

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI CHLEF  
جامعة حسيبة بن بوعلي - اشلف -



Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques  
Département des sciences biologiques.

*Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister*

**Option : Sciences de l'eau et bioclimatologie**

**Variabilité spatio-temporelle de la sécheresse dans  
le bassin versant de l'Oued Chélif, Algérie**

*Présenté par : Mr. AMRANI Rachid*

*Devant le Jury composé de :*

**Président** : Mr. DOUAOUI A. Maître de conférences (A), C. U. Khemis Miliana.  
**Encadreur** : Mr. ACHITE M. Maître de conférences (A), U. H.B. Chlef.  
**Examineurs** : Mr. SAIDI D. Maître de conférences (A), U. H.B. Chlef.  
Mr. NEDJAI S. Maître de conférences (B), U. H.B. Chlef.  
Mr. BENAICHATA L. Maître assistant (A), U. Ibn Khaldoun, Tiaret.

*Année universitaire 2010 / 2011*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿١٥﴾ يُوسُفُ أَيُّهَا الصِّدِّيقُ أَفْتِنَا فِي سَبْعِ بَقَرَاتٍ  
سِمَانٍ يَأْكُلُهُنَّ سَبْعٌ عِجَافٌ وَسَبْعِ سُوسَاتٍ خُضِرَ  
وَأُخْرَى يَا بَنَاتِ لَعَلِّي أَرْجِعُ إِلَى النَّاسِ لَعَلَّهُمْ يَعْلَمُونَ ﴿١٦﴾ قَالَ  
تَزْرَعُونَ سَبْعَ سِنِينَ دَأَبًا فَمَا حَصَدْتُمْ فَذَرَوْهُ فِي سُنْبُلِهِ إِلَّا  
قَلِيلًا مِمَّا نَأْكُلُونَ ﴿١٧﴾ ثُمَّ يَأْتِي مِنْ بَعْدِ ذَلِكَ سَبْعٌ شِدَادٌ يَا كُنْ  
مَا قَدَّمْتُمْ لَهُنَّ إِلَّا قَلِيلًا مِمَّا تَحْصِنُونَ ﴿١٨﴾ ثُمَّ يَأْتِي مِنْ بَعْدِ ذَلِكَ  
عَامٌ فِيهِ يَغَاثُ النَّاسُ وَفِيهِ يَعْصِرُونَ ﴿١٩﴾

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, « Ahmadou AL-ALLAH » qui m'a donné foi, volonté de continuer mes études de post-graduation et patience pour accomplir ce travail dans de bonnes conditions.

Il m'est agréable de remercier mon encadreur monsieur le Docteur ACHITE M., Maître de conférences à l'université Hassiba Benbouali de Chlef, pour ses précieux conseils et orientations qu'il m'a prodigués tout au long de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à :

- Mr DOUAOUI A., Maître de conférences au centre universitaire de Khemis Milana, d'avoir bien accepté de présider le présent jury.
- Mr SAIDI D., Maître de conférences à l'université H. B. de Chlef pour l'ouverture de cette option de Magister et d'avoir accepté de faire partie de ce jury.
- Mr NEDJAI S., Maître de conférences à l'université H. B. de Chlef, pour son soutien moral et sa participation au jury.
- Mr BENAICHATA M., Maître assistant à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret d'avoir accepté de juger ce travail.

Je tiens aussi à remercier aussi tous les enseignants, de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'université de Chlef, qui ont participé à ma formation, entre autres Messieurs ZEMMOURI A., DOUAOUI A., SAIDI D., NEDJAI S., M'HAMMEDI BENZINA M., AMRI H. et CHERFAOUI H.

Je tiens aussi à remercier vivement Mr. HUSSINE A. et Mr. HOUARI A. Chargés de cours à l'université de Chlef, pour leurs encouragements et leur contribution à la correction de ce document.

Mes remerciements s'adressent aussi à :

- Mes collègues de travail, particulièrement Mr : BOUGARE M. Dr Vétérinaire à la subdivision agricole de Djendel,
- Mes collègues de la promotion 2006/2009 : RATA M., BELOUAZNI A., BACHA B., BALLAG DJ., MASTFAOUI H. et HADDIDI DJ. pour leur collaboration, encouragement ainsi que l'ambiance inoubliable.

Je remercie aussi toutes les personnes qui ont contribué de près où de loin à la réalisation de ce mémoire. Je pense notamment à Messieurs : MEROUCHE A., BOUCIFIANE A., MEBARKI K. ainsi que MOKHTARI D. et ELMEDDAHI Y. Le personnel de l'ANRH, de l'A.B.H. et de l'ONM trouvent ici toute ma gratitude pour m'avoir permis l'accès aux données, notamment messieurs : RAHMOUNI M., MOUMNA A. et HELAIMI L.

## Résumé

Le bassin du Chéouiff est caractérisé par des sécheresses fréquentes et irrégulières. Ces aléas climatiques nous imposent de faire de plus en plus d'analyses, principalement de types spatio-temporels permettant de connaître leur historique et délimiter les zones les plus sensibles. Afin d'atteindre cet objectif, nous avons analysé le régime pluviométrique annuel et nous avons procédé à l'identification, l'évolution et la caractérisation des périodes humides et sèches.

L'étude s'est portée sur 36 séries chronologiques de la pluviométrie, elle correspond chacune à un sous bassin. Elle a été effectuée à l'aide de tests statistiques non paramétriques. Les résultats obtenus montrent qu'il y a des ruptures de stationnarité dans leur majorité. Ces ruptures sont évaluées par la méthode de Sen (1968) dont les réductions pluviométriques varient entre 1,3 % et 2,3 % par année.

L'analyse et la caractérisation des événements humides et secs ont été faites par l'indice standardisé de précipitation (SPI-12) proposé par Mckee (1993). Dans ce type de conditions anormales, les résultats obtenus nous ont permis de conclure que les séquences sèches les plus dominantes sont celles d'une année isolée sèche (soit 70% du total de fréquences) et que les 93% de la surface totale du bassin a connu une intensité moyenne qui oscille entre 1 et 2° S/an.

La sécheresse à travers le Chéouiff est un phénomène récurrent à risque qui nécessite la mise en observation continue pour une alerte précoce et d'établir les plans d'intervention en cas de pénurie d'eau.

### **Mots clés:**

Bassin versant du Chéouiff ; Indice standardisé de précipitation ;  
Sécheresse ; Pluviométrie.

## ملخص

إن تعرض حوض الشلف بصفة متكررة وغير منتظمة لجفاف. تحتم علينا من وقت إلى آخر دراسات تحليلية لهذه الظاهرة المناخية خاصة منها الزمنية و المكانية لمعرفة تواريخها المؤثرة وتحديد الأماكن المعرضة بشدة لها. من اجل بلوغ هذا الهدف، يعتبر هذا العمل مساهمة في دراسة نظام الأمطار إلى جانب تحديد، تطور و تخصيص الفترات الرطبة و الجافة.

إن دراسة الأمطار السنوية بواسطة 36 محطة لقياس المغيائية المتواجدة داخل محل عدد مكافئ من الأقسام الحوض، بواسطة التشخيص النظام المطري و تحديد السنة الفاصلة لهذا انقطاع الزمني إن وجدت، عن طريق الفحص الإحصاء الغير المعياري، التي بينت أن هناك إنقطاعات في انتظام المغيائية عبر أغلبية السلاسل المغيائية المدروسة وأظهرت طريقة SEN انخفاض في مستوى مطري يتراوح ما بين 1.3 % و 2.3 % سنويا.

الدراسة التحليلية للجفاف وخواصه عن طريق مؤشر الهوا ظل المعياري سلم 12 شهرا (SPI-12) المقترح من طرف MCKEE (1993) و الخاص بهذا النوع من الظروف الغير العادية، بينت بصفة عامة إن الجفاف ذوا الفترة السنة الواحدة هو الأكثر انتشارا بنسبة 70% و بينت أن 93% من المساحة الإجمالية تتواجد تحت جفاف ذو شدة متوسط متذبذبة ما بين 1 و 2 (S / ° سنويا).

الجفاف في حوض الشلف يعتبر ظاهرة مناخية طبيعية متكررة وذوا عواقب خطيرة تستلزم علينا وضعه تحت الملاحظة المستمرة لتحذير المبكر له وجعل المخططات التدخل الضرورية حين شح مصادر المياه.

### كلمات مفتاح :

حوض الشلف ، الجفاف ، المغيائية ، مؤشر الهوا ظل المعياري

## Abstract

The Cheliff basin confronted frequent and irregular drought. We are obliged from time to time to deal with analytic analysis to such climatic phenomenon especially spatial-temporal type to know its influence dates and to delimit the most significant zones to reach this aim and this analysis is considered as a contribution in the study of rain system, identification and specialization in wet and dry periods.

The study of annual rainfall for 36 stations correspond each one under basin and carried out to the assistances of nonparametric statistical tests show that there are ruptures of chronological stationary in their majority. These ruptures are evaluated by the SEN method (1968) whose rainfalls reductions vary between 1,3 % to 2,3 % per year.

Analysis and characterization of wet and dry events, by the tool of the standardized of precipitation index (Spi-12) proposed by MCKEE (1993 - 1995) with this type of abnormal conditions, reveals in general that dry sequences most dominant are those in one isolated dry year (70% of the total of frequencies) and that 93% of the total surface of the basin, which knew an intensity of average dryness, oscillate between 1 and 2 ° Dry / year.

Drought through Cheliff is a natural recurring phenomenon at the risk which requires the setting in continued observations for early alarm and to make the plans of interventions in the event of shortage of water.

### **Key words:**

Cheliff basin river ; standardized of Precipitation Index ; drought; rainfalls.

## Liste des annexes

- Annexe 1** : Définitions et rappels sur les méthodes statistiques utilisées.
- Annexe 2** : Les démarches à suivre décrites par Edwards et McKee pour le calcul du SPI.
- Annexe 3** : Les stations pluviométriques choisies, pour chaque sous bassin du Chéouiff, leurs coordonnées topographiques et les distances correspondantes par rapport à la mer.
- Annexe 4** : Les paramètres de la régression linéaire multiple de chaque année.
- Annexe 5** : Les séries chronologiques de la pluviométrie annuelle estimée par la régression multiple pour les sous bassins SB3, SB4 et SB6.
- Annexe 6** : Les paramètres statistiques des postes pluviométriques choisis.
- Annexe 7** : L'ajustement de la pluviométrie annuelle à la loi gamma incomplète par le test de Kolmogorov-Smirnov pour les postes choisis.
- Annexe 8** : Les valeurs de la probabilité gamma incomplète de la pluviométrie annuelle, des postes choisis durant la période du 1968/69 au 2004/05.
- Annexe 9** : Les valeurs du SPI-12 déterminées par année et par sous bassin.
- Annexe 10** : Les classes qualificatives du SPI-12 pour chaque sous bassin.
- Annexe 11** : Les durées des années sèches (année) par sous bassin durant la période 1968/2005.
- Annexe 12** : Les fréquences sèches par sous bassin durant la période 1968/2005.
- Annexe 13** : Les intensités de sécheresses par sous bassin durant la période 1968/2005.
- Annexe 14** : L'intensité théorique due à la corrélation entre la durée sèche globale et l'intensité globale.
- Annexe 15** : La carte du bassin versant de Chéouiff et leurs Sous Bassins

## Liste des figures

	<b>Page</b>
<b>Figure 1</b> : Schémas modifié des différents types de sécheresse et de leurs impacts.....	06
<b>Figure 2</b> : Les ramifications des indices de la sécheresse les plus fréquentes dans le monde en fonction leurs approches de calculs.....	10
<b>Figure 3</b> : Carte des bassins versants et la situation géographique de la zone d'étude .....	33
<b>Figure 4</b> : Évolution de la pluviométrie annuelle moyenne (mm), pour les régions du Chélif, durant la période 1995/2005.....	36
<b>Figure 5</b> : Évolution de la température annuelle moyenne (°C), dans les régions du Chélif, durant la période 1995/2008.....	36
<b>Figure 6</b> : Histogramme de la moyenne de l'humidité relative moyenne annuelle au niveau trois stations météorologiques du bassin Chélif.....	37
<b>Figure 7</b> : Distribution de la probabilité normale pour le SPI de la moyenne égale à zéro et l'écart type égale à un .....	46
<b>Figure 8</b> : Exemple transformation de la distribution gamma à la distribution normale.....	46
<b>Figure 9</b> : Formes décroissantes des tendances pluviométriques durant la période du 1968/69 au 2004/2005.....	55
<b>Figure 10</b> : Évolution de l'indice SPI-12 durant la période d'étude de chaque sous bassin du Chélif.....	59
<b>Figure 11</b> : Histogramme des classes humides du SPI-12 pour chaque sous bassin durant la période d'étude.....	62
<b>Figure 12</b> : Histogramme des classes sèches du SPI-12 pour chaque sous bassin durant la période d'étude.....	62
<b>Figure 13</b> : Histogramme de la somme des classes humides et sèches du SPI-12 pour chaque sous bassin durant la période d'étude.....	63
<b>Figure 14</b> : Répartition géographique des classes SPI-12 de chaque sous bassin et pour chaque année de la période d'étude dans le bassin versant Chélif.....	65
<b>Figure 15</b> : La représentation cartographique des décennies de sécheresses les plus élevées par sous bassin (SB) durant la période d'étude dans le Chélif.....	69
<b>Figure 16</b> : Histogramme de comparaison entre la durée sèche totale et maximale par sous bassin dans le bassin Chélif pendant 1968/2005.....	72
<b>Figure 17</b> : La répartition des fréquences (%) en fonction de la durée sèche maximale pour l'ensemble du BV Chélif durant la période 1968/2005.....	72
<b>Figure 18</b> : La corrélation entre les écarts de la pluviométrie étudiée par rapport à ses médianes et les valeurs de la magnitude .....	74
<b>Figure 19</b> : Histogramme de l'intensité globale, de la durée maximale et d'une année sèche maximale pour l'ensemble du BV Chélif durant la période 1968/2005.....	75
<b>Figure 20</b> : La variation de l'intensité théorique et leurs bornes maximales et minimales pour chaque sous bassin.....	76
<b>Figure 21</b> : Histogramme de la Durée globale, la Fréquence et l'Intensité par sous bassin.....	77
<b>Figure 22</b> : La droite de corrélation entre la magnitude et la durée globale pendant 1968/2005.....	77
<b>Figure 23</b> : La répartition de la superficie touchée par gamme de l'intensité moyenne de la persistance totale de la sécheresse dans le bassin Chélif pendant 1968/2005.....	78
<b>Figure 24</b> : Représentation cartographique de l'intensité annuelle moyenne par gamme .....	79



## Liste des tableaux

	<b>Page</b>
<b>Tableau 1</b> : Les seuils des classes pour quelques indicateurs de sécheresses et leurs désignations.	20
<b>Tableau 2</b> : Les avantages et les inconvénients des indices d’approches traditionnelles, d’origine des tests statistiques avec une donnée météorologique et leurs échelles .....	21
<b>Tableau 3</b> : Les avantages et les inconvénients, des indices d’approches satellitaires et leurs échelles.....	22
<b>Tableau 4</b> : Les avantages et les inconvénients des indices d’approches combinées et leurs échelles .....	23
<b>Tableau 5</b> : La Pluviométrie annuelle moyenne (mm) pour les régions du Chélif durant 1995/2005.....	35
<b>Tableau 6</b> : La Température moyenne annuelle pour les régions du Chélif durant 1995/2008....	37
<b>Tableau 7</b> : Les ressources en eau mobilisées et mobilisables annuelles moyennes dans le Cheliff..	38
<b>Tableau 8</b> : Les barrages de régularisations des eaux superficielles du bassin Chélif.....	39
<b>Tableau 9</b> : Les Stations choisies pour l’analyse de la sécheresse et les taux des lacunes.....	42
<b>Tableau 10</b> : L’interprétation du SPI par rapport à leur valeur et leur probabilité au non dépassement selon Mc Kee et al. (1993).....	47
<b>Tableau 11</b> : La différence en % de moyenne avant et après rupture par rapport à la moyenne pendant la période d études et pour chaque sous bassin .....	50
<b>Tableau 12</b> : Les années de ruptures par sous bassin pour deux tests.....	51
<b>Tableau 13</b> : Résultats des tests de tendance de la pluviométrie annuelle et le taux de changement selon la méthode de SEN (en % / an).....	53
<b>Tableau 14</b> : Résultats globaux des classes du SPI-12 par année et par sous bassin.....	68

