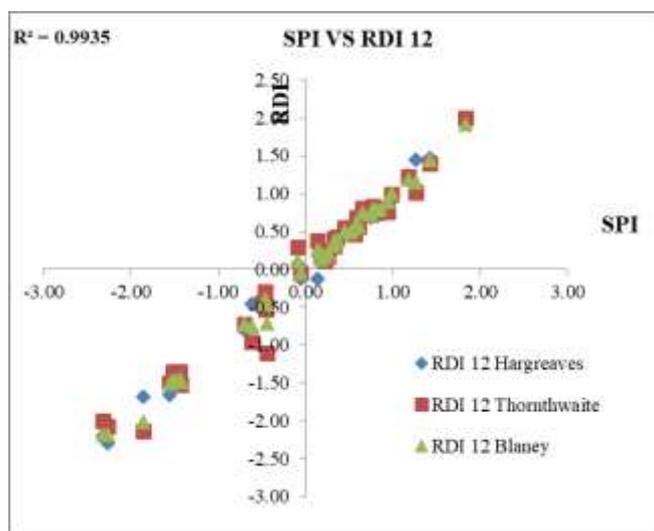
#### IV. 4. 1 Corrélation entre le SPI et le RDI calculés à partir de la station de Djelfa :

Une corrélation a été réalisée entre les indices de la sécheresse SPI et RDI, estimés par trois méthodes de calculs de l'évapotranspiration (Hargreaves, Thornthwaite, Blaney-Criddle), selon les pas de temps (1, 3, 6, 9, 12) mois. Le tableau 31 illustre le coefficient de corrélation pour les différents pas de temps.

La valeur la plus faible du coefficient ( $R^2$ ) entre SPI et RDI a été obtenue pour un pas de temps Douze mois ( $R=0.9935$ ), et la valeur la plus forte pour le pas de temps d'Un mois ( $R=0.9984$ ) (Tableau 31). Dans les pas de temps Trois, Six et Neuf mois, le coefficient de corrélation ( $R$ ) est supérieur à 0,99, ce qui nous permet de conclure que le coefficient de corrélation  $R^2$  diminue en allant vers les pas de temps représentant l'évaluation de la sécheresse à long terme (SPI et RDI 9 et 12) (la sécheresse hydrologique). Il est évident que les deux indices sont bien corrélés dans tous les pas de temps, dans la station de Djelfa, ce qui signifie que ces deux indices sont très bien adaptés à étudier la sécheresse dans notre zone d'étude.

**Tableau IV. 1:** Coefficient de corrélation ( $R^2$ ) entre les SPI et les RDI à différents pas de temps.

Pas de temps	Coefficient de corrélation $R^2$
SPI 1 vs RDI 1	0.9984
SPI 3 vs RDI 3	0.9964
SPI 6 vs RDI 6	0.9951
SPI 9 vs RDI 9	0.9937
SPI 12 vs RDI 12	0.9935