## Table des matières

Page

Résumé

Liste des annexes

Liste des figures

Liste des tables

Introduction générale..... 01

### Chapitre 1 : Aperçu bibliographique.

1. Définitions et concepts de la sécheresse.....	03
2. Les différents types de sécheresses.....	05
3. Relations entre les différents types de sécheresse.....	07
4. Les impacts et les risques de la sécheresse .....	07
4.1. Impacts sociaux.....	07
4.2. Impacts économiques.....	08
4.3. Impacts environnementaux.....	08
5. La caractérisation de la sécheresse.....	09
6. L'évaluation de la sécheresse.....	09
7. Les indices et les indicateurs de la sécheresse les plus couramment utilisés.....	11
7.1. Définitions.....	11
7.1.1. Définitions d'indices des approches traditionnelles.....	11
* Les indices d'origines des tests statistiques avec une donnée météorologique.....	11
* Les indicateurs météorologiques et hydrologiques.....	11
7.1.2. Définitions d'indices des approches satellitaires.....	12
* Les indices de végétations.....	12
* Température de surface.....	12
7.1.3. Définitions d'indices des approches combinées.....	13
7.2. Les formules et leurs paramètres.....	14
7.2.1. Les formules d'indice des approches traditionnelles.....	14
* Les indices d'origine des tests statistiques avec une donnée météorologique.....	14
* Indicateurs météorologiques et hydrologiques.....	14
7.2.2. Les formules d'indices des approches satellitaires.....	16
* Les indices de végétation.....	16
* Température de surface.....	17
7.2.3. Les formules d'indices des approches combinées.....	18
7.3. Les seuils des classes pour quelques indicateurs de sécheresses.....	20
7.4. Les avantages et les inconvénients de ces indices et leurs échelles.....	21

<b>8.</b>	<b>Gestion de la sécheresse.....</b>	<b>23</b>
<b>9.</b>	<b>Déclaration de sécheresse et l’alerte.....</b>	<b>24</b>
<b>10.</b>	<b>La mise en place d'un système d’alerte précoce de la sécheresse en Algérie.....</b>	<b>24</b>
<b>11.</b>	<b>Les mesures conjoncturelles pour faire face aux risques de la sécheresse.....</b>	<b>25</b>
<b>12.</b>	<b>Les mesures prises par l’Algérie contre ce phénomène de sécheresse.....</b>	<b>25</b>
<b>13.</b>	<b>Quelques exemples de travaux réalisés dans le monde et en l’Algérie sur la problématique de la sécheresse.....</b>	<b>26</b>
<b>13.1.</b>	<b>Dans le Monde</b>	
<b>13.1.1.</b>	<b>Au Mexique.....</b>	<b>26</b>
<b>13.1.2.</b>	<b>En Inde .....</b>	<b>27</b>
<b>13.1.3</b>	<b>En Sri lanka.....</b>	<b>27</b>
<b>13.1.3.</b>	<b>En Caraïbe .....</b>	<b>28</b>
<b>13.1.4.</b>	<b>En Turquie.....</b>	<b>28</b>
<b>13.1.5.</b>	<b>En Espagne .....</b>	<b>28</b>
<b>13.1.6.</b>	<b>En Tunisie .....</b>	<b>29</b>
<b>13.1.7.</b>	<b>Au Maroc.....</b>	<b>30</b>
<b>13.2.</b>	<b>En l’Algérie.....</b>	<b>30</b>

## **Chapitre 2 : Présentation du milieu physique**

<b>1.</b>	<b>Situation géographique.....</b>	<b>33</b>
<b>2.</b>	<b>Populations et Démographie.....</b>	<b>33</b>
<b>3.</b>	<b>Relief.....</b>	<b>33</b>
<b>4.</b>	<b>Géologie.....</b>	<b>34</b>
<b>5.</b>	<b>Climat.....</b>	<b>34</b>
<b>5.1.</b>	<b>Pluviométrie.....</b>	<b>35</b>
<b>5.2.</b>	<b>Température.....</b>	<b>35</b>
<b>5.3.</b>	<b>Humidité relative.....</b>	<b>37</b>
<b>5.4.</b>	<b>Insolation moyenne annuelle.....</b>	<b>37</b>
<b>6.</b>	<b>l’Agriculture irriguée.....</b>	<b>38</b>
<b>7.</b>	<b>Les ressources en eau.....</b>	<b>38</b>
<b>8.</b>	<b>L’Alimentation en eau potable à travers le Cheliff.....</b>	<b>39</b>

## **Chapitre 3 : Méthodologie de l’analyse**

<b>1.</b>	<b>Analyse des données pluviométriques.....</b>	<b>40</b>
<b>1.1.</b>	<b>Choix des stations pluviométriques à étudiées.....</b>	<b>41</b>
<b>1.2.</b>	<b>Méthodes de comblement de lacune.....</b>	<b>42</b>
<b>1.3.</b>	<b>Méthode de détection de rupture dans la série chronologique.....</b>	<b>43</b>
<b>1.4.</b>	<b>Analyse de la tendance des séries chronologiques.....</b>	<b>43</b>

1.5.	Méthodes d'estimation du taux de changement du régime pluviométrique.....	44
1.5.1.	Méthode de Sen.....	44
1.5.2.	La méthode de pourcentage de changement de moyenne.....	44
2.	<b>Analyse spatio-temporelle des épisodes secs et humides par SPI-12.....</b>	<b>45</b>
2.1.	Identification des périodes sèches et humides par SPI-12.....	45
2.1.1.	Définition l'indice standardisée de précipitation.....	45
2.1.2.	Méthodes de calculs .....	45
2.1.3.	Démarche de détermination du SPI-12.....	45
2.1.4.	Interprétation du SPI.....	47
2.1.5.	Les avantages de la méthode.....	47
2.1.6.	Les facteurs limitatifs associés à la méthode.....	48
2.2.	Détermination des caractéristiques des séquences sèches.....	48
2.2.1.	Début de la sécheresse .....	48
2.2.2.	Durée .....	48
2.2.3.	Sévérité.....	48
2.2.4.	Magnitude.....	48
2.2.5.	Intensité.....	48

## Chapitre 4 : Résultats et Discussions

1.	<b>Étude de la pluviométrie.....</b>	<b>49</b>
1.1	Régime de la pluviométrie annuelle de chaque sous bassin du Chéouiff pendant la période du 1968/1969 au 2004/2005.....	49
1.2.	Détection des ruptures dans les séries chronologiques étudiées.....	49
1.3.	Quantification du changement des régimes pluviométriques.....	52
1.3.1.	Calcul de la différence de changement des moyennes pluviométriques annuelles avant et après la rupture.....	52
1.3.2.	Calcul le pourcentage de réduction pluviométrique annuelle par la M <sup>de</sup> de SEN.....	53
1.4.	Tests de tendances de la pluviométrie.....	54
2.	<b>Étude des périodes sèches et humides.....</b>	<b>57</b>
2.1.	Ajustement de la pluviométrie étudié à la loi gamma incomplète.....	57
2.2.	Détermination du SPI-12 de chaque sous bassin (SB) pendant la période d'étude...	57
2.3.	Le début et les évolutions de la sécheresse sur l'ensemble du Chéouiff.....	57
2.4.	Les périodes humides.....	58
2.5.	Les périodes sèches.....	61
3.6.	Les périodes humides et sèches.....	61
2.7.	La répartition temporelles et spatiale des périodes humides et sèches.....	63
2.7.1.	Les années représentant l'absence de la sécheresse sur la totalité du BV.....	63
2.7.2	Les années représentant la rareté de la sécheresse, seulement dans quelques SB, sur la totalité du BV.....	63
2.7.3.	Les années de la sécheresse est persistante sur la totalité du BV.....	64

<b>2.8.</b>	Représentation cartographique de la sécheresse par décennie du Chéouiff.....	<b>69</b>
<b>3.</b>	<b>Caractérisation de la sécheresse.....</b>	<b>71</b>
<b>3.1</b>	La Durée .....	<b>71</b>
<b>3.2.</b>	La Fréquence (%). .....	<b>73</b>
<b>3.3.</b>	L'Intensité.....	<b>73</b>
<b>3.4.</b>	La Durée, la Fréquence et l'Intensité.....	<b>76</b>
<b>3.5.</b>	Impact de l'intensité de la sécheresse en fonction de la superficie touchée du bassin Chéouiff durant la période 1968/2005.....	<b>78</b>
	<b>Conclusion générale.....</b>	<b>80</b>
	<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>82</b>
	<b>Référence des sites Web.</b>	
	<b>Annexes</b>	
	<b>Abréviations</b>	
	<b>Glossaire</b>	

## INTRODUCTION GENERALE

La sécheresse est un phénomène naturel, à caractère régional, elle touche le monde entier. Ses caractéristiques varient d'un régime climatique à un autre, car elle se produit aussi bien dans des zones à fortes précipitations que dans celles à faibles précipitations.

Une sécheresse ne peut être perçue comme telle si le déficit ne se maintient pas pendant une certaine durée et si le phénomène ne couvre pas une étendue considérable (Beran et Rodier, 1987).

La sécheresse constitue un événement climatique extrême, souvent qualifié d'aléa naturel (Wilhite, 2003). Il est souvent difficile de savoir quand elle commence. Il n'est pas facile, non plus, d'établir quand elle se termine. Elle s'aggrave d'un pays à un autre selon leurs potentialités naturelles et leur niveau de développement. Elle s'accroît dans le temps et dans l'espace; plus la sécheresse persiste plus les ressources en eau diminuent et leur alimentation devient très lourde.

La sécheresse affecte de nombreuses régions, comme ça été le cas dans l'Afrique où la grande sécheresse a touché 16 pays entre 1968 et 1973 (les îles du Cap Vert, le Sénégal Gambie, le Mali, la Mauritanie, le Burkina-Faso, le Tchad, le Niger, le Bénin, le Nigeria, la République centrafricaine, la Libye, le Soudan, la Somalie, Djibouti et l'Éthiopie). Un pareil cas a été observé aussi chez 14 autres nations d'Afrique centrale et méridionale entre 1980 et 1984 provoquant une famine mortelle chez les êtres humains et les animaux ([http:// la climatologie.free.fr](http://la.climatologie.free.fr)).

Quelque soit la forme sous laquelle elle se manifeste, la sécheresse exerce un effet défavorable sur l'économie en réduisant ou même en arrêtant complètement les productions de l'agriculture, de l'élevage, de l'énergie hydro-électrique et la fourniture de l'eau pour l'industrie et l'usage domestique (Beran et Rodier, 1987).

Les pays du Maghreb ont enregistré les sécheresses les plus critiques dans leurs histoires au cours de ces dernières décennies avec toutes les conséquences néfastes connues telles la réduction des allocations en eau potable, agricoles et industrielles (ISESCO, 2008). L'Algérie, en particulier, a connu d'importantes et fréquentes sécheresses frappant de vastes étendues dans les zones intérieures et celles de l'ouest. Le climat semi aride caractérisant ces régions font que les ressources renouvelables en eau superficielle sont très irrégulières car elles sont situées dans des bassins hydrographiques où l'écoulement de l'eau est entièrement lié à la distribution spatio-temporelle des pluies (Achite et Touabia, 2007).

Dés lors, il s'avère important de se doter d'équipements et de moyens scientifiques afin de détecter et d'étudier les conditions de sécheresse, plus particulièrement dans certains bassins versants des zones semi-arides. Ceci nous permet d'analyser et de caractériser les différents épisodes de la sécheresse observée par des stations météorologiques réparties sur plusieurs points du pays et/ou des stations de captages satellitaires, pour l'alerte précoce, la gestion de crise et la gestion quantitative des ressources en eau.

Dans le souci d'analyser la variabilité spatio-temporel de la sécheresse en Algérie, le bassin du Cheliff a été pris comme exemple d'application dans le présent travail vu que ce dernier en est exposé depuis des décennies malgré ses grandes potentialités. L'outil utilisé dans cette analyse est l'indice standardisé des précipitations (Standard Precipitation Index (SPI)) au pas du temps annuel. Cet indice, établi par Mckee et al. (1993), est opérationnel depuis 1994 aux États-Unis d'Amérique, au niveau du Centre National de Lutte contre la Sécheresse. Il a pour but de suivre les conditions de sécheresses ainsi que les changements climatiques dans ce pays et dans le monde (NDMC, 2005).

L'étude ainsi menée est basée sur les données pluviométriques mensuelles de la période s'étalant de 1968/1969 à 2004/2005, recueillies au niveau de 36 postes pluviométriques affecté chacun à un de 36 sous bassins versants constituant le bassin versant du Chélif.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres :

1. Un premier chapitre constituant un aperçu bibliographique où figurent les différentes définitions de sécheresse ainsi qu'une synthèse des nombreux travaux réalisés sur les méthodes d'analyse de la sécheresse ;
2. Un deuxième décrivant les conditions naturelles de la zone d'étude ;
3. Un troisième chapitre détaillant les méthodes d'analyse de la pluviométrie adoptées et la démarche de calcul du SPI-12 en vu de déterminer l'évolution chronologique et spatiale des épisodes secs et humides ;
4. Enfin un dernier chapitre regroupant les principaux résultats obtenus ainsi qu'une interprétation assez étalée.

# ***Chapitre I :*** ***Aperçu bibliographique***



## Chapitre 1 : Aperçu bibliographique.

### 1. Définitions et concepts de la sécheresse.

La sécheresse n'a pas de définition universelle (OSS, 2009). La sécheresse se distingue des autres phénomènes naturels par l'absence d'une définition précise et incontestée (OMM, 2006). Des centaines de définitions de la sécheresse ajoutent à la confusion lorsqu'il s'agit de savoir si l'on a vraiment affaire à un épisode de sécheresse et de déterminer son degré d'intensité, car la sécheresse n'a pas toujours la même signification pour un responsable de la gestion des ressources en eau, un exploitant agricole, un opérateur de centrale hydroélectrique et un biologiste spécialiste de la faune et de la flore sauvage. Wilhite et Glantz (1985) ont évalué à plus de 150 le nombre de définitions publiées (OSS, 2009). A titre d'exemples nous citons quelques définitions suivantes:

- La sécheresse peut être définie comme étant une période prolongée de précipitations insuffisantes, normalement une ou plusieurs saisons, voire années, qui causent un déficit d'eau dans certains secteurs de l'économie d'un pays. Cette sécheresse doit être considérée par rapport à certaines conditions moyennes à long terme du bilan final des précipitations et de l'évapotranspiration dans une région particulière, l'échelle temporelle et l'efficacité des précipitations (OSS, 2009).

- La sécheresse est une absence prolongée ou une insuffisance marquée des précipitations, une insuffisance des précipitations entraînant une pénurie d'eau pour certaines activités ou certains groupes ou une période de temps anormalement sec suffisamment longue pour que le manque de précipitations cause un déséquilibre hydrologique sérieux (GIEC, 2007).

- La sécheresse est une caractéristique récurrente du climat qui se traduit par des pénuries temporaires d'eau par rapport à l'approvisionnement normal, sur une longue période de temps (une saison, une année, ou plusieurs années). Ce terme est relatif, car les sécheresses diffèrent en étendue, durée, et intensité (Amezine et al., 2007).

- La sécheresse est plutôt ressentie comme un épisode, classée par les climatologues dans la catégorie des événements extrêmes. Elle se définira alors par l'intensité de sa déviation par rapport aux valeurs moyennes ou normales de pluviométrie, avec des éléments quantitatifs sur sa durée, sa période d'occurrence et son extension géographique. Toutefois, lorsque ce déficit est systématique, on parle d'aridité (Jean pierre, 2006).

- La sécheresse est un phénomène naturel dû à un déficit des précipitations, qui fait que les quantités d'eau sont insuffisantes pour certaines activités ou certains groupes. L'absence de précipitations pendant une période prolongée, généralement une saison ou plus peut aggraver. Du point de vue hydrologique, l'insuffisance prolongée des précipitations entraîne une diminution correspondante du débit des cours d'eau des zones arides, du ruissellement des eaux et de l'humidité du sol (UNCCD, 2000).

- Les sécheresses est un phénomène de réduction temporaire de l'eau ou de l'humidité disponible, durant une période spécifique, de façon significative en dessous de la quantité normale ou attendue (norme) pour une période donnée temporaire, et peut se produire dans une vaste région géographique, et sont par conséquent des caractéristiques normales du climat et du système météorologique de tous les pays, y compris de ceux qui sont considérés généralement comme «humides» ou «froids» (Borton et Nicholds, 1994).

**NB** : Les implications essentielles d'une telle définition sont :

1. La réduction est temporaire.
2. Cette réduction est significative.
3. Elle est définie par rapport à une «norme»: la quantité normalement attendue.
4. La période considérée pour l'établissement de cette norme est spécifiée.

La manière dont la «norme» est définie est d'une importance cruciale. Les implications 3 et 4 demandent une clarification complémentaire. La «norme» peut être définie:

- soit de façon technique: une réduction de l'eau disponible justifie le terme «sécheresse» quand elle tombe en dessous de 80% de la quantité disponible durant les 25 années précédentes. Cependant, cette période choisie comme base pour l'estimation d'une moyenne peut être trompeuse.
- soit en termes culturels: comme fonction de la quantité d'eau disponible qu'une société s'est habituée à attendre. Il en résulte qu'après dix ans de pluies au dessus de la moyenne, une société a pris l'habitude d'une situation plus humide; elle percevra la première année de pluies normales comme une année de sécheresse.

## 2. Les différents types de sécheresses.

Selon le « National Drought Mitigation Center » des États-Unis (NDMC, 2008), deux types de définition des sécheresses existent. Le premier type, dit conceptuel, aide à mieux saisir la notion de la sécheresse. Le second type, dit opérationnel, sert à mieux cerner le début, la fin et la sévérité des sécheresses. Selon les définitions opérationnelles, il existe quatre grands types de sécheresse: les sécheresses météorologiques, hydrologiques, agricoles ou édaphique et socioéconomiques (fig. 01).

Les deux premiers de ces quatre types de sécheresses opérationnelles décrivent des événements physiques, alors que le troisième type décrit l'effet des deux premiers sur la production agricole. Aussi lorsqu'il s'agit des sécheresses météorologiques et agricoles, tout particulièrement, ces deux types sont considérés fréquemment, et à tort, comme synonymes.

En **agriculture**, la sécheresse est définie comme un déficit marqué et permanent de la pluie qui affecte les productions agricoles estimées d'après des valeurs moyennes ou attendues.

D'un point de vue **météorologique**, la sécheresse est une absence prolongée, un déficit significatif, voire une faible distribution des précipitations, en relation avec une valeur dite normale.

En **hydrologie**, on parle de sécheresse dès lors qu'à l'échelle régionale la hauteur des pluies est inférieure à la moyenne saisonnière, ce qui se traduit par un approvisionnement insuffisant des cours d'eau et des réserves d'eau superficielles ou souterraines.

Les **socio économistes**, quant à eux, parlent de sécheresse quand les pluies sont insuffisantes et ont des effets catastrophiques sur les populations et sur l'économie du pays.

**NB** : Il y a encore des définitions et des types de sécheresses similaires selon les auteurs suivants :

- Brochet P. (1977) cite deux types de sécheresses similaires à la météorologique ;
  - la **sécheresse pluviométrique** caractérisée numériquement par le "rapport pluviométrique",
  - la **sécheresse climatique** qui dépend du "bilan hydrique potentiel",
- Tate et Gustar (2000) décrivent plus de deux autres types de définition des sécheresses basées sur les eaux souterraines (**sécheresse de type phréatique**) et la gestion des opérations.
- Karrou M. (2006) donne une définition similaire à celle de la sécheresse agricole, la **sécheresse dite forestière**. Elle se réfère aux situations où l'humidité du sol et les réserves en eau deviennent insuffisantes pour satisfaire les besoins des arbres, des plantes herbacées et de la faune forestière.
- DGF (2006) propose une autre approche de la sécheresse **agro-pastoraliste**, et met le prix des moutons comme indicateur d'une année sèche.

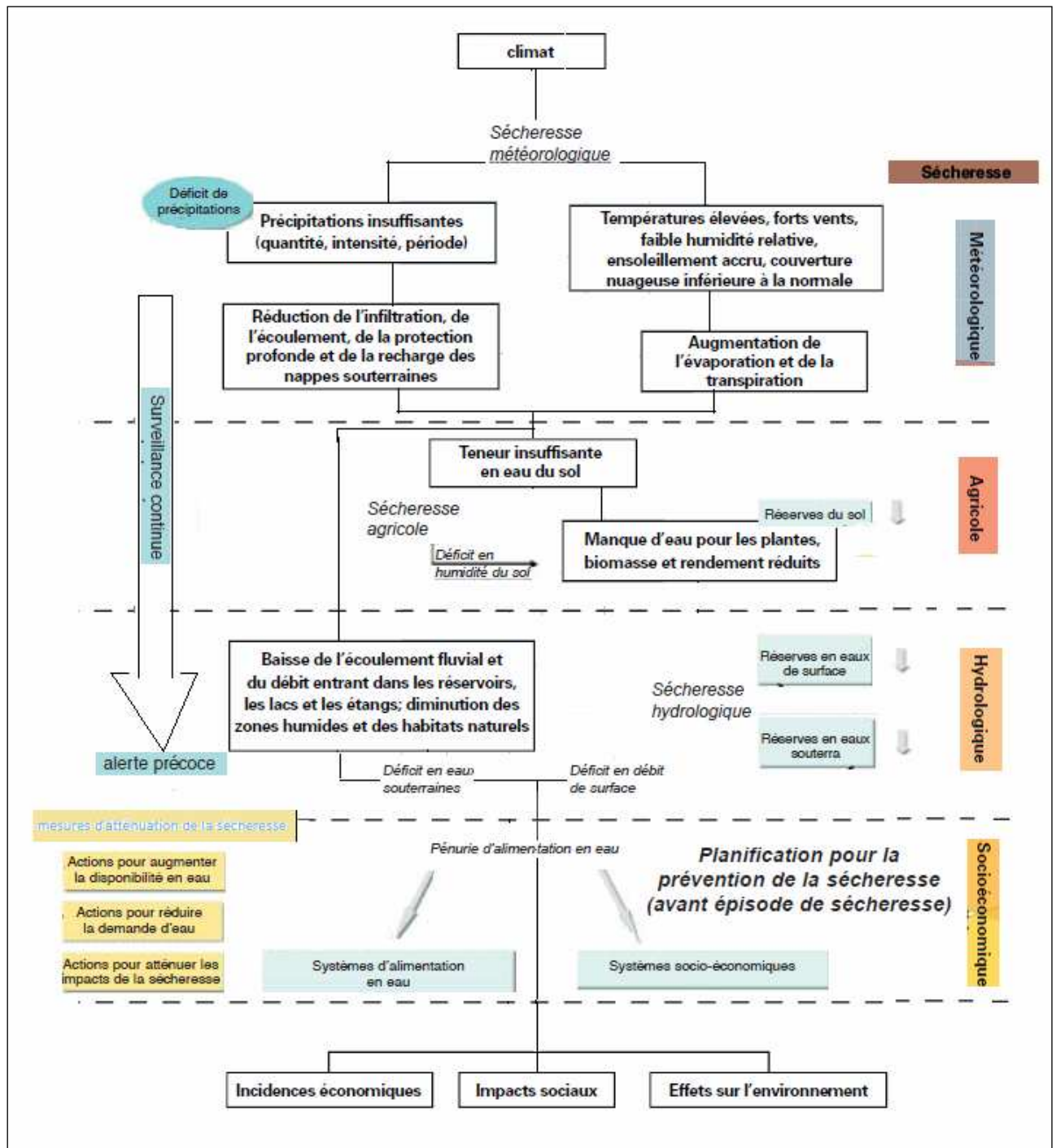


Figure 01 : Schémas modifié météorologique des différents types de la sécheresse et de leurs impacts (Source : Wilhite, 2003).

### **3. Relations entre les différents types de sécheresse.**

Ces différents types de sécheresse sont évidemment intimement liés (fig. 01). Pour autant leurs relations sont complexes. Tout d'abord, les sécheresses agricoles, hydrologiques ou socio-économiques se manifestent dans un deuxième temps par rapport aux sécheresses météorologiques.

Lorsqu'il y a un déficit pluviométrique (sécheresse météorologique), la sécheresse agricole est la première à être sentie. Si la déficience des pluies persiste sur plusieurs mois, c'est le débit des cours d'eau, le niveau des lacs, voire celui des nappes d'eau souterraines qui est touché ; c'est la sécheresse hydrologique. Et si la sécheresse se maintient encore, les différents types de sécheresses se conjuguent et les effets de la sécheresse socio-économique se font alors sentir. Ces effets continuent d'augmenter avec le temps dans la mesure où la sécheresse participe aussi à l'augmentation de la demande en eau, dont l'offre est justement contrainte par cette même sécheresse. Quand les précipitations retournent à la normale, les réserves de l'eau du sol sont les premières à être restituées, suivies par le remplissage des cours d'eau, des réservoirs et des nappes phréatiques. Les utilisateurs des eaux des nappes sont souvent les derniers à être affectés par la sécheresse et sont aussi les derniers à connaître le retour des niveaux normaux des eaux. Ainsi, il paraît évident que les différentes sécheresses interagissent les unes avec les autres, et que dans cette interaction, le facteur temps est déterminant (NDMC, in Rapport OSS 2009).

### **4. Les impacts et les risques de la sécheresse.**

Selon les définitions des désastres mets par la FAO (in UNCCD, 2000), cet organisme considère la sécheresse comme une catastrophe naturelle, pour ça part l'OMM (2006) elle considère, la sécheresse en elle-même n'est pas une catastrophe. Elle peut le devenir pendant une période prolongée en raison de son incidence dans les secteurs sensibles aux conditions climatiques et hydrologiques en relation directe avec les activités des populations locales, l'économie du pays, l'environnement de l'endroit affectée, les capacités de s'adapter au phénomène et de s'en relever (les capacités opérationnelles, notamment dans les domaines de la surveillance du climat et de l'approvisionnement en eau). C'est alors le suivi et son annonce précoce sont des aspects essentiels de la gestion en cas des risques relatifs aux impacts néfastes les plus fréquents provenant de l'incidence de cette sécheresse.

Les principaux impacts peuvent être classifiés à grands traits en trois catégories : économiques, environnementaux et sociaux (fig. 1).

#### 4.1. Impacts sociaux.

- Dommages à la santé et la sécurité publiques, affectant la qualité de l'air et de l'eau ou par augmentation des incendies.
- Accroissement des inégalités sociales, affectant différents groupes socio-économiques  
Tensions parmi les administrations publiques et les groupes affectés.
- Changements des perspectives politiques.
- Désagréments dus au rationnement d'eau.
- Impacts sur le mode de vie (chômage, moindre capacité d'épargne, difficultés des soins personnels, réutilisation de l'eau dans les ménages, interdiction de laver les trottoirs et les voitures, incertitude quant à l'avenir, réduction des occasions festives et des distractions, perte de propriété).
- Distribution non équitable des impacts de la sécheresse et des mesures d'atténuation  
Abandon d'activités et émigration (dans les cas extrêmes).

#### 4.2. Impacts économiques.

- Une moindre production en agriculture, foresterie, pêche, énergie hydroélectrique, tourisme, industrie, et activités financières qui dépendent de ces secteurs.
- Chômage causé par la baisse de production.
- Pénalisation économique due à la moindre navigabilité des cours d'eau, fleuves et canaux.
- Pénalisation au secteur du tourisme due à la moindre disponibilité pour l'alimentation en eau et/ou les masses d'eau.
- Pression sur les institutions financières (risques accrus lors des prêts, baisse de capitaux etc.).
- Réduction des recettes pour les compagnies des eaux en raison de livraisons réduites d'eau.
- Coûts des mesures d'urgence pour améliorer les ressources et diminuer les demandes (coûts additionnels pour le transport et la conduite des eaux, coûts de publicité pour réduire l'utilisation d'eau, etc.).

#### 4.3. Impacts environnementaux.

- Réduire l'alimentation en eau et la qualité des eaux de surface et souterraines.
- Dommages aux écosystèmes et zones humides, biodiversité et maladies (érosion du sol, poussière, couvert végétal réduit, etc.).
- Augmentation des incendies.

- Manque d'aliments bétail et d'eau pour boire.
- Augmentation de la concentration saline (dans les cours d'eau, nappes souterraines, zones irriguées).
- Pertes dans les lacs naturels et artificiels (poissons, paysages, etc.).
- Dommages à la vie sauvage des cours d'eau et des zones humides (flore, faune).
- Dommages à la qualité de l'air (par exemple poussière polluante).

## 5. La caractérisation de la sécheresse.

La sécheresse est un phénomène tridimensionnel pouvant être caractérisé par sa **sévérité** ou son **intensité**, sa **durée**, et son **étendue géographique**. La caractérisation de la sécheresse est complexe et peut faire appel à un grand éventail d'indices ou indicateurs météorologiques ou hydrologiques.

En fonction du type de sécheresse, l'indice approprié de sécheresse est sélectionné. Les indices peuvent être considérés comme étant généraux ou spécifiques selon l'utilité pour laquelle ils ont été conçus. Certains des indices, toutefois, sont plus appropriés pour la surveillance et d'autres le sont davantage pour l'analyse des épisodes historiques de sécheresse. La disponibilité d'un grand nombre d'indices est due principalement à la difficulté de définir de façon univoque ce phénomène.

## 6. L'évaluation de la sécheresse.

Pour évaluer la sécheresse, on a recours à des indicateurs climatiques, hydrologiques, géographiques, biologiques et socioéconomiques (fig. 02). On peut en utiliser un seul ou plusieurs et dans certains cas en combiner deux ou plus pour obtenir des indices dérivés. On note que, les météorologues et les climatologues ont réalisé d'importants progrès dans l'évaluation de la sécheresse et ont mis au point un certain nombre d'indices, qui permettent de recueillir des informations spécifiques sur un large éventail de questions liées à l'évaluation de la sécheresse.

### NB :

Cas des indices météorologiques en Algérie. Les deux indices retenus lors de l'atelier national sur l'évaluation d'alerte précoce à la sécheresse de 2006, (SPI et PN (%)) pour les stations d'Oran, Tiaret, Djelfa et Sétif, sont calculés à échelle mensuelle, à l'évaluation de la sécheresse (SMOC, 2006).

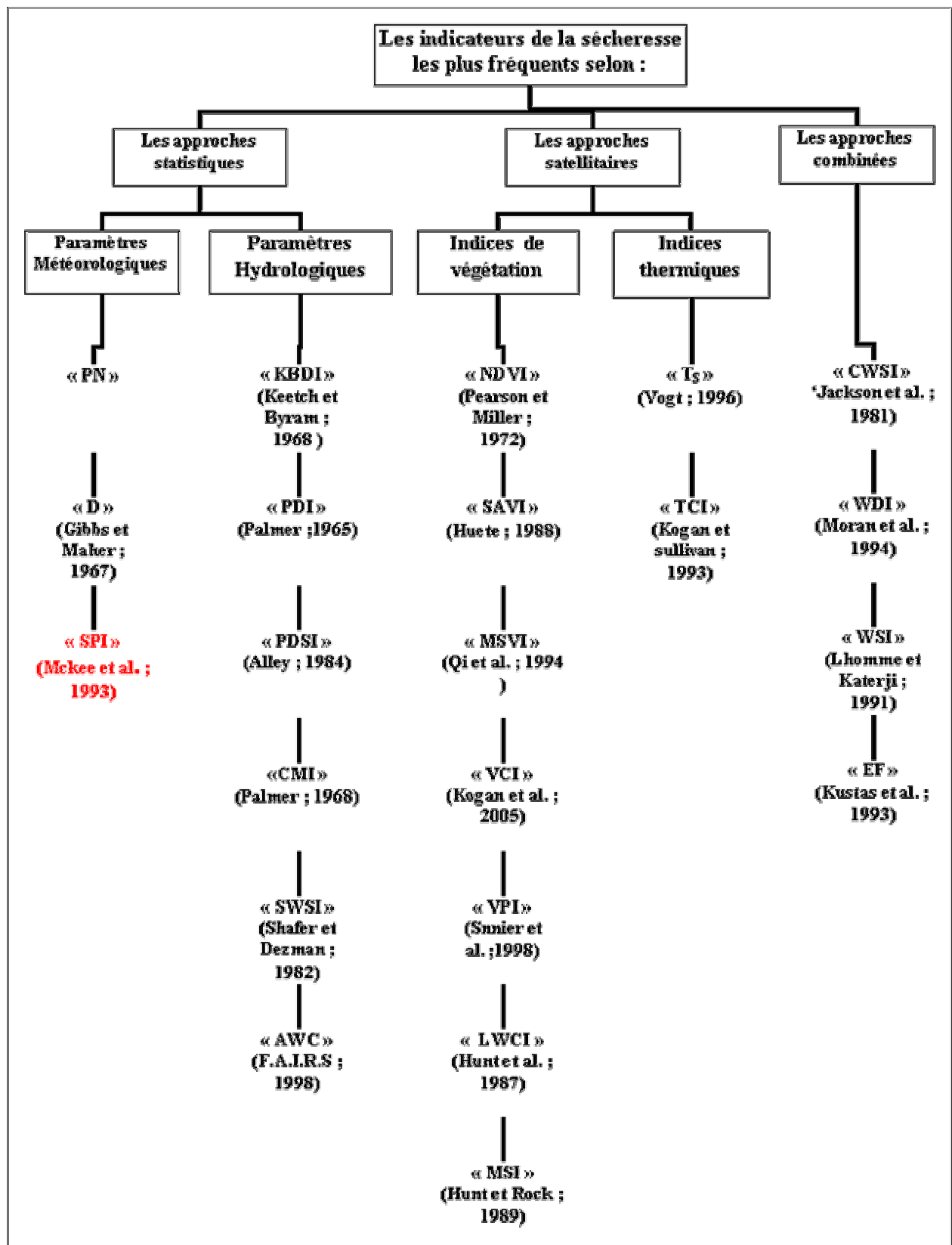


Figure 02 : Les ramifications des indices de la sécheresse les plus fréquentes dans le monde en fonction de leurs approches de calculs.