**Figure IV. 11 :** Diagramme de corrélation entre les SPI et les RDI pour la station de Djelfa (1981-2021).

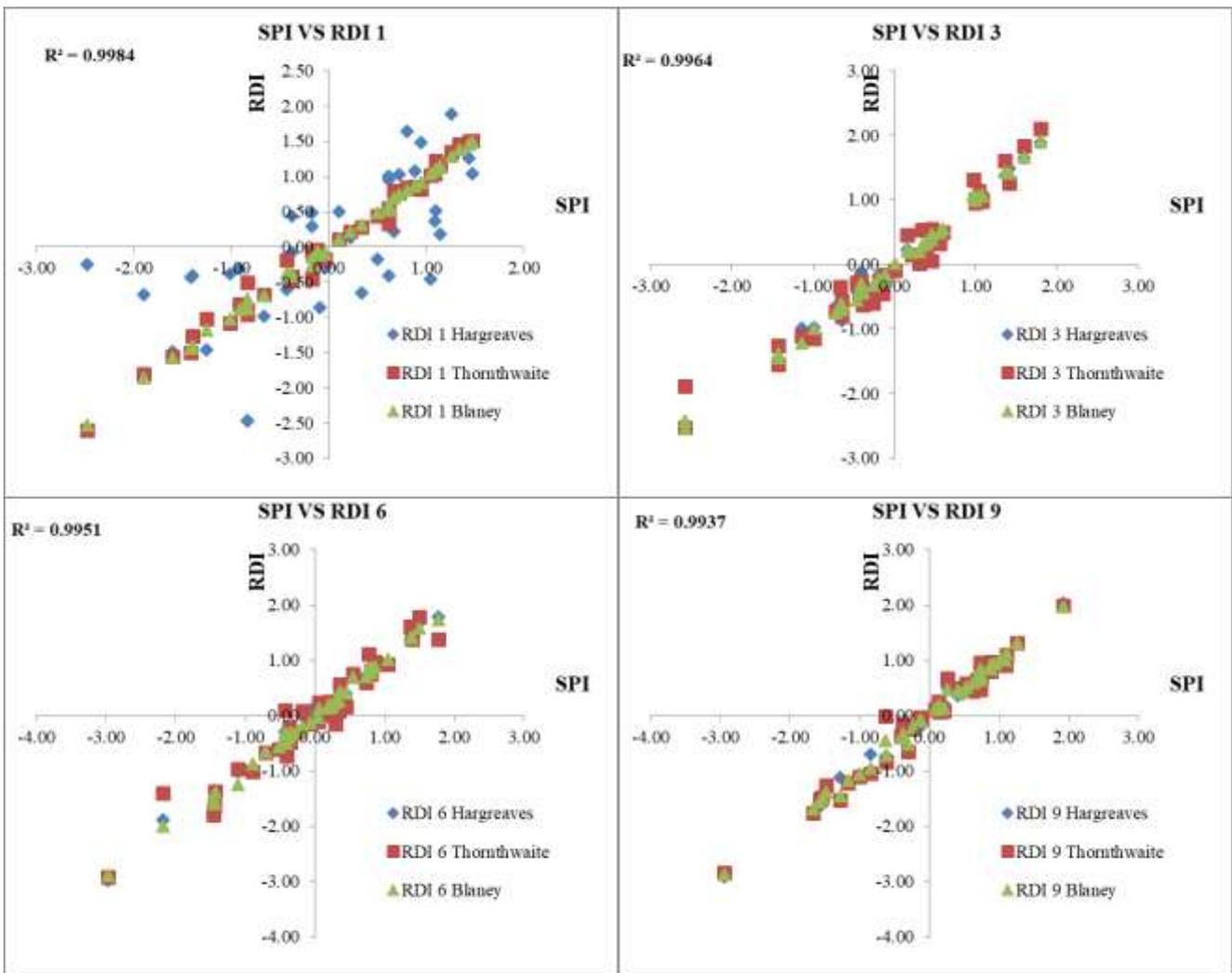


Figure IV. 11 : Diagramme de corrélation entre les SPI et les RDI pour la station de Djelfa (1981-2021).

IV. 4. 2 Corrélation entre le SPI et le RDI Station de Ain Oussera :

La valeur la plus faible du coefficient ( $R^2$ ) entre SPI et RDI a été obtenue pour un pas de temps Douze mois ( $R=0.9964$ ), et la valeur la plus forte pour le pas de temps d’Un mois ( $R=0.9993$ ) (Tableau 32). Dans les pas de temps Trois, Six et Neuf mois, le coefficient de corrélation ( $R$ ) est supérieur à 0,99, ce qui nous permet de conclure que le coefficient de corrélation  $R^2$  diminue en allant vers les pas de temps représentant l’évaluation de la sécheresse à long terme (SPI et RDI 9 et 12) (la sécheresse hydrologique).

Tableau IV. 2 : Coefficient de corrélation ( $R^2$ ) entre les SPI et les RDI à différents pas de temps.