## 7. Les indices et les indicateurs de la sécheresse les plus couramment utilisés.

### 7.1. Définitions.

#### 7.1.1. Les indices des approches traditionnelles.

##### \* Les indices d'origines des tests statistiques avec une donnée météorologique.

- **Pourcentage à la Normale « Percent of normal (Hayes, 1996) »**: Il représente le pourcentage de l'écart des précipitations d'une période par rapport à la normale historique de cette période.

- **Déciles de précipitation « Précipitation déciles (Gibbs et Maher, 1967) »** : Il permet de connaître la fréquence d'un événement. Il divise la distribution des fréquences des événements en 10 parties représentant chacune 10 % de la distribution. Le cinquième décile représente donc la médiane et le dixième décile le volume maximal de précipitation reçu pour une région et pour une période de temps.

- **Indice standardisé de précipitation « Standardized Precipitation Index (McKee et al., 1993) »** : Il permet de quantifier l'écart des précipitations d'une période, déficit ou surplus, par rapport aux précipitations moyennes historiques de la période. Cette période varie généralement entre un mois et 48 mois selon le type de la sécheresse que l'on désire suivre.

##### \* Les indicateurs météorologiques et hydrologiques.

- **Indice de sécheresse de Keetch Byram « Keetch Byram Drought Index (Keetch et Byram, 1968) »**: C'est un indicateur météorologique journalier cumulatif qui décrit la quantité d'humidité manquante dans les sols. Il a été développé pour le Sud-Est américain. Il est utilisé localement pour le contrôle des incendies en milieux forestiers ou en régions naturelles où il estime le déficit cumulatif en humidité des humus profonds et des couches supérieures du sol.

- **Indice de sévérité des sécheresses de Palmer « Palmer Drought Severity Index (Palmer, 1965 et Alley, 1984) »** : Le PDSI, tout comme le PDI, sont des indicateurs qui mesurent la différence d'approvisionnement en humidité pour les phases sèches autant que pour les phases humides du sol (indicateurs basés sur les équations du bilan hydrique, fortement influencé par la capacité de rétention utile du sol.

- **Indice d'humidité disponible pour les cultures « Crop Moisture Index (Palmer, 1968) »** : C'est un indicateur météorologique. Il donne le statut de l'humidité disponible par rapport à la demande en humidité. Développé à partir des procédures du PDSI, cet indice définit les sécheresses en fonction de la magnitude et du déficit en évapotranspiration.

- **Indice des réserves en eau de surface « Surface Water Supply Index (Shafer, 1982) »:**  
C'est un indicateur hydrologique et un complément au PDSI qui incorpore des éléments d'hydrologie et de climatologie. Il est spécialement développé pour les régions où la fonte des neiges est la principale source d'écoulement des eaux superficielles
- **Capacité de rétention utile du sol « Available Water Capacity (F.A.I.S ; Florida Agricultural Information Retrieval System, 1998) » :** C'est la réserve en eau disponible pour la végétation dans un sol.

### 7.1.2. Les indices des approches satellitaires.

#### \* Les indices de végétations.

- **Indice de végétation normalisé « Normalized Difference Vegetation Index (Rouse et al., 1973, Bannari et al., 1995 et Boyd et al., 2002) » :** C'est un indice de végétation bien connu et très utilisé. Comme les autres indices de végétation, le NDVI est sensible à la présence de végétation verte. C'est un outil efficace pour la surveillance des cultures, mais aussi pour la surveillance des précipitations et des sécheresses.
- **Indice de végétation ajusté pour les sols « Soil Adjusted Vegetation Index (Huette, 1988 et Rondeaux et al. 1996) » :** C'est un indice d'ajustement des signaux en provenance du sol. Il est inversement proportionnel à la densité du couvert végétal donc plus sensible à la végétation.
- **SAVI modifié « Modified SAVI (QI, 1994) » :** Cet indice a été utilisé afin de minimiser l'effet des sols nus. Il possède une plus grande portée qui minimise l'influence du sol. Il est plus sensible à la présence de la végétation verte que le SAVI et les autres indices de végétation. Par contre, en région de forte densité de végétation, cet indice souffre parfois de saturation et son application dans ces régions est donc limitée.
- **Indice de la condition de la végétation « Vegetation Condition Index (Kogan et al., 2005, Singh et al., 2003 et Domenikiotos et al., 2004) » :** Cet indice est utilisé pour suivre les conditions de sécheresse au centre-Ouest américain. Il permet de détecter les situations de sécheresses à grande échelle dans plusieurs continents et d'estimer les conditions d'humidité excessive. A noter que plusieurs équipes l'ont exploité afin de suivre les conditions de sécheresse.
- **Indice de productivité de la végétation « Vegetation Productivity Index (Sannier et al., 1998) »:** Il estime la distribution statistique du NDVI de manière empirique à partir des données disponibles. Il permet aussi la création d'un profil du NDVI représentant chaque type de végétation dans la zone d'étude. Cette dernière peut être classée en micro zones homogènes de NDVI.

– **Indice de stress en humidité « Moisture Stress Index (Hunt et Rock, 1989) »** : Il permet le contrôle des conditions de sécheresse. Il est hautement corrélé aux réserves en eau des végétations et des sols.

\* **Température de surface.**

– **Indice de condition thermique « Temperature Condition Index (Kogan et al., 2004) »** : C'est un indice de végétation basé sur la température de surface. Il est calculé à partir des images du capteur AVHRR de NOAA. Il est applicable à l'échelle régionale ou continentale de manière instantanée ou pour des périodes variant du jour jusqu'à une année. Combiné avec VCI, il augmente la précision de la surveillance des conditions de sécheresse et aide à expliquer la contribution de la température dans l'analyse des sécheresses. Il donne aussi une information utile concernant le stress de la végétation dû à une saturation du sol en eau.

– **Température de surface, (Vogt 1996 in Beaudin, 2006)** : C'est un indice qui permet de détecter tous les objets qui se trouvent en tout point de la zone d'étude par la réflexion de la température de surface de ces objets vers un capteur.

### 7.1.3. Les définitions d'indices des approches combinées.

– **Indice de stress en eau des cultures « Crop Water Stress Index (Jackson et al., 1981) et Moran et al. (1994) »** : C'est un outil basé sur la différence entre la température des feuilles et la température de l'air. Il est généralement utilisé pour la détermination de l'humidité des cultures. Cette dernière permet d'indiquer les besoins d'irrigation ou la prédiction de la production agricole.

– **Indice de déficit en eau « Water Deficit Index (Moran et al., 1994) »** C'est l'équivalent du CWSI pour les régions partiellement couvertes de végétation car la température de surface et la température du couvert végétal sont équivalentes dans une région de forte densité végétale. Il est par définition le rapport entre l'évapotranspiration réelle et l'évapotranspiration potentielle. Il peut être aussi calculé en utilisant des mesures de réflectance et de la température de surface en plus de quelques données météorologiques simples.

– **Indice de stress en eau « Water Stress Index (Lhomme et Katerji, 1991) »** : Il exprime le rapport entre le déficit journalier en eau et l'évapotranspiration maximale calculée par la méthode de Penman.

– **Fraction évaporatoire « Evaporative Fraction (Kustas et al., 1996) »** : C'est la fraction d'énergie disponible pour l'évapotranspiration que ce soit des sols ou des cultures.

## 7.2. Les formules et leurs paramètres.

### 7.2.1. Les formules d'indice des approches traditionnelles.

#### \* Les indices d'origine des tests statistiques avec une donnée météorologique.

(1) 
$$PN (\%) = (P - P_{moyen}) \times 100$$

**P** (mm) : Précipitation moyenne de la période d'étude.  
**P moy** (mm) : Précipitation moyenne historique de la période d'étude, calculée à partir de l'historique de données environ 30 ans.

(2) 
$$D = \% \text{ des fréquences cumulatives } / 10$$

(3) 
$$SPI = \frac{(P - P_m)}{\sigma_p} \quad (--)$$

**P** (mm) : Précipitation moyenne de la période d'étude.  
**Pm** (mm) : Précipitation moyenne historique de la période d'étude, calculée à partir de l'historique de données environ 30 ans.  
 **$\sigma_p$**  : Écart-type historique de la période d'étude (1, 3, 6, 12, 24, 48 mois et plus), calculée à partir de l'historique de données environ 30 ans.

#### \* Indicateurs météorologiques et hydrologiques.

(4) 
$$KBDI = \frac{[203.2 - Q] \cdot [0.968 \exp(0.0875 \cdot T + 1.5552) - 8.3] \cdot dt \times 10^{-3}}{1 + 10.88 \exp(-0.001736 \cdot R)}$$

(mm)

**Q** (mm): Déficit en humidité du sol  
**T** (°C): Température maximale journalière  
**R** (mm): Précipitation moyenne annuelle  
**dt** (j): Temps depuis lequel le sol perd son humidité

(5) 
$$PDSI = 0,897X(i-1) + Z(i)/3 \quad (--)$$

**i** : Mois de l'année  
**X(i-1)** : PDSI de la période précédente  
**Z(i)** : Indice de correction de l'humidité (--)  

$$Z(i) = K(P - P_c) \quad (--) \quad (6)$$
**K** : Facteur de poids, ajusté régional (--)  
**P** : Précipitation mensuelle réelle (mm)  
**Pc** : Précipitation mensuelle appropriée aux conditions climatiques existantes  

$$P_c = \alpha_j PE + \beta_j PR + \gamma_j PRO - \delta_j PL$$
(mm) (7)

**j** : Mois de l'année (--)  
**PE** : Évapotranspiration potentielle (mm)  
**PR** : Recharge du sol potentielle (mm)  
**PRO**: Ruissellement potentiel (mm)  
**PL** : Perte potentielle dans le sol (mm)  
 **$\alpha_j, \beta_j, \gamma_j, \delta_j$**  : Coefficients climatiques mensuels. (Moyennes historiques des ratios des valeurs mensuelles attendues par rapport aux valeurs potentielles), (--).

(8)

$$CMI = EAI + WI$$

**WI** : indice de recharge du sol par les précipitations (mm)

**EAI** « Evapotranspiration Anomaly Index »

$$EAI = 0.67 \times Y_{i-1} + 1.8 \times \frac{ET - ETc}{\sqrt{\alpha}} \quad (9)$$

**Yi-1** : CMI de la semaine précédente (--)

**ET** : Évapotranspiration (mm)

**Etc** : Évapotranspiration attendue pour les conditions qui prévalent (mm)

**$\alpha$**  : Coefficient d'évapotranspiration (--)

(10)

$$SWSI = \frac{a \times PN_{si} + b \times PN_{pcp} + c \times PN_{rs} - 50}{12}$$

**a, b, c** : sont les poids associés à chaque composante :

$$(a+b+c=1) \quad (--)$$

**NPsp** : Couverture neigeuse équivalente en eau (mm)

**NPpcp** : Précipitation (mm)

**PNrs** : Réservoir (mm)

**PN** : Probabilité de ne pas excéder (%)

(11)

$$AWC = \frac{T \times (RC - PWP) \times BD}{100 \times DW} \quad (\text{cm})$$

**T** : Profondeur racinaire (cm)**BD** : Densité volumétrique du sol  
(g/cm<sup>3</sup>)**FC** : Capacité au champ (% par poids)**PWP**: Point de flétrissement en pourcentage  
(% par poids)**DW** : Densité de l'eau (g/cm<sup>3</sup>)

### 7.2.2. Les formules d'indices des approches satellitaires.

#### \* Les indices de végétation.

(12)

$$NDVI = \frac{PIR - Rouge}{PIR + Rouge} \quad (--)$$

**PIR** (%) : Réflectance de la région spectrale du  
proche infrarouge.**Rouge** (%) : Réflectance de la région spectrale  
du rouge.

(13)

$$SAVI = \frac{1.5 \times (PIR - Rouge)}{PIR + Rouge + 0.5} \quad (--)$$

**PIR** (%) : Réflectance de la région spectrale du  
proche infrarouge.**Rouge** (%) : Réflectance de la région spectrale du  
rouge

(14)

$$MSAVI = \frac{2 \times PIR + 1 - \sqrt{(2 \times PIR + 1)^2 - 8 \times (PIR - Rouge)}}{2} \quad (--)$$

**PIR** (%) : Réflectance de la région spectrale du  
proche infrarouge**Rouge** (%) : Réflectance de la région spectrale du  
rouge

(15)

$$VCI = \frac{100 \times (NDVI - NDVI_{\min})}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (--)$$

**NDVI** : de la période d'étude (--)**NDVImin** : NDVI minimum de la période  
d'étude, calculé à partir de l'histori-  
que de données (--)**NDVImax** : NDVI maximum de la période  
d'étude calculé à partir de  
l'historique de données (--)

(16) 
$$VPI = p(NDVIu) \quad (--)$$

**p** : Probabilité d'avoir un NDVI plus petit ou égal  
**NDVIu** : NDVI de la période d'étude pour le groupe homogène de NDVI (u), (--).

(17) 
$$LWCI = \frac{-\log[1 - (TM_4 - TM_5)]}{-\log[1 - (TM_{ft_4} - TM_{ft_5})]} \quad (--)$$

**TM4** : Réflectance de la région spectrale du proche infrarouge de Landsat TM (%)  
**TM5** : Réflectance de la région spectrale de l'infrarouge moyen de Landsat TM (%)  
**ft** : feuilles pleine turgescence

(18) 
$$MSI = TM5 / TM4 \quad (--)$$

**TM4** : Réflectance de la région spectrale du proche infrarouge de Landsat TM (%)  
**TM5** : Réflectance de la région spectrale de l'infrarouge moyen de Landsat TM (%)

\* **Température de surface.**

(19) 
$$T_S = T4 + A(T4 - T5) + B(\varepsilon) \quad (K)$$

**T4 et T5** : sont les températures de signal de canaux 4 et 5 (K)  
**A = 1.0 + 0.58 (T4 - T5) (--) ----(20)**  
**B = 0,51 + 40 (1-ε) - βΔε (--) ---(21)**  
**ε = (ε4 + ε5) / 2 (--) ----(22)**  
**Δε = ε4 - ε5 (--) ----(23) où :**  
**β** : est un coefficient qui diminue selon le contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère.  
**ε4 et ε5** : sont les émissivités des canaux 4 et 5 (--)

(24) 
$$TCI = \frac{100 \times (T_{max} - T)}{(T_{max} - T_{min})} \quad (--)$$

**T** : Température de surface de la période d'étude, (K)  
**Tmin** : Température de surface minimale de la période d'étude, calculée à partir de l'historique de données, (K).  
**Tmax** : Température de surface maximale de la période à l'étude, calculée à partir de l'historique de données, (K).

### 7.2.3. Les formules d'indices des approches combinées.

**a.**

(25)

$$CWSI = 1 - \frac{E_r}{E_p} = \frac{\gamma \times (1 + \frac{r_c}{r_a}) - \gamma}{\Delta + \gamma \times (1 + \frac{r_c}{r_a})} \quad (--)$$

**b.**

(26)

$$CWSI = \frac{(T_0 - T_a) - (T_0 - T_a)^l}{(T_0 - T_a)^u - (T_0 - T_a)^l} \quad (--)$$

**a. Formule initiale.**

**Er** : Évapotranspiration réelle (mm)

**Ep** : Évapotranspiration potentielle (mm)

**ra** : Résistance aérodynamique (s/m)

**rc** : Résistance du couvert végétal au transport de la vapeur (s/m) d'où :

$$\frac{r_c}{r_a} = \frac{w_a \times R_n / \rho c_p - (T_c - T_a) \times (\Delta - \gamma) - (e_a^* - e_a)}{[\gamma \times (T_c - T_a) - r_a \times R_n / \rho c_p]} \quad (27)$$

$$\gamma^* = \gamma \times [1 - (r_{cp} / r_a)] \quad (28)$$

**ea\*** : Pression de vapeur à saturation (Pa)

**ea** : Pression de vapeur de l'air (Pa)

**Rn** : Rayonnement net (W / m<sup>2</sup>)

**cp** : Capacité thermique volumétrique de l'air (J / kg / °C).

**Tc** : Température de surface (°C)

**Ta** : Température de l'air (°C)

**ρ** : Densité de l'air (kg/m<sup>3</sup>)

**r<sub>cp</sub>** : Résistance du couvert végétal au transport de la vapeur, à l'évapotranspiration potentielle (s/m)

**b. Formule simplifiée.**

**To** : Température de surface (°C)

**Ta** : Température de l'air (°C)

**u** : Limite supérieure

**l** : Limite inférieure

(29)

$$WDI = 1 - \left( \frac{ET}{ET_p} \right) = \frac{[(T_s - T_a)_m - (T_s - T_a)_r]}{[(T_s - T_a)_m - (T_s - T_a)_x]} \quad (--)$$

**ET** : Taux d'évapotranspiration de la surface (mm/h)

**ET<sub>p</sub>** : Évapotranspiration potentielle (mm/h)

**Ta** : Température de l'air (°C)

**Ts** : Température de surface (°C)

**m** : Valeur minimum

**r** : Valeur actuelle

**x** : Valeur maximale



(30)

$$WSI = \frac{\sum WD}{\sum Etm} \quad (--)$$

**WD** : Déficit en eau journalier (évapotranspiration maximale – évapotranspiration actuelle) (mm)

**Etm** : Évapotranspiration maximale (mm)

---

(31)

$$EF = -\frac{LE}{Rn + G} \quad (--)$$

**LE** : Flux de chaleur latente (W/m<sup>2</sup>)

**Rn** : Rayonnement net (W/m<sup>2</sup>)

**G** : Flux de chaleur du sol (W/m<sup>2</sup>)

---

### 7.3. Les seuils des classes pour quelques indicateurs de sécheresses.

Nous citons dans le tableau suivant les classes qualificatives des conditions de sécheresses pour quelques indices les plus utilisés dans le monde

**Tableau 01 : Les seuils des classes pour quelques indicateurs de sécheresses et leurs désignations.**

Classe	Désignation	Les seuils minimaux et maximaux de chaque classe					
		D (20%)	SPI (--)	PDSI (--)	CMI (--)	SWSI (- -)	VCI (--)
TH	Très humide	Déciles 9 ; 10	> 2,0	> 4,00	> 3,00	3,0 ; 4,0	/
H	Humide	Déciles 9 ; 10	1,5 ; 1,99	3,00 ; 3,99	2,0 ; 2,9	2,0 ; 2,9	/
MH	Modérément humide	Déciles 7 ; 8	1,0 ; 1,49	0,50 ; 2,99	0,9 ; 1,9	0,9 ; 1,9	/
N	Normale	Déciles 5 ; 6	-0,99 ; 0,99	0,49 ; -0,49	-0,9 ; 0,9	-0,9 ; 0,9	/
MS	Modérément sec	Déciles 3 ; 4	-1,0 ; -1,99	-0,50 ; -2,99	-1,0 ; -1,9	-1,0 ; -1,9	26 ; 45
S	Sec	Déciles 1 ; 2	-1,5 ; -1,99	-3,00 ; -3,99	-2,0 ; -2,9	-2,0 ; -2,9	16 ; 25
TS	Très sec	Déciles 1 ; 2	< -2,0	< -4,00	< -3,00	-3,0 ; -4,0	< 15

**Exemple explicatif de la sévérité des sécheresses par SPI**

McKee et al. (1993) utilisent la classification retrouvée au tableau sus dessus afin de définir l'intensité des sécheresses à l'aide du SPI. Selon les auteurs, une sécheresse sévit lorsque le SPI est consécutivement négatif et se termine lorsque le SPI devient positif.

Cette indication fait en sorte que la fréquence des événements sévères est la même pour n'importe quelle zone ou période de temps. Ceci permet de comparer différentes régions, qui doivent néanmoins avoir un climat relativement semblable.

Ainsi, un SPI de -1,25 en région aride, où les précipitations annuelles sont faibles, représente une variation beaucoup plus faible qu'un SPI de -1,25 d'une région où les précipitations sont abondantes.

Il est donc important de tenir compte du type de climat lors de l'interprétation des valeurs du SPI (Beaudin, 2006).

**7.4. Les avantages, les inconvénients et les échelles de ces indices.**

Les inconvénients et les avantages se résument dans les tableaux suivants:

**Tableau 02: Les avantages et les inconvénients, des indices d'approches traditionnelles, d'origine des tests statistiques avec une donnée météorologique et leurs échelles.**

Indices	Échelles		Avantages	Inconvénient
	Temporelles	Spatiales		

<b>A. Les indices d'origine des tests statistiques avec une donnée météorologique</b>				
<b>PN</b>	Mensuelles, Saisonnière, Annuelle.	Locale, Régionale.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- simple méthode</li> <li>- très efficace pour une région et une saison.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- comparaison difficile de la moyenne ou médiane régionale.</li> <li>- mal interprété</li> </ul>
<b>D</b>	Mensuelles, Saisonnière, Annuelle.	Locale, Régionale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- simple méthode</li> <li>- peut remplacer en de difficulté le pourcentage à la normale</li> <li>- moins de supposition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nécessite une série de données climatiques suffisante,</li> </ul>
<b>SPI</b>	Mensuelles, Saisonnière, Annuelle.	Locale, Régionale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- contrôle périodique de la sécheresse</li> <li>- permet surveiller les séquences sèches et humides</li> <li>- gestion possible des ressources hydriques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- l'ajustement des données pluviométrique à loi normale.</li> </ul>

**B. Indicateurs météorologiques et hydrologiques**

<b>KBDI</b>	Journalière	Locale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- évaluateur des déficits hydrique et l'humus dans le sol</li> <li>- surveillances des feux forestiers</li> <li>- mesure journalière</li> <li>- fiable dans le monde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- des couches des sols limitées</li> <li>- moyenne de pluie régionale</li> <li>- utilisation des tables</li> <li>- point initiale de calcul</li> </ul>
<b>PDSI (PDI)</b>	- Hebdomadaire, -Mensuelles	Régionale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mesure de l'humidité du sol</li> <li>- comparable dans les régions</li> <li>- indique le début, la durée et l'intensité de la sécheresse</li> <li>- bon contrôleur des longues périodes humides et sèches</li> <li>- indépendant de l'utilisation de l'eau, et facteurs hydrologiques</li> <li>- simplification paramètres sol</li> <li>- indice décrire les écoulements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- savoir le bilan hydrique</li> <li>- influencé par l'humidité du sol et type de sol</li> <li>- choix de l'estimation de l'évapotranspiration</li> </ul>
<b>CMI</b>	Hebdomadaire.	Régionale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- évaluation de l'humidité à court terme</li> <li>- indique la variation du climat</li> <li>- donne les seuils de comparaison entre les régions</li> <li>- définir la sécheresse par le déficit climatique</li> <li>- initialisation mesure possible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mauvaise surveillance de l'humidité à long terme</li> <li>- enchaîne des CMI successifs.</li> </ul>
<b>SWSI</b>	Mensuelles	Régionale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- complète les indices de Plamer</li> <li>- comparaison régionale valable</li> <li>- calculs informatisables</li> <li>- caractérise chaque région</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dépend des composantes hydrologiques et météorologiques</li> <li>- sensible aux nouvelles données</li> </ul>
<b>AWC</b>	Saisonnière	Locale, Régionale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- méthode in site</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- difficile à déterminer</li> <li>- exige des sols humides pour analyse dans laboratoire</li> </ul>

**Tableau 03 : Les avantages et les inconvénients, des indices d'approches satellitaires et leurs échelles.**

Indices	Échelles		Avantages	Inconvénients
	Temporelles	Spatiales		
<b>A. Les indices de végétation</b>				

<b>NDVI</b>	Mensuelles, Saisonnière, Annuelle.	Régionale, Continentale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- comparable via les régions</li> <li>- efficace pour identifier les zones de stress hydrique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- type des capteurs utilisés</li> <li>- traitement de l'image brute</li> </ul>
<b>SAVI</b>	Mensuelles, Saisonnière, Annuelle	Régionale, Continentale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- permet une correction optimale de la rétrodiffusion du sol à travers le couvert végétal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- choix de l'ajustement des signaux émis par le sol</li> <li>- choix des capteurs</li> <li>- traitement de l'image brute</li> </ul>
<b>MSAVI</b>	Mensuelles, Saisonnière, Annuelle.	Régionale, Continentale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- réduit influence des sols nus</li> <li>- plus grande portée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sensible à la densité de végétation</li> <li>- traitement de l'image brute</li> <li>- choix des capteurs</li> </ul>
<b>VCI</b>	Mensuelles, Saisonnière, Annuelle.	Régionale, Continentale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- simplification du NDVI</li> <li>- précision de la dynamique des précipitations et les facteurs climatique</li> <li>- adapté aux milieux hétérogènes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traitement de l'image brute</li> </ul>
<b>VPI</b>	Décadaire, Mensuelles, Saisonnière, Annuelle.	Régionale, Continentale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- distinction des classes végétales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- calculs lourds dans la végétation est dense</li> <li>- nécessite la série totale du NDVI</li> <li>- choix du type de végétation correspondant</li> </ul>
<b>LWCI</b>	Journalière, Hebdomadaire.	Locale.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- détection du stress hydrique chez les plantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- testé uniquement en laboratoire et ne semble pas être applicable sur le terrain</li> </ul>
<b>MSI</b>	Journalière, Hebdomadaire.	Locale.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- très corrélé avec le NDVI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 50% fiabilité de mesure</li> </ul>
<b>B. Température de surface</b>				
<b>Ts</b>	Instantanée	Locale, Régionale, Continentale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- utilisation d'une seule bande thermique</li> <li>- détermination du stress hydrique des plantes instantanées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- difficile à obtenir de manière précise</li> <li>- connaissance transfert radiatif</li> </ul>
<b>TCI</b>	Instantanée, Journalière, Mensuelles, Saisonnière, Annuelle.	Locale, Régionale, Continentale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- possibilité importante dans la surveillance de la sécheresse,</li> <li>- aide dans l'analyse de la sécheresse,</li> <li>- permet le contrôle du stress hydrique des plantes et humidité du sol.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- acquisition des données satellite et leurs traitements,</li> <li>- choix du capteur.</li> </ul>

**Tableau 04 : Les avantages et les inconvénients, des indices d'approches combinées et leurs échelles.**

Indices	Échelles		Avantages	Inconvénients
	Temporelles	Spatiales		

<b>CWSI</b>	Instantanée, Journalière.	Locale, Régionale.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- détection instantanée des stress hydriques chez les plantes</li> <li>- sert pour pilotage des irrigations agricoles,</li> <li>- surveillance des facteurs de l'environnement</li> <li>- estimation facile et efficace à partir de données satellitaires et de données météorologiques simples</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- beaucoup d'erreurs lors de la détection dues aux conditions climatiques</li> <li>- traitement de l'image satellitaire brute liée à la réflectance des objets.</li> <li>- sensible à la présence de sol nu, source majeure d'erreurs</li> </ul>
<b>WDI</b>	Instantanée, Journalière.	Locale, Régionale.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- détection instantanée des stress hydriques chez les plantes</li> <li>- sert pour pilotage des irrigations agricoles,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sensible à la densité de végétation,</li> </ul>
<b>WSI</b>	Journalière.	Locale, Régionale.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- utilisation pour le suivi des conditions de sécheresse à grande échelle</li> <li>- étroitement lié à un type spécifique de culture</li> <li>- prédire la production agricole</li> <li>- utile pour déterminer les dates d'ensemencement utile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sensible à l'humidité maximale du sol</li> <li>- difficile à déterminer</li> <li>- en cours sous analyse (reste toutefois à voir)</li> </ul>

## 8. Gestion de la sécheresse.

Les sécheresses surviennent souvent en l'Algérie et entraînent de sévères conséquences économiques et sociales qui sont également liées à la vulnérabilité des systèmes d'alimentation en eau, des systèmes agricoles et de la société en général.

La gestion de la crise sécheresse consiste à la planification des mesures nécessaires pour prévenir ou minimiser les impacts de la sécheresse à l'avance, basée sur la mise en place de mesures et d'actions après qu'un épisode de sécheresse ait commencé et soit perçu.

Prévoit une surveillance continue des variables hydrométéorologiques et de l'état des réserves en eau afin d'identifier d'éventuelles situations de crise d'eau et d'appliquer les mesures nécessaires avant que ne survienne une véritable urgence.

Pour mieux gérer ce phénomène naturel, il faut distinguer les trois notions ci sous dessous:

- **ALÉA** : Phénomène physique et/ou activité humaine potentiellement destructif susceptible de faire des morts et des blessés, d'endommager des biens et des propriétés,

de provoquer une rupture de la vie sociale et économique, et d'entraîner une dégradation de l'environnement. Chaque aléa se caractérise par sa localisation, son intensité, sa fréquence et sa probabilité.

- **VULNÉRABILITÉ** : Ensemble de conditions et de processus résultant de facteurs matériels, sociaux, économiques et environnementaux, qui accentuent la sensibilité d'une communauté à l'impact des aléas.
- **RISQUE** : Probabilité de l'apparition d'évènements nuisibles suite à des interactions entre aléas naturels ou anthropiques et conditions vulnérables. Les risques sont toujours créés ou existent au sein de systèmes sociaux.

## 9. Déclaration de sécheresse et l'alerte.

Lorsque la surveillance montre que la sécheresse est en train de survenir, par exemple une observation des pluies montrant qu'une sécheresse se prépare, et le moment où le phénomène commence à avoir un impact significatif sur les populations des zones affectées. La durée de cette «période d'alerte» varie de façon considérable d'une société à l'autre. Dans de nombreux pays, cette période d'alerte s'étend sur plusieurs mois. Dans d'autres, par exemple les pays où vit une importante population de travailleurs agricoles sans terres, la période d'alerte peut être beaucoup plus courte, peut-être, quelques semaines seulement. Quelle qu'en soit la durée, une période d'alerte rend une réponse possible, permettant d'atténuer l'impact de la sécheresse avant que cet impact ne devienne considérable.

## 10. La mise en place d'un système d'alerte précoce de la sécheresse en Algérie.

L'Algérie, pays méditerranéen, glisse vers la semi-aridité et les risques d'aridité restent très élevés. Cela présage des conditions naturelles singulièrement plus difficiles qu'aujourd'hui, dont les conséquences commencent à se faire sentir dans beaucoup de régions d'Algérie. Pour les indicateurs il a été recommandé l'utilisation des indicateurs retenus par l'atelier de Rabat (9-10 mars 2006) pour ne pas surcharger le système à mettre en place et faciliter les échanges avec les pays de la sous-région du Maghreb Arabe sur la base de la plate forme de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (UNCCD), du 17 juin 1994 à Paris :

- Indice normalisé des précipitations (SPI),
- Indice normalisé de la végétation (NDVI),

- Indice de disponibilité hydrique de surface (SWSI),
- Et un Indicateur socio-économique.

Concernant l'indicateur socio-économique, un premier choix fut porté sur le prix de vente du mouton qui a été jugé comme un excellent paramètre des changements climatiques dans les régions steppiques. Cas de l'Algérie ; il n'existe pas de structure particulière dédiée expressément à la sécheresse. Cependant, l'Office national de la météorologie (ONM) est l'institution spécialisée dans les observations et les études scientifiques du climat. L'ONM collecte, suit, analyse et diffuse toute donnée météorologique générale par le biais de bulletins périodiques réguliers et parfois de conjoncture (avis de tempête par exemple).

### **11. Les mesures conjoncturelles pour faire face aux risques de la sécheresse.**

Sont d'un autre ordre car elles sont spécifiques à la sécheresse et doivent être mises en œuvre lorsque celle-ci se manifeste ou est sur le point de se manifester. Il existe en effet plusieurs temps dans l'action : une préparation conjoncturelle dès lors qu'une sécheresse est prévue puis la phase de réponse à partir du moment où les effets de la sécheresse se manifestent. En ce qui concerne la préparation, il peut s'agir de limiter les consommations d'eau dans le secteur agricole, ou pour les usages domestiques fortement consommateurs (jardins, piscines, loisirs...), de prévoir et de constituer des stocks de nourriture et d'eau, ainsi que les moyens de leur distribution auprès des populations et des cheptels.

### **12. Les mesures prises par l'Algérie contre ce phénomène de sécheresse.**

Ce sont les mesures fondamentales des grands axes de la politique national de l'eau pour faire face à la pénurie de cette matière vitale en cas de sécheresse :

- Limitation stricte des attributions de l'eau et selon l'ordre prioritaire suivant : Eau potable, Agriculture, Industrie.
- Accélération de la construction des barrages.
- Lancement de programmes de forage supplémentaires et réhabilitation de certains forages abandonnés.
- Au niveau des villes, réglementation de la consommation au niveau de : Stations service, Hammams, Douches publics, etc.
- Réhabilitation du réseau de distribution.
- Appel aux eaux non conventionnelles : recyclage des eaux au niveau industriel, utilisation des eaux usées.
- Protection contre la pollution et périmètres de protection.
- Réglementation du prélèvement d'eau au niveau des nappes souterraines.

### 13. Quelques exemples de travaux réalisés dans le monde et en l'Algérie sur la problématique de la sécheresse.

La sécheresse préoccupe, en tout temps dans le monde et en Algérie, beaucoup de chercheurs et décideurs concernés par la gestion de cette problématique. Cette préoccupation a produit diverses visions, méthodes et expériences pour la lutte contre cette menace du bien-être et la sécurité alimentaire des humains. Dans ce contexte, on cite à titre d'exemple, quelques travaux scientifiques dans le monde et en Algérie.