Pas de temps	SPI 1 vs RDI 1	SPI 3 vs RDI 3	SPI 6 vs RDI 6	SPI 9 vs RDI 9	SPI 12 vs RDI 12
Coefficient de corrélation $R^2$	0.9993	0.9953	0.9958	0.9957	0.9964

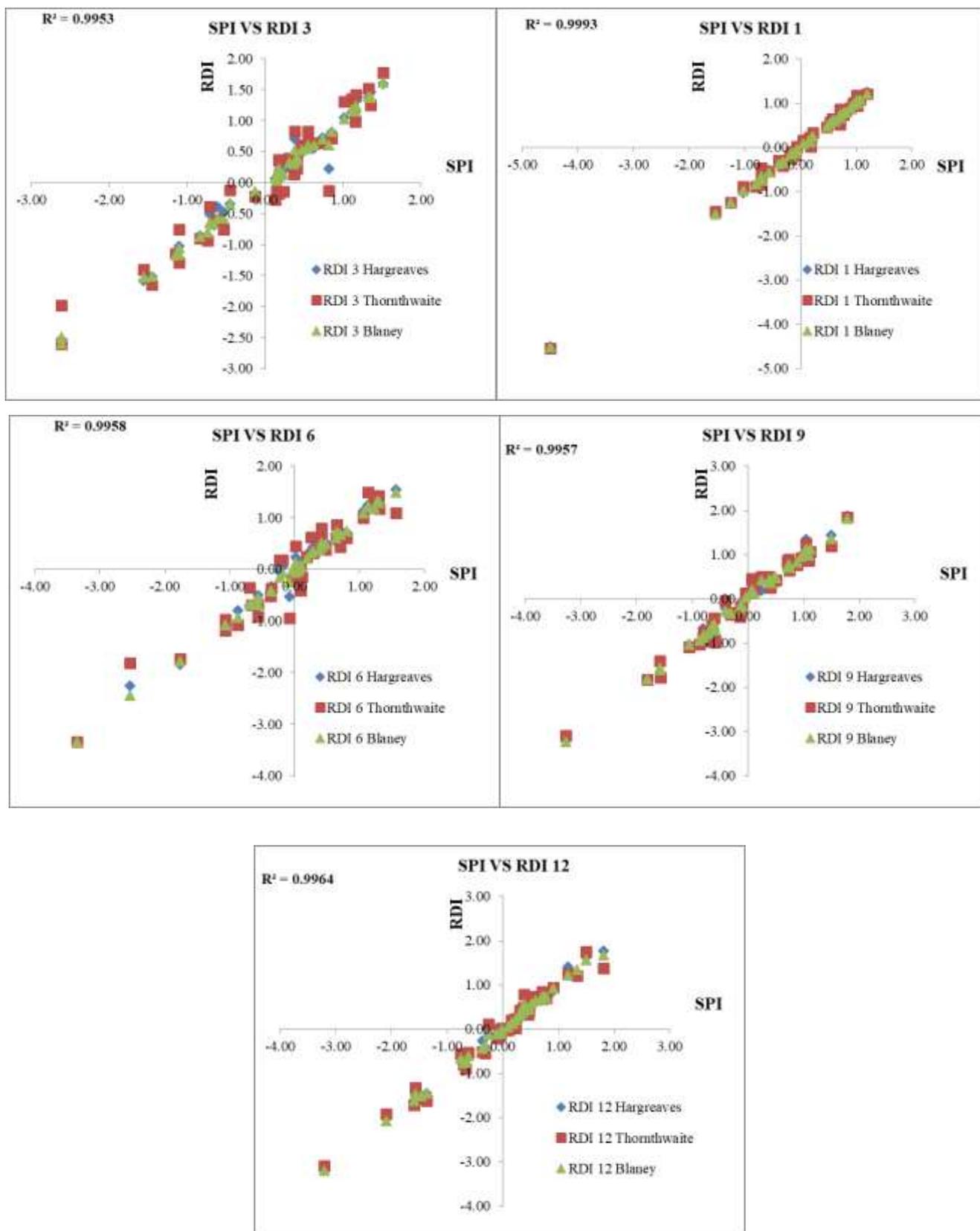


Figure IV. 12 : Diagramme de corrélation entre les SPI et les RDI pour la station de AinOussera (1981-2021).