#### 13.1. Dans le Monde

##### 13.1.1. AU MEXIQUE

- ~ **ALFONSO MUNOZ R. C. et al. (2006)** : Ces auteurs ont étudié les déficits hydriques dans l'état de Chihuahua qui se situe au nord du Mexique et d'une superficie de 245494 km<sup>2</sup>. Ils ont recueilli et analysé des données climatiques sur 96 stations pluviométriques pour la période s'étalant de 1961 à 1990. Ces auteurs ont suivi et étudié les conditions et les effets néfastes de la sécheresse aux petites échelles géographiques. Ils ont obtenue des résultats à partir la comparaison du SPI-12 et PPN (pourcentage par rapport à la normal), remarquables dans ce bassin.
- ~ **NUNEZ LOPEZ D. et al. (2006)** : Pour la même zone d'étude précédente et pendant la période 1970 et 2000, ces auteurs ont déterminés pour chaque région climatique les fréquences, les durées, et les intensités de la sécheresse, à l'aide des programmes informatiques spécialisés dans le calcul des différentes catégories du SPI-3, SPI-12, SPI-24 ainsi que les moyennes mensuelles du SPI provenant de 28 séries pluviométriques. Ces auteurs ont conclu que La variation temporelle indique que les séquences de sécheresse sévissent 10% de la période d'étude.
- ~ **MANUAL REYES-GOMEZ V. et al. (2006)** : Ces auteurs ont étudiés la sécheresse hydrologique dans le bassin versant du Rio Chonchos, qui contient trois barrages (Boquilla, Las Virgenes et El Granero). Il se situe au Nord du Mexique et occupe une superficie 64000 Km<sup>2</sup>. En comparant les résultats obtenus du SPI de douze séries de précipitations mensuelles, provenant de 32 stations avec des mesures allant de 1970 à 2004, et les débits des apports annuelles historiques en eau de l'ensemble des barrages durant la période 1993 à 2004.



Ces auteurs ont conclu que la sécheresse hydrologique a été fréquente et compte 10 à 19 événement secs et d'une durée supérieur à une année.

### 13.1.2. EN INDE

~ **MISHRA A. K. et DESAI V. R. (2005)** : Ces auteurs ont étudié les variations spatio-temporel du SPI catégorie 1, 3, 6, 9, 12 et 24 mois par la combinaison de l'approche spatiale IDW (the inverse distance weighting) et celle de la méthode de Thiessen. Les mesures ont été prélevées à partir de cinq stations pluviométriques (Simulia, Rangagora, Tusuma, Kharidwar, et Phulberia) se trouvant dans le bassin versant du Kansabati (nord de l'inde) durant la période entre 1965 et 2001 (36ans). Ils ont montré que cette méthode convient mieux et donne une variabilité de la pluviométrie de 13 à 30% qu'influencera le SPI.

Cette méthode permis la couverture totale du bassin et de classer l'étendue en fonction de l'intensité et la durée de la sécheresse.

~ **DESAI V. R. et MISHRA A.K. (2005)** : Dans ce cas les auteurs pour les mêmes données spatio-climatiques du même bassin Kansa bâti, ont utilisé la méthode du réseau de neurones qui est une méthode stochastique linéaire tel que les modèles ARIMA et SARIMA.

Les résultats obtenus ont été comparés au développement des différentes catégories du SPI afin de fournir les signes de prévisions de la sécheresse.

### 13.1.3. EN SRI LANKA

~ **KUMARA R. P. S. et PUNYAWARDERNE B.V.R (2004)** : L'Analyse de la sécheresse hydrologique est effectuée dans le but du contrôle de la production de l'électricité, à Catchment dans l'île de Sri Lanka. Elle est faite par l'intermédiaire de l'analyse de la variance de la pluviométrie hebdomadaire et saisonnière des moussons, à l'aide du logiciel Minitab. Cette analyse montre que la variabilité de la pluviométrie a de très faibles différences significatives et montre aussi que cette variabilité est l'une des causes de la récurrence de la sécheresse au Sri Lanka qui se caractérise par un climat uniforme dans le temps et dans l'espace .

#### 13.1.4. AUX CARAÏBES

- ~ **POLOGNE L. et TROTMAN A. (2007)** : L'étude de la sécheresse est portée sur trois communes situées à l'Est de Cuba et sept provinces occidentales de la République Dominicaine. Ces auteurs ont utilisé le Système d'Information Géographique (SIG). Ils ont combiné des méthodes d'enquêtes interrogatoires des personnes touchés par ce fléau et des méthodes d'analyse des variables suivantes : précipitations, caractéristiques des sols, topographie, état de la végétation ainsi que d'autres variables en rapport avec les processus de sécheresse tels que les indicateurs de circulation de l'air et ses effets dans une région donnée. Les données recueillies ont permis de décrire la situation existante dans ces régions et ont montré à partir du SPI deux périodes principales de sécheresse. La première qui a commencé au début des années soixante et constitue la plus longue période sèche depuis 1931 avec presque cinq années de sécheresse consécutives. La deuxième, qui a eu lieu entre 2003 et 2005, est décrite comme l'un des processus de sécheresse les plus intenses de l'Est de Cuba.

#### 13.1.4. EN TURQUIE

- ~ **SIRDAŞ S. et ŞEN Z. (2003)** : L'Analyse de la sécheresse a été faite par ces auteurs en utilisant la méthode de **RUN** ainsi que la valeur centrée réduite normal (**Z**) qui est semblable à l'indice standardisé de précipitation (SPI). Ceci afin de mesurer le déficit pluviométrique à plusieurs échelles de temps ainsi que pour l'identification des diverses caractéristiques de la sécheresse qui sévissait entre 1931 et 1991, telles que la durée, l'intensité et l'étendu. Les données permettent de produire des cartes de surveillance par krigeage. Ce qui constitue un outil de suivi de ce phénomène dans la région de Trakya, se situant au nord-ouest de la Turquie et qui se caractérise par un climat type méditerranéen.

#### 13.1.5. EN ESPAGNE

- ~ **BEAUDIN I. (2006)** : Cet auteur a étudiée la sécheresse entre 1989 à 1994 par l'intermédiaire de deux indicateurs satellitaires, du capteur AVHRR du satellite NOAA 11 (l'indice de la condition de la végétation (VCI) et de l'indice de la condition thermique (TCI)). Ces indices permettent la caractérisation des situations de sécheresse calculées pour des aires de 11 km<sup>2</sup>. Les résultats ont été comparé à l'un des indicateurs de sécheresse météorologique tel que le SPI qui a été retenu après un test local par rapport au pourcentage à la normale (PN) et à des échelles de

temps variables (1, 2, 3, 6, 9 mois) provenant de 11 stations. Ces dernières possèdent une série temporelle de données de température et de pluviométrie plus de 30 ans en Andalousie.

L'analyse de la relation entre le VCI, le TCI et le SPI a montré une bonne corrélation entre eux en période de sécheresse et semblent supporter l'utilisation de l'imagerie satellitaire pour le suivi des sécheresses en milieu méditerranéen, plus particulièrement en Andalousie qui souffre beaucoup des sécheresses répétées.

- ~ **CARMELO C. G. JAVIER et M.V. (1993)** : Cette étude est faite dans la région sud-est des cotés méditerranéennes de la péninsule ibérique. Les auteurs ont analysé la sécheresse par méthode de chaînes de Markov dans le but la comptabilité des nombres de transitions de même que les probabilités qui interviennent dans le type de séquence recherché. Les données utilisées sont les précipitations journalières de 30 ans (entre 1947 et 1970). D'après les résultats obtenus la conclusion tirée les chaînes de Markov d'ordre 1 et 2 et autres ordre plus élevés n'offrent pas un bon ajustement de la probabilité dans le sud-est de l'Espagne et les autres milieux méditerranéens.

#### 13.1.6. EN TUNISIE

- ~ **BERGAOUI M. et ALOUINI A. (2001)** : Afin de dégager les caractéristiques de la sécheresse météorologique et hydrologique du bassin versant de Siliana (Tunisie), les auteurs ont étudié, les conséquences de la réduction des précipitations sur l'écoulement qui permettent l'identification des séquences sèches. Et pour déterminer la sévérité de la sécheresse l'analyse est faite par ces trois méthodes suivantes.

- La comparaison de la pluie moyenne annuelle au nombre d'écart-types,
- L'indice PDSI (Palmer Drought Severity Index),
- Le SPI est établi pour quantifier le déficit des précipitations pour des différentes échelles.

La comparaison entre les sécheresses météorologique et hydrologique fait apparaître les résultats suivants :

- Une année sur deux, voire sur trois, peut être retenue comme non déficitaire en termes de sécheresse météorologique. Cette durée pourrait être de trois ou quatre années pour la sécheresse hydrologique.
- Les périodes détectées sèches du point de vue météorologique sont de courte durée.
- Les séries pluviométriques et hydrologiques sont relativement dissymétriques.

- ~ **BENZARTI Z. et HABAIEB H. (2006):** Les auteurs ont analysés la récurrence et la persistance de la sécheresse en Tunisie, par des méthodes des estimations, des probabilités, telle que l'application des chaînes de Markov à l'échelle annuelle, étant donné 'une année sèche ou non, et précédée par une année sèche ou non, quelle est la probabilité d'avoir une année sèche, l'année suivante? L'étude est faite a partir 22 postes pluviométriques constitués des observations allant de 1909 à 1996. Ces postes ont été sélectionnés pour leur sa fiabilité, longueurs et leur représentativité spatiale, afin d'assurer une vision globale du phénomène sur l'ensemble du pays. Cette analyse pourrait contribuer à la planification de stratégies de mobilisation et de la gestion des ressources en eau. Et qui montre que, la sécheresse est un phénomène assez fréquent et récurrent, la probabilité d'avoir deux années sèches consécutives est plus importante dans les régions du Nord-Ouest et du Centre-Ouest de la Tunisie.

### 13.1.7. AU MAROC

- ~ **EL BOUQDAOUI K. et al. (2006) :** L'étude de la pluviométrie par ces auteurs au niveau du bassin versant du Srou au sud-ouest du Moyen Atlas central qui s'étend sur une superficie de 1443 km<sup>2</sup> montre que les précipitations sont irrégulières dans le temps et dans l'espace et leurs impacts sur les volumes d'eau écoulés. Ces impacts ont amené les auteurs à l'analyse d'une série de précipitations et des débits liquides à la station Chacha Amellah qui se trouve à l'aval de la zone d'étude pour saisir les fluctuations du régime hydrologique et la détermination des états sec. De ce fait la corrélation entre ces deux paramètres est forte dans leur évolution annuelle. L'évolution des précipitations mensuelles et annuelles pouvant caractériser la tendance évolutive par l'intensité et la durée des périodes déficitaires ou excédentaires. L'analyse des résultats fait apparaître une tendance générale à l'assèchement.

### 13.2. En l'Algérie.

- ~ **AISSAT D. (2006) :** L'auteur a étudié deux phénomènes climatiques les crues et les sécheresses à différentes échelles de temps dans la région du Moyen Cheliff. À partir de 24 postes, contient des observations allant de 1968 à 2001, la sélection de la période est faite sur la même période concomitante avec les séries des débits, ainsi les différentes lacunes mensuelles et annuelles ont été comblées à base de régressions multiples entre les postes voisins, qui présentent des coefficients de corrélations significatives. La visualisation graphique de l'évolution des apports

annuels de la station Pontéba sur l'Oued Chélif et de la pluviométrie annuelle à la station Chlef ANRH sur une période allant de 1973 à 2001 montre clairement une irrégularité interannuelle importante en plus d'une décroissance continue depuis plusieurs années.

- ~ **BOUCIFIANE A. (2006)** : Ce travail a été réalisé par l'auteur dans le but d'appréhender le rôle du relief dans la répartition spatiale des précipitations, par l'approche pluviométrie/relief (l'altitude, altitude lissée, l'exposition, les effets de site, la distance à la mer.) à l'échelle d'une unité hydrographique (bassin Chélif-Zahrez), afin procurer le manque de l'insuffisance du réseau de mesure et mettre des relations liant le paramètre pluies aux facteurs relatifs de la situation géographique. Ce travail a montré un changement du régime pluviométrique à partir des années soixante dix ainsi que l'apparition d'un déficit pluviométrique jusqu'à la décennie 1980/90, ce phénomène explique la persistance de la sécheresse.
- ~ **ACHITE M. et TOUAIBIA B. (2007)** : Les auteurs ont examiné les crues et les déficits pluviométrique au niveau du bassin versant de l'Oued Mina, par la méthode de l'analyse en composantes principale (A.C.P) qui sert à optimiser les données pluviométriques annuelles et reconstituer les séries hydrologiques, sur une période d'étude de 30 ans (allant 1970/71 à 1999/00). Les résultats ainsi obtenus sur le comportement de la pluie moyenne sur la première composante principale mettent en évidence une période excédentaire allant de 1970/71 à 1980/81, puis une période déficitaire de 1981/82.
- ~ **KETTAB A. et al. (2004)** : Les auteurs ont étudié le phénomène de la sécheresse dans les régions littorales de l'Algérie par intermédiaire de 08 stations météorologiques (Ghazaouat, Oran, Arzew, Alger, Chlef, Skikda, Annaba et El kala) qui couvrant 48 ans d'observations pluviométriques annuels et mensuels (de 1954 à 2001). Les méthodes utilisées sont les estimations par le modèle Jack nife et par bootstrap. L'utilisation de ces simulations a permis d'illustrer clairement l'information chronologique des pluies à l'échelle temporelle et font distinguer deux périodes, la période humide qui s'étale de 1954 à 1986 et la période sèche qui correspond à la dernière décennie (1990-2000). Selon ces deux méthodes le déficit pluviométrique est bien remarqué à l'Ouest (notamment à Oran, Ghazaouet et Arzew), les régions du Centre et de l'Ouest ont vu un le déficit pluviométrique supérieur à 50% et à l'Est il était de 30%, durant la période (1987-2001).

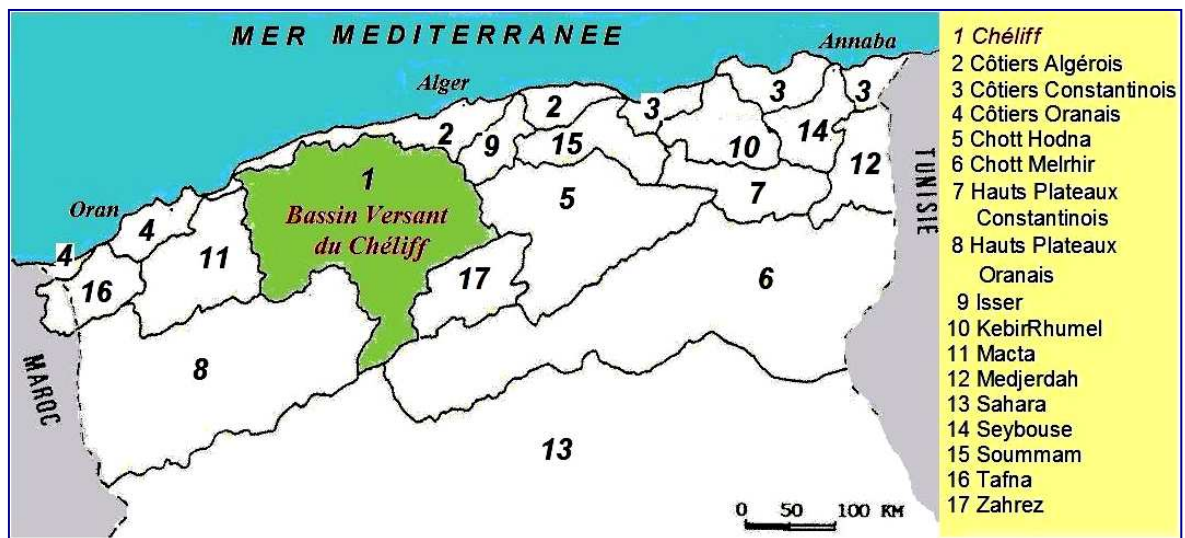
- ~ **MEDDI M. et al. (1996)** : L'étude faite par les auteurs concerne le Nord-Ouest de l'Algérie. La méthode utilisée est le modèle numérique PLUVIA, qui permet l'établissement de la carte de la répartition spatiale de la pluviométrie à l'échelle mensuelle. Cette technique a permis de tracer les cartes pluviométriques des mois de janvier, mars et novembre en fonction de la topographie. L'avantage de cette méthode montre l'influence des paramètres topographiques sur la distribution spatiale des pluies à l'échelle régionale et locale. Les résultats obtenus montrent que, les pluies mensuelles augmentent du sud au nord et de l'ouest à l'est. La partie littorale et les sommets qui lui sont proche reçoivent les pluies les plus importantes et les régions intérieures reçoivent moins de pluies du fait de l'appauvrissement des masses nuageuses de leurs humidités au fur et à mesure qu'elles se dirigent vers l'intérieur.
- ~ **MEDDI H. Et MEDDI M. (2007)** : Les auteurs ont étudié la variabilité des précipitations à différentes échelles temporelles pour déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique. A l'aide des tests statistiques (test de Pettit, la statistique de Lee Héghinian et la segmentation de Hubert) et par l'intermédiaire de dix stations pluviométriques du Nord Ouest Algérien ont établi une typologie des sécheresses par la méthode exprimant le déficit pluviométrique en pourcentage de la moyenne annuelle. Les résultats montrent des irrégularités spatiales des précipitations, une rupture dans la décennie 70 pour la quasi-totalité des postes étudiés et des réductions de la pluviométrie lorsque l'on se rapproche des régions arides aussi l'augmentation de la variabilité suit l'accroissement de la longitude, la diminution de la latitude et l'altitude atténue cet accroissement.