Il est évident que les deux indices sont bien corrélés dans tous les pas de temps, dans la station de Ain Oussera, ce qui signifie que ces deux indices sont très bien adaptés à étudier la sécheresse dans notre zone d'étude.

**IV. 5. Conclusion :**

Les deux indices météorologiques (SPI et RDI), permettent de conclure que le RDI est l'indice qui montre le plus grand nombre de mois de sécheresse par rapport au SPI, pour les deux stations d'étude Djelfa et Ain Oussera. Les durées maximales de sécheresse ont été représentées par SPI VS RDI 3, 9 & 12 et montrent deux durées. Les SPI et les DRI donnent à peu près les mêmes durées de sécheresse, à l'exception pour une échelle de temps d'un mois. Concernant la sévérité de la sécheresse, les indices SPI montrent la même sévérité dans chaque durée de sécheresse, tandis que le RDI donne une sévérité un peu inférieure à celle donnée par l'SPI. Le RDI donne plus de précision sur le nombre de mois de sécheresse par rapport au SPI, car il est plus spécifique aux régions semi-arides.

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale :

Dans ce mémoire, nous avons fait un appel aux méthodes statistiques pour mettre en évidence l'évolution du climat sur la région de Djelfa et Ain oussera. Avant de commencer l'étude nous avons jugé qu'il est nécessaire de définir certain concept clé en relation avec le climat et le changement climatique. Selon le GIEC, qui est la principale source d'information de qualité sur l'évolution du climat, le changement climatique est défini comme étant une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat. Cette variation est du climat peuvent être dû à processus internes naturelles ou des forçages externes (effet de serre, la variation des paramètres anastromique et l'activité volcanique) ou encore à des causes anthropique liée à l'activité humaine qui se traduise par le rejet des GES.

Pour suivre l'évolution du climat, les scientifiques utilisent des modèles dites des modèles climatiques. Ces modèles peuvent déterminer l'évolution du climat à l'aide des scénarios qui décrivent l'évolution de certains éléments clés. Ensuite pour déterminer les impacts de ce changement, ils utilisent des modèles d'impacts qui utilisent comme donnée d'entrée les variables climatiques issues des simulations par les modèles climatiques. Jusqu'à présent, la modélisation du changement climatique et ces impacts contient une certaine incertitude liée à plusieurs facteurs (incertitude des scénarios, incertitude des modèles et l'incertitude des modèles d'impacts).

Pour atteindre à l'objectif de notre étude, nous avons retenues deux stations météorologiques (Djelfa et Ain oussera) dont leurs périodes d'observations de 20 ans. Durant notre étude de cette région nous avons notés plusieurs remarques concernant la pluviométrie et les températures :

- Dans cette région la pluviométrie est irrégulière caractérisée par des années successives de sécheresse aussi une succession des années humides.
- L'irrégularité des saisons nous a démontré que le climat n'est pas stable et qu'il pourra continuer à évoluer dans le temps et dans l'espace.

L'évaluation et le suivi de la sécheresse météorologique dans la région de Djelfa à partir des deux stations météorologiques de Djelfa et Ain Oussera durant une période d'observation de 1981/82 à 2020/21, a été réalisée, afin d'avoir une idée sur la sévérité et la durée de la sécheresse, par l'utilisation et l'évaluation des performances des indices de sécheresse SPI et RDI. Le du SPI était basé sur une série de précipitations cumulées de 40 ans, tandis que le calcul du RDI était basé sur les précipitations et l'évapotranspiration potentielle on utilisant la méthode Hargreaves-Samani.