***Chapitre II :***  
***Présentation du milieu physique***

## Chapitre 2 : Présentation du milieu physique.

### 1. Situation géographique.

Le bassin du Chélif, se trouve au Nord de l'Algérie dans la région Centre Ouest entre  $34^{\circ}$  et  $36^{\circ}30'$  de latitude Nord, et entre  $0^{\circ}$  et  $3^{\circ}30'$  du longitude Est, se limite au Nord par les crêtes de l'atlas tellien littoral et au Sud par l'atlas tellien saharien, occupant une superficie de **43799 Km<sup>2</sup>**. La région du Cheliff – Zahrez ; qu'elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par la région Oranie - Chott - Chergui, au Sud par le désert et à l'Est par la région de l'Algérois et Chott – Hodna (Fig. 03).



**Figure 03: Carte des bassins versants en l'Algérie y compris la zone d'étude**  
(Les numéros représentent les bassins et leurs noms géographiques, selon l'ANRH)

### 2. Populations et Démographie.

La population du bassin de Cheliff d'après RGPH en 1998 est de 3152085 habitants répartie sur 429 agglomérations. Environ 70% de la population totale se concentre dans les grandes villes telles que ; Ain Oussera, Souguère, Aflou, Tissemsilt, Khemisti, Tiaret, Ksar Chellala, Frenda, Relizane, Oued Rhiou, Djidiouia, Chlef, Boukadir, Oued sly, Ain Defla, Miliana, Khemis Miliana, Ain Soltane, Ksar El Boukhari, les 30% restant de la population se trouvant en zones éparées rattachés au monde rural. La population des différentes agglomérations passerait de 4,3 millions d'habitants en 2010 à 5.20 millions d'habitants en 2020, soit une augmentation de près de 3% par an (ABH Chlef, 2004).

### 3. Relief.

Le bassin versant du Cheliff occupe une portion de l'Algérie dont l'orographie est à la fois simple et typique. Des chaînes montagneuses, parallèles à la côte, séparées par les zones déprimées ou par de hautes plaines, Ce bassin comporte une cuvette en succession et en parallèle du nord-sud



inter-tellienne, constitue les Hauts plateaux, amont de Mohamadia, bassin de la Mina, qui draine les eaux du plateau de Frenda et de Cheliff celle de Sersou à travers Nahar Ouassel , les sous bassins de la rive droite et gauche du principal affluent de l'Oued Cheliff qui possède le cours d'eau le plus long et le débit le plus grand.

#### 4. Géologie.

Le bassin du Cheliff appartient aux bassins sédimentaires sublittoraux allongés Est -Ouest et mis en place après, la dernière phase alpine de tectonique tangentielle. Au Nord, cette dépression est séparée de la mer par le Tell septentrional représenté par une suite de reliefs parallèles formés essentiellement de terrains jurassico-crétacés que l'on retrouve aussi dans la plaine (Dahra et massifs épi-métamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Témoulga). Au Sud le bassin du Cheliff est limité par le Tell méridional représenté par un ensemble de massif montagneux où le substratum y est principalement marno-calcaire et correspond à l'allochtone tellien avec ses différentes nappes. Ces deux ensembles telliens ont été structurés au cours du Mésozoïque suite à plusieurs phases tectoniques. Pendant que les nappes telliennes s'achèvent de se mettre en place, un nouveau cycle sédimentaire s'amorce marqué par une transgression qui envahit le bassin et finit par déposer une épaisse sédimentation mio-plio-quaternaire. Parallèlement, le bassin du Cheliff est soumis pendant tout le Néogène à une importante tectonique principalement extensive et polyphasée. Cette tectonique continue jusqu'à l'actuel (quaternaire), comme en témoigne l'intense activité sismique de la région (source: [www.abh.comdz/bassin/geologie](http://www.abh.comdz/bassin/geologie). '24/10/2008').

#### 5. Climat.

Le climat du bassin Cheliff est une transition entre le climat aride dans la partie Sud des hauts plateaux, semi-aride et subhumide au Nord, intervient principalement par sa composante hydrique (pluviométrie), qui régit fortement le régime des eaux souterraines et superficielles, du fait de son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride.

Le Cheliff est soumis à des conditions hydro-climatiques défavorables, caractérisées par :

- Des précipitations irrégulières, avec des variations interannuelles importantes,
- Des régimes hydrologiques dominés par, une forte irrégularité saisonnière et interannuelle des écoulements, et par la violence des crues.

**NB :** Faute de disponibilité des données climatiques réparties dans le temps et dans l'espace au niveau de l'unique source d'acquisition ces données à savoir l'ANRH et l'ONM, ce qui a présenté un obstacle majeur dans le cadre de notre travail. Pour palier à cette contrainte, il a fallu la prise en compte des données contenues dans le site électronique international – [www.tutiempo.net](http://www.tutiempo.net) –

### 5.1. Pluviométrie.

Le tableau ci-dessous (tab.5) montre une pluviométrie annuelle minimale de 100 mm, une maximale de 700 mm et une moyenne de la décennie 1995/2005 pour cinq régions différentes du Cheliff qui varié entre 191,1 et 494,5 mm. Ces écarts remarquables sont dus à la variabilité pluviométrique spatiale.

L'évolution de la pluviométrie annuelle dans la figure 4, pour les quatre régions du Chélif durant la décennie 1995/2005, elle est très élevée dans la région de Tiaret, plus basse dans la région Ksar chellala et intermédiaire pour les régions El khemis, Ouled fares et Hamadna.

**Tableau 5 : La Pluviométrie annuelle moyenne (mm), pour les régions du Chélif, durant la période 1995/2005.**

Années	K. Chellala	Khemis	O. Fares	hamadna	Tiaret
1995/96	206,2	517,5	449,4	406,1	705,6
1996/67	202,98	277,7	352,6	250,1	491,2
1997/98	219,9	382,3	387,2	298,3	621,4
1998/99	235,8	372,9	277,7	211,4	429,7
1999/00	184,9	239,5	251,5	154,23	395,0
2000/01	218,9	419,1	305,2	373	492,4
2001/02	107	347,1	376,8	377,2	392,5
2002/03	106,9	398,3	330,8	278,14	490,3
2003/04	305,9	399,6	320,1	297,2	563,7
2004/05	122,5	398,1	287,6	249,2	363,3
<b>Max</b>	305,9	517,5	449,4	406,1	705,6
<b>Min</b>	106,9	239,5	251,5	154,23	363,3
<b>Ecart</b>	199	278	197,9	251,87	342,3
<b>Moy</b>	191,1	375,2	333,9	289,5	494,5

Source : (ANRH, 2008)

### 5.2. Température.

La température des moyennes annuelles moyennes pour les quatre stations différentes dans le tableau (tab. 06) oscille entre 14 °C et 19°C, avec un écart de 1.6 °C à 6.3°C. le moyen bassin Chélif les moyennes des mêmes périodes sauf la région sud (Ksar Chellala) considéré par sept années, est de 16.8 °C.

Les évolutions des températures moyennes les plus élevées sont marquées dans la région du Moyen Chélif (Chlef) autour 20°C, et les plus faibles sont dans la région de la Mina (Tiaret) entre 15°C et 16°C, et en Haut Chélif (Miliana) variées entre 16°C et 17°C (fig. 5).

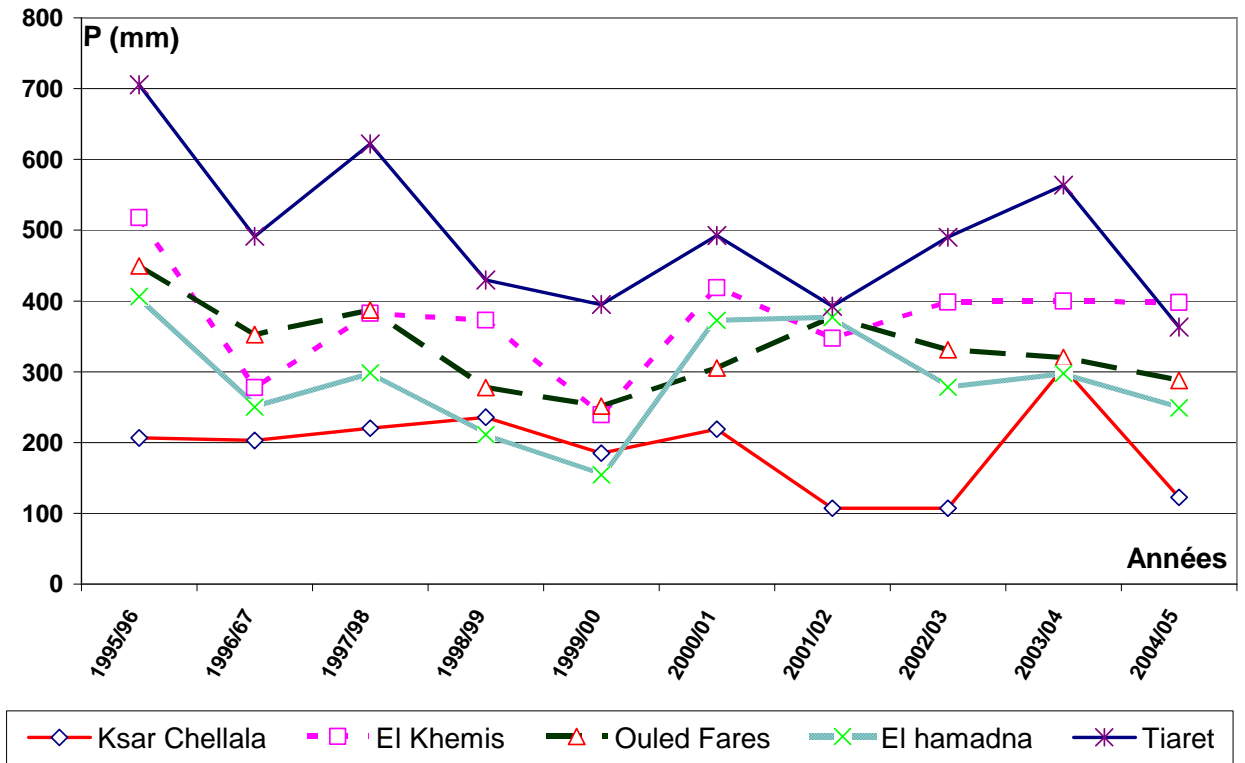


Figure 4 : Évolution de la pluviométrie annuelle moyenne (mm), pour les régions du Chélif, durant la période 1995/2005.

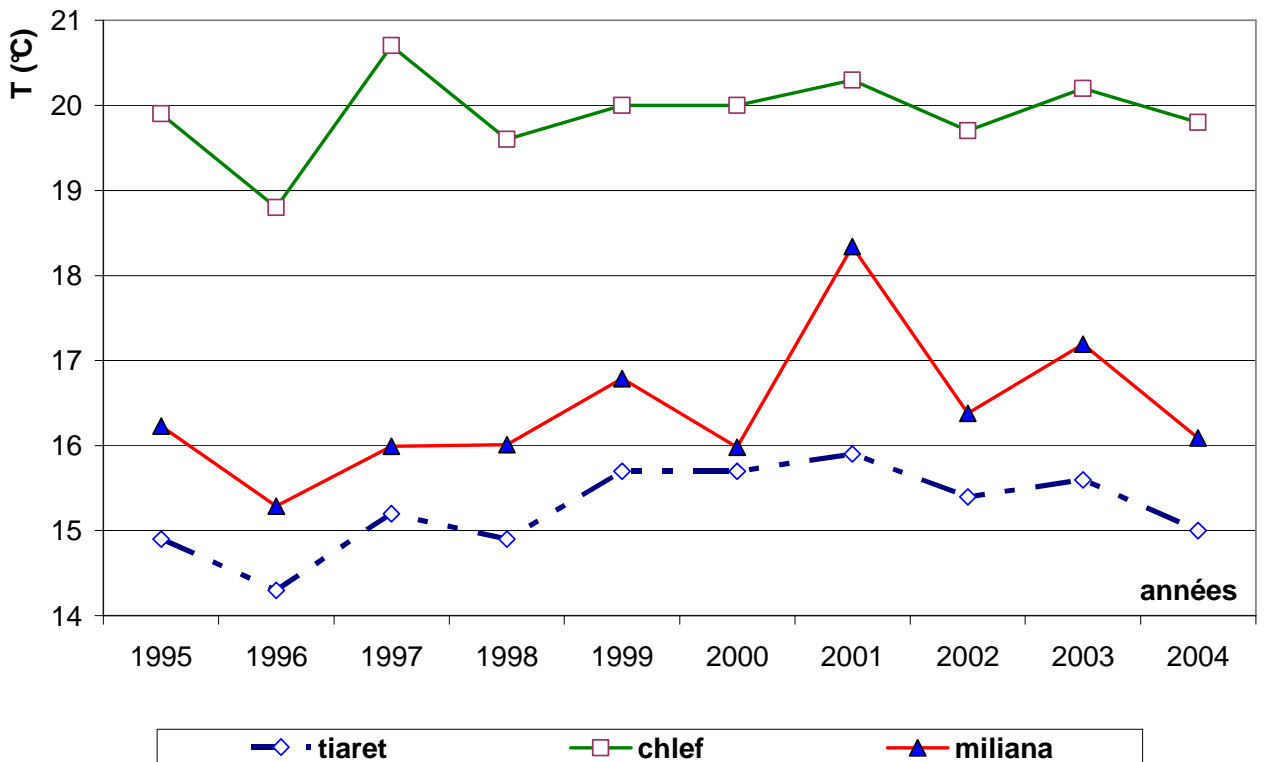


Figure 5 : Évolution de la température annuelle moyenne (°C), dans les régions du Chélif, durant la période 1995/2008.

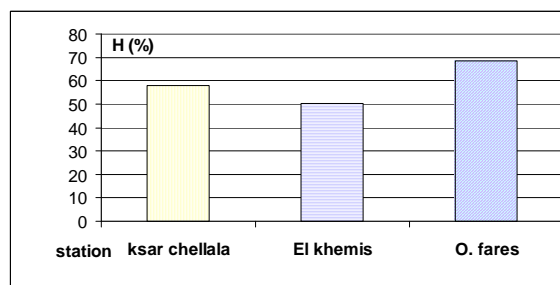
**Tableau 06 : La Température moyenne annuelle, pour les régions du Chélif, durant la période 1995/2008.**

années	*Tiaret	*Chlef	**Miliana	**K chellala
1995	14,9	19,9	16,23	/
1996	14,3	18,8	15,29	/
1997	15,2	20,7	15,99	/
1998	14,9	19,6	16,01	/
1999	15,7	20	16,79	/
2000	15,7	20	15,98	/
2001	15,9	20,3	18,34	/
2002	15,4	19,7	16,38	13,85
2003	15,6	20,2	17,19	15,03
2004	15	19,8	16,09	19,29
2005	/	/	/	19,29
2006	/	/	/	13,75
2007	/	/	/	14,02
2008	/	/	/	12,99
<b>Max</b>	15,9	20,7	18,34	19,29
<b>Min</b>	14,3	18,8	15,29	12,99
<b>Ecart</b>	1,6	1,9	3,05	6,3
<b>Moy</b>	15,3	19,9	16,4	15,5

Source : (\* ONM Dar al Beida, 2008 ; \*\*www.tutiempo.net, '02/03/2009')

### 5.3. Humidité relative.

Les moyennes de l'humidité relative annuelle moyenne du Chélif notées dans la figure 6, montre que la région du Moyen Chélif, arrive en tête avec 70% , la plus faible (50%) à la région du Haut Chélif, la région sud du bassin. Les moyennes déterminées à partir des trois stations atteignent 60% sur une période de **15 ans** (source : ONM Chlef) la station Ouled Fares : **68,5 %** et de la station El Khemis : **50,25%** et de la station Ksar Chellala : **58,1%** sur une durée de 07 ans (source : www.tutiempo.net, '02/03/2009').



**Figure 6 : Histogramme de la moyenne de l'humidité relative moyenne annuelle au niveau trois stations météorologiques du bassin Chélif.**

### 5.4. Insolation moyenne annuelle.

Le Chélif englobe une insolation moyenne annuelle au voisinage 2800 heures/an si on considère d'après l'ONM Chlef estimées à partir des stations El khemis et Ouled fares, sur la période 1993/2004.

## 6. Agriculture irriguée.

Le bassin du Chélif possède de grandes potentialités agricoles, naturelles, en fertilités des sols, en climat, en ressources en eaux..., et des infrastructures très importantes liées à l'irrigation.