Les deux indices météorologiques (SPI et RDI), permettent de conclure que le RDI est l'indice qui montre le plus grand nombre de mois de sécheresse par rapport au SPI. Les durées maximales de sécheresse ont été représentées par SPI VS RDI 3, 9 & 12 et montrent deux durées. Les SPI et les DRI

donnent à peu près les mêmes durées de sécheresse, à l'exception des SPI et des RDI pour une échelle de temps d'un mois (une durée de sécheresse entre février 1997 et novembre 2001). Concernant la sévérité de la sécheresse, les indices SPI montrent la même sévérité dans chaque durée de sécheresse, tandis que le RDI donne une sévérité un peu inférieure à celle donnée par l'SPI. Le RDI donne plus de précision sur le nombre de mois de sécheresse par rapport au SPI, car il est plus spécifique aux régions semi-arides.

Il est évident que les deux indices sont très bien corrélés aux différentes échelles de temps. Cela signifie que les deux indices étudiés pour la détermination de la sécheresse météorologique sont très bien adaptés à notre étude de la sécheresse. Cette bonne corrélation permettra de nous donner une vision sur l'évaluation des conditions d'humidité du sol pour une échelle de temps plus courte, la fluctuation des niveaux des eaux souterraines, le débit des cours d'eau pour les échelles de temps plus longues.

Le changement climatique est donc, un problème préoccupant qu'on doit faire face, surtout que ses conséquences affectent les réservoirs d'eau, et par conséquent les êtres vivants.

# **Références bibliographiques**

- **ABDERRAHMANI, BELAI.** Les risques climatiques et leurs impacts sur l'environnement. Thèse doctorat. Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. Faculté de Chimie .Département de Chimie Organique Industrielle. Année de soutenance 2015. Disponible sur < dspace.univ-usto.dz >.
- **ALIOUCHE, Yaaqoub** Impact du changement climatique sur la fluctuation piézométrique de la nappe de la Mitidja Année de soutenance 2016
- **TABET, Slimane.** Le changement climatique en Algérie orientale et ses conséquences sur la végétation forestière. Mémoire magistère. Université Mentouri Constantine. Faculté des sciences de la nature et de la vie département de biologie et d'écologie. Année de soutenance 2008. Disponible sur < bu.umc.edu.dz >.
- **Jacques, Dermagne et al.** Partager la connaissance et ouvrir le dialogue : le changement climatique. 2006. Groupe de réflexion Académies et Conseil économique et social
- **Florence, HABETS et al.** Impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin versant de la Seine. Eau Seine Normandie. Décembre 2011. Disponible sur < sisyphe.upmc.fr >.
- **Mellouk Walid Abdessabar.** Etude bibliographique des indices de sécheresse. Application à la région de Tlemcen. Soutenue publiquement le : 19 /09/2019.
- **Mazar, Amar.** Impact des changements climatiques sur les ressources en eau superficielles. 60 pages. ENSH Blida. Mémoire Master. Année de soutenance 2014.
- **AHMED A., (2014) :** Gestion des ressources en eau dans la commune de Ghazaou et bilan et perspectives, mémoire de Master, en sciences de la Terre et de l'Univers option : georessources, FSNV, Université de Tlemcen, 59p.
- **ALILI D., (1993) :** Caractéristiques pluviométriques de l'année hydrologique 1992-93. ANRH. Alger.
- **AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY (AMS) (2004) :** Statement on meteorological drought Bull Am Meteorol Soc; 85:771-773.
- **BAKRIA M., (2017) :** Essai de gestion intégrée des ressources en eau dans la wilaya de Guelma, mémoire de Master en sciences de la terre et de l'univers option : Villes et Dynamiques Spéciales, FSNV, Université de Djelfa, 72p.
- **BLANEY H. F. & CRIDDLE W. D., (1950) :** Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. In ISDA Soil Conserv. Serv., SCS-TP-96.
- **CHANG T. J. & STENSON J. R., (1990) :** Is it realistic to define a 100-year drought for water management? Water Resour. Bull. 26 (5), 823–829.
- **CORNET G., (1952) :** Etude hydrogéologique du bassin fermé des Zahrez Gharbi et Chergui XIX° congr. Géol. Inst. Alger, la géologie et les problèmes de l'eau en Algérie, t.2. données sur l'hydrogéologie, Alger, 20p.

- **DOORENBOS J. & PRUIT W. O., (1977)** : guidelines for predicting crop water requirements. FAO irrigation and drainag paper, 24.
- **DRACUP J. & Al., (1980)** : On the statical characteristics of drought events, Water Resour. Res. 16 (2), 289-296.
- **DRACUP J. A., LEE K. S. & PAULSON E. G., (1980)** : On the statistical characteristics of drought events. Water Resour. Res. 16 (2), 289–296.
- **FRICK D. M., BODE D. & SALAS J. D., (1990)** : Effect of drought on urban water supplies. I: drought analysis. J. Hydrological Eng. 116, 733–753.
- **HAYES M. J., (1996)** : Revisiting the SPI: clarifying the process. Drought Network News, A Newsletter of the International Drought Information Center and the National Drought Mitigation Center 12/1 (Winter 1999–Spring 2000); 13-15.
- **HARGREAVES G.H. & SAMANI Z.A. (1985)** : Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture 1985;1(2):96-99.
- **HOLLINGER S.E., ISARD S.A. & WELFORD M.R., (1993)** : A new Soil Moisture Drought Index for predicting crop yields. In: Preprints, Eighth Conf. on applied climatology. Anaheim, CA, Amer Meteor Soc; 187-190.
- **GIBBS W.J. & MAHER J.V., (1967)** : Rainfall Deciles as Drought Indicators. Bureau of Meteorology Bull. 48. Commonwealth of Australia, Melbourne, Australia.
- **GOMMES R. & PETRASSI F., (1994)** : Rainfall Variability and Drought in sub-Saharan Africa since 1960. Agro-meteorology Series Working Paper 9. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- **GUERININI A., (2012)** : Analyse spatio-temporelle par télédétection de la région de Djelfa Evolution de l'occupation du sol-, mémoire de Magister en Sciences Agronomiques, spécialité : Foresterie et Protection de la Nature, option : Foresterie et Conservation de la biodiversité, ENSA El Harrach, Alger, 102p.
- **KADI A., (2009)** : La gestion de l'eau en Algérie. Hydrological Sciences-Journal, ISSN: 0262-6667 (Print) 2150-3435 (Online) Journal home page : <https://www.tandfonline.com/loi/thsj>.
- **KEETCH J. J. & BYRAM G. M., (1968)** : A Drought Index for Forest Fire Control. Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC.
- **KHERBACHE N., (2014)** : La problématique de l'eau en Algérie : Enjeux et contraintes, mémoire de Magister en sciences économiques, Option : économie et géographie, FSECSG, Université de Bedjaia, 220p.
- **LE TREUT & Al., (2007)** : Historical overview of climate change. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Climate change: the physical science basis, Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge/New York.
- **LIU W. T. & Kogan F. N., (1996)** : Monitoring regional drought using the vegetation condition index. Int. J. Remote Sens. 17, 2761–2782.