On trouve une quinzaine de barrages, quatre périmètres d'irrigation couvrant 61500 ha, réalisés depuis les années trente (Moyen Chélif mis en service en 1936, Bas Chélif mis en service 1937, haut Chélif 1937 et la Mina en 1941), de stations de pompages et de dérivations de l'eau ..., en plus les moyens humains spécialisés qui maîtrisent les outils de la production moderne du point vu techniques ou pratique, rendant ce bassin à vocation agricole. On remarque que les agriculteurs de cette région exploitent la terre depuis leurs existences et cultivent leurs terres principalement sous le régime pluviométrique. A cause de la sécheresse répétée et persistante cette agriculture pluviale d'après plusieurs spécialistes concernés par ce domaine n'a pas de tendance au future proche.

Selon les bilans des campagnes d'irrigations fournis par l'ONID « l'Office National de l'Irrigation et de Drainage, (ONID) » la structure qui gère l'eau d'irrigation des quatre grandes plaines, les superficies irriguées pour une année moyenne (de forte demande de cette matière indispensable à la production (en cas de sécheresse de type agricole) dépassent les 110 000 ha y compris toutes les spéculations confondues tel que; les maraîchages, les céréales d'été et d'hiver, les fourrages verts indispensables à la production agricole animale, l'arboriculture fruitière diverses, les cultures industrielles etc..., d'où 95 000 ha irrigués à partir de la grande hydraulique, 08 barrages assurent un volume annuel moyen de 200 millions m<sup>3</sup>.

## 7. Ressources en eau.

Au Cheliff plusieurs facteurs sont à l'origine du régime irrégulier des eaux. Qui fonctionne selon la variabilité de la pluviométrie qu'ont imprimée les grands traits de la répartition des ressources en eaux souterraines et superficielles, à travers le bassin. Les ressources en eau du bassin du Cheliff sont relativement bien connues, mais la sécheresse qui sévit depuis des décennies nécessite d'actualiser leurs évaluations dans cette région. Les apports sont évalués à 1 540 millions de m<sup>3</sup>/an pour des années pluvieuses et 1078 millions de m<sup>3</sup>/an pour des années sèches (source MRE, 2008). Ils dépendent de l'hydraulicité de l'année.

**Tableau 07: les ressources en eau mobilisées et mobilisables annuelles moyennes dans le Cheliff.**

Ressources en eaux Interannuelles moyennes	Mobilisables (million m <sup>3</sup> )	Mobilisées (million m <sup>3</sup> )	Taux Mobilisées (%)
Eaux superficielles	<b>1024,99</b>	<b>593,7</b>	<b>58</b>
Eaux souterraines	<b>354,28</b>	<b>177,7</b>	<b>50</b>
total	<b>1379,27</b>	<b>771,4</b>	<b>56</b>

Source : (ABH Chlef, www.abh.comdz/bassin/. '24/10/2008')

Le taux de remplissage est estimé à "16.93%" soit 301.64 Hm<sup>3</sup> pour l'ensemble des barrages du bassin hydrographique Cheliff y compris Zahrez, qui est arrêté par le ministère des ressources en eaux (MRE) à la date du 15/10/ 2008.

D'après le tableau 07 les eaux de surface ou souterraine sont toutes exploitables de la même manière par des taux de mobilisation compris entre 50% et 58%, d'où un taux total de 56% qui dépasse la moitié, du fait de l'irrégularité interannuelle très prononcée des écoulements.

Actuellement et afin de répondre aux différentes demandes en eau pour tous les usages (alimentation en eau potable, irrigation et industrie), 15 barrages déjà en exploitation totalisant une capacité de stockage de 2118,9 Hm<sup>3</sup>, régularisant un volume total de 733,5 Hm<sup>3</sup> /an (tab. 08).

**Tableau 08 : Les barrages de régularisations des eaux superficielles du bassin Chélif.**

N°	Barrage	Wilaya	Oued	Année mise en service	Capacité initiale hm <sup>3</sup>	Volume régularisé hm <sup>3</sup>
1	Merdja.S.Abed	Relizane	Chlef	1984	54,9	40
2	Gargar		Rhiou	1988	450	120
3	S.M.B.Aouda		Mina	1978	235	100
4	Bakhadda	Tiaret	Mina	1959	56	44
5	Dahmouni		Nahr Ouassel	1987	41	9
6	C.Bougara	Tissemsilet	Nahr Ouassel	1989	13	5,5
7	Sidi-Yacoub	Chlef	Lardjem	1985	280	98
8	Oued Fodda		Fodda	1932	228	69
9	Kt.Rosfa		Fodda	2004	75	21
10	Deurdeur	Ain Defla	Ain Defla	1984	115	40
11	Harreza		Hareza	1984	70	23
12	Ghrib		Chlef	1939	280	105
13	S.M.B. Taiba		Bda	2005	95	21
14	Oued Mellouk		Rouina	2003	127	38
15	Harbil		Medea	Harbil	1988	1
<b>T O T A L</b>					<b>2118,9</b>	<b>733,5</b>

Source : <http://www.mre.gov.dz> (24/10/2008)

## 8. Alimentation en eau potable à travers le Cheliff.

Selon l'ABH Chlef (2004) et d'après les informations récoltées auprès les services de l'hydraulique localisées dans le bassin du Chélif, montre un taux de raccordement en eau potables de 90 % pour une population totale estimée pour l'année 2003 sur RGPH de 1998 de 3 624 895 habitants et un volume distribué de 73 979 295 m<sup>3</sup> pendant cette année.

Cela signifie que les disponibilités des ressources par habitant par année quelque sont évaluées environ à 60 litre/hab./jour ce qui classe ce bassin dans des situations de crises.

# **Chapitre III :**

# **Méthodologie de l'analyse**

## Chapitre 3 : Méthodologie de l'analyse.

### Introduction.

La sécheresse est l'un des aspects du climat méditerranéen typique. Bien qu'elle soit une propriété à part entière du climat, la sécheresse constitue un événement climatique extrême souvent qualifié d'aléa naturel (Donald, 2003 in OSS, 2009). L'analyse de la sécheresse météorologique dans le bassin du Chéouli, par l'indice standardisé ou normalisé de précipitation SPI, (Mc Kee et al., 1993), nécessite des séries chronologiques les plus longues possibles, car certains chercheurs exigent au moins 50 années de données pour avoir plus de chance d'obtenir de meilleurs résultats (mieux que 20 ans) Edward (2008).

En effet, la connaissance des classes SPI pour différentes échelles de temps, joue un rôle important de l'identification de cette dernière : Elle permet par la suite de mieux maîtriser les apports en eau qui engendrent le bon fonctionnement du système de prévision et de gestion des ressources hydriques à court, moyen et long terme.

Pour la méthode de travail, les étapes suivantes ont été adoptées :

#### A. Les données pluviométriques :

- Choix des stations remplissant les conditions, les plus longues, les moins lacuneuses et représentatives du sous bassin correspondant,
- Comblement de lacune dans les séries chronologiques des stations ainsi choisies
- Détermination des séries chronologiques des sous bassins dépourvus de stations pluviométriques, au sein de l'ANRH ou l'ONM.
- Détections des ruptures,
- Sens des tendances
- Quantification des taux de changement s'ils existent.

#### B. Les épisodes secs et humides :

##### B.1. Identification des périodes sèches et humides par SPI-12 :

- Ajustement de la pluviométrie à la loi de probabilité gamma incomplète (annexe 7).
- Détermination des paramètres de cette loi de probabilité par la méthode de maximum de vraisemblance (annexe 6).
- Détermination des valeurs de la loi de probabilité gamma incomplète (annexe 8).
- Transformation de la probabilité gamma incomplète à la loi normale centrée réduite (fig. 08).
- Détermination des valeurs du SPI-12 (annexe 9).



## **B.2. Détermination des caractéristiques des séquences sèches :**

- Calcul de la durée et la fréquence ;
- Intensité, magnitude ou sévérité ;
- Étendue spatiale.

# **1. Analyse des données pluviométriques.**

## **1.1. Choix des stations pluviométriques**

Pour diverses raisons, principalement les lacunes insupportables à travers les années et les courtes périodes de mesures dans la plupart des données des stations appartenant à ce bassin, demandées auprès de l'ANRH, on s'est basé dans cette étude, sur 36 stations pluviométriques équivalentes à chaque sous bassins et sur 37 années d'observations (1968/1969 à 2004/2005).

On note :

- Chaque sous bassin (SB) est représenté par une station pluviométrique choisie,
- 03 sous bassins SB3, SB4, et SB6 dépourvus de postes pluviométriques,
- Seule la pluviométrie annuelle est considérée pour le calcul du SPI Échelle de 12 mois,
- Taux de lacune variant entre 0 % et 54.2 %
- Une carte du bassin du Chélif sert à localisation de chaque sous bassin (annexe 15).

L'étude de la variabilité de la sécheresse au niveau du Chélif se base sur l'indice SPI-12 qui dépend de la pluviométrie annuelle cumulée. La qualité de cette dernière est influencée par :

- Les erreurs de mesures liées soit à l'observateur ou à l'agent de saisie,
- Le changement de coordonnées de poste pluviométrique,
- L'endommagement de l'instrument de prélèvement,
- La mauvaise estimation de la donnée remplaçante etc....

D'où leurs importances dans les interprétations du régime pluviométrique ou dans les distinctions des classes de sècheresses (annexe 03) :

**Tableau 9 : Les Stations choisies pour l'analyse et les taux des lacunes.**

SB	Station	Nb obs.	Nb lac.	taux %	SB	Station	Nb obs.	Nb lac.	taux %
SB1	10102	19	17	47,2	SB19	11904	37	1	2,6
SB2	10205	20	6	23,0	SB20	12004	28	6	17,6
SB3	Poste estimé	0	37	100	SB21	12108	30	7	18,9
SB4	Poste estimé	0	37	100	SB22	12203	28	7	20,0
SB5	10502	16	19	54,2	SB23	12308	33	5	13,2
SB6	Poste estimé	0	37	100	SB24	12403	35	1	2,8
SB7	10708	26	5	16,1	SB25	12507	33	1	2,9
SB8	10803	31	5	13,9	SB26	12605	36	0	0
SB9	10905	34	1	2,8	SB27	12703	36	0	0
SB10	11007	33	3	8,3	SB28	12804	36	0	0
SB11	11104	29	7	19,4	SB29	12908	37	0	0
SB12	11208	33	3	8,3	SB30	13002	37	0	0
SB13	11302	33	6	15,4	SB31	13103	28	5	15,2
SB14	11405	37	2	5,1	SB32	13202	22	7	24,1
SB15	11510	30	4	11,8	SB33	13304	31	2	6,1
SB16	11603	35	4	10,3	SB34	13410	28	8	22,2
SB17	11703	36	3	7,7	SB35	13506	34	2	5,6
SB18	11804	37	0	0	SB36	13606	25	11	30,6

## 1.2. Méthodes de comblement de lacune.

Pour les besoins de l'étude et pour une bonne répartition spatiale, nous avons procédé au comblement des lacunes en utilisant le logiciel Hydrolabe (version 98.2) qui a été développé par J.P. LABORDE et MOUHOUS N., Université de Nice, France, cet outil est employé pour:

- Le comblement de lacune, fait par la méthode des moindres carrées ou régression linéaire simple entre la station choisie et la station la plus voisine non choisie, s'ils existent dans le même sous bassin ou le sous bassin limitrophe.
- une régression linéaire multiple entre la pluviométrie annuelle des 33 sous bassins et les coordonnées topographique (longitude X, latitude Y et altitude Z) plus la distance verticale entre le point centrale du sous bassin et le premier point a la cote de la mer, pour l'estimation des séries chronologique inexistantes afin d'avoir la couverture totale BV (Annexe 5).

### 1.3. Méthode de détection de rupture dans la série chronologique.

L'étude de la stationnarité des séries pluviométriques annuelles, appliquées à chaque série chronologique de chaque sous bassin, est un outil d'identification de la variabilité des sécheresses incidentées dans le bassin de Chélif.

Dans ce but on a cour à des tests uni-variés d'homogénéité des séries temporelles ou de détection de rupture en moyenne (Annexe 1) :

→ **Le test de Pettitt** (Pettitt, 1979) :

- \* l'Hypothèse nulle est l'absence de rupture, pour un seuil de confiance de 95%
- \* l'année de rupture est donnée par la probabilité de dépassement à une valeur critique du test

→ **La statistique de Buishand** (Buishand 1982) :

- \* l'Hypothèse nulle est l'absence de rupture, pour un seuil de confiance donné de 95%.

→ **La méthode Bayésienne de Lee & Heghinian** (Lee et Heghinian, 1977) :

- \* L'année de rupture et sa position sont déterminées par le mode de la fonction densité de probabilité à posteriori, sans l'hypothèse nulle.

→ **La procédure de segmentation non paramétrique de séries hydrométéorologiques**

(Hubert et Carbonnel, 1987) :

- \* Détermine l'année de rupture, après analyse de la différence des moyennes après et avant de la rupture au Niveau de signification du test de Scheffé: 1%

**NB :**

- Ces tests sont regroupés dans le logiciel Khronostats élaboré par l'IRD (2002) « Institut de Recherche pour le Développement, l'Université de Montpellier et l'École des Mines ».

- Ces tests donnent des résultats généralement concordants du moins au niveau de la reconnaissance d'une hétérogénéité dans la série, même si les estimations des ruptures en moyenne données par plusieurs tests diffèrent parfois de quelques années.

### 1.4. Analyse de la tendance des séries chronologiques.

Dans le but essentiel de savoir, objectivement s'il existe un changement systématique significatif dans la série pluviométrique à étudier nous avons choisi 02 tests :

→ **Test de Mann - Kendall (1975) :**

Est un test statistique de tendance non paramétrique utilisé pour la détection de la présence de la tendance monotone croissante ou décroissante au sein de la série pluviométrique par

l'intermédiaire de nombre statistique de Kendall ( $\tau$ ), s'intéresse à la distribution asymptotique du couple (pluviométrie, année).

\* Absence de la corrélation est l'hypothèse nulle de ce test.

**NB :** Le calcul de tendances est fait par le logiciel XLSTAT-Pro 7.5.

→ **Test Kendall - Stuart (1943); WMO (1966) :** est un test de corrélation sur les rangs

\* Test de déclaration si la série pluviométrique présente le caractère aléatoire ou non,

\* L'hypothèse nulle est alternative à celle du test de tendance, pour un seuil de confiance de 95%.

**Remarque :** l'indépendance entre les deux variables implique une corrélation nulle, mais la réciproque n'est pas nécessairement vraie. En effet, l'absence de relation linéaire ne signifie pas l'absence de relation entre les deux variables, cette relation pouvant prendre d'autres formes qu'une simple droite. Nous pouvons essayer de transformer les variables afin de linéariser une relation non linéaire pour les variables d'origine.

### 1.5. Méthodes d'estimation du taux de changement du régime pluviométrique :

Sur la base principalement, de la constance de la moyenne de séries chronologiques, après avoir détecté la présence ou non de la tendance monotone, nous quantifions ce changement par les méthodes suivantes :

#### 1.5.1. Méthode de Sen (1968) :

Est une méthode non paramétrique robuste d'estimation des coefficients de régression de la pluviométrie en fonction de l'année correspondante car elle est sensible aux valeurs extrêmes cette méthode est utilisable dans le cas où la tendance peut être assimilée comme linéaire (fig. 9).

$$Y = a x + b$$

**a :** est la pente (coefficient de Sen)

**b :** ordonnée à l'origine

D' où le taux de changement annuel en % :

$$\text{T.C. (\% / année)} = (a / b) \times 100$$

#### 1.5.2. Méthode de pourcentage de changement de moyenne (%)

( Meddi H., 2007) :

Le pourcentage de changement annuel de la moyenne est la différence de moyenne entre l'avant et l'après rupture par rapport à l'avant rupture :

$$\text{D. M. (\%)} = (\text{PAM Avant Rupture} - \text{PAM Après R}) / \text{PAM Avant Rupture}$$

**D. M (%)** : Le pourcentage différence de moyenne

**PAM Avant R** : La pluviométrie interannuelle moyenne avant rupture

**PAM Après R** : La pluviométrie interannuelle moyenne après rupture

## **2. Analyse spatio-temporelle des épisodes secs et humides par l'indice SPI-12.**

### **2.1. Identification des périodes sèches et humides par SPI-12.**

#### **2.1.1. Définition de l'indice standardisée de précipitation.**

Le SPI est un indice de sécheresses basé sur la probabilité de précipitations mensuelle à n'importe quelle échelle de temps allant de un mois à 48 mois qui rendent compte de l'incidence de la sécheresse sur les disponibilités en eau (NDMC, 2008). Leur calcul est basé sur la distribution des pluies sur de longues périodes, de préférence d'une durée supérieure à 50 ans (Gutmann, 1998), si non une durée requise minimale de 30 ans (Mc Kee et al., 1993).

Le relevé des pluies correspond à une distribution de probabilité (exemple la distribution de probabilité gamma incomplète), qui est alors normalisée de sorte que SPI de la moyenne, pour n'importe quel endroit et n'importe quelle période de temps, soit égal à zéro (fig. 7 et 8).

Les valeurs positives du SPI indiquent les périodes humides et les valeurs négatives