- **MAOUI A., (2007)** : Evolution et origine du chimisme des eaux de l'aquifère superficiel de Zaâfrane : région de la steppe Sud Algéroise .Etude de la variation spatiale de la salinité et ses risques sur les sols et la végétation, Thèse de Doctorat en sciences en géologie, Option : Hydrogéologie, FST, Université d'Annaba, 257p.
- **MCKEE T. B., DOESKEN N. J. & KLEIST J., (1993)**: The relationship of drought frequency and duration to time scales, Paper presented at 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Anaheim, CA.
- **MCKEE T.B., DOESKEN N. J. & KLEIST J., (1995)**: Drought monitoring with multiple time scales, Paper presented at 9th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Dallas, Texas.
- **MEKKAOUI F., (2018)** : Evaluation de la sécheresse et son impact sur la gestion des ressources en eau dans les agglomérations du bassin versant de l'oued M'Zi (Wilaya de Laghouat).Mémoire de Master En Géographie et Aménagement du Territoire Option : Villes et Dynamiques Spatiales, FSNV, Université de Djelfa, 92p.
- **MEYER J. L. & PULLIAM W. M., (1992)** : Modification of terrestrial-aquatic interactions by a changing climate. In: Firth, P., Fisher, S.G. (Eds.), Global Climate Change and Freshwater Ecosystems. Springer-Verlag, New York, pp. 177–191.
- **MEYER S. J.&HUBBARD K.G., (1995)** : Extending the Crop-specific Drought Index to Soybean. In: Preprints, Ninth Conf. on Applied Climatology. Dallas, TX, Amer Meteor Soc; 258-259.
- **MISHRA A. &SINGH V., (2010)** : A review of drought concepts. Journal of Hydrology; 391: 202-216.
- **MOHAN S. & RANGACHARYA N. C. V., (1991)** : A modified method for drought identification. Hydrological Sci. J. 36 (1), 11–21.
- **NIEMEYER S., (2008)** : New drought indices. Options Méditerranéennes. Série A: Séminaires Méditerranéens; 80:267-274.
- **PALMER W. C., (1968)** : Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new crop moisture index. Weatherwise. 21:156-161.
- **RAHMANI B., (2016)** : Approche hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines dans une zone semi aride. Cas de la nappe mio-plio-quadernaire du synclinal de Djelfa (Algérie centrale), mémoire de Magister en Hydrogéologie, Option : Impact de changement climatique sur les ressources hydriques en Algérie, FSES NV, Université de Tebessa, 84p.
- **ROSSI G., (2000)** : Drought mitigation measures: a comprehensive framework. In: Voght JV, Somma F (eds) Drought and drought mitigation in Europe. Kluwer, Dordrecht.
- **SANTOS M. A., (1983)** : Regional droughts: a stochastic characterization. J. Hydrol. 66, 183–211.
- **SASSOUI A., (2006)** : Etude de la pollution et de l'autoépuration des eaux de oued Mellah (Rejets de la ville de Djelfa), mémoire de Magister en Agronomie pastorale, FSNV, Centre Universitaire de Djelfa, 73p.

- **THORNTHWAITE C. W., (1948)** : An approach toward a rational classification of climate. Geograph Rev. 38:55–94.
- **TRAYSSAC J., (1981)** : Etude géomorphologique du bassin versant de l'oued Djelfa Mellah, versant Nord des Monts de Ouled Nail (Algérie) . Thèse de Doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle. Univ.de Poitiers. Faculté de la science Humaine .308p.
- **TSAKIRIS G., VANGELIS H., (2005)** : Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. European Water; 9/10:3-11.
- **TSAKIRIS G., PANGALOU D., TIGKAS D. & VANGELIS H., (2007a)** : Assessing the areal extent of drought. Water resources management: new approaches and technologies, European water resources association, Chania, Crete-Greece, 14-16.
- **TSAKIRIS G., PANGALOU D. & VANGELIS H., (2007b)** : Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). Water Resour Manag.21 (5):821-833.
- **WILHITE D. & GLANTZ M., (1985)** : Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. Water Int; 10:111-120.
- **WILHITE D.A., (2004)**: Drought as a natural hazard, In International Perspectives on Natural Disasters: Occurrence, Mitigation, and Consequences. Edited by J.P. Stoltman, J. Lidstone, and L.M. Dechano. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, he Netherlands; 147– 162.

### Sites internet:

- [www.blog.beamex.com](http://www.blog.beamex.com)
- ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

### Rapport:

-**(OMM), rapport n°1006, 2006)**

-**Mc Kee et al, 1993 l'indice de précipitations normalisé (SPI).**

-**Monographie de la wilaya de Djelfa (2008, 2020).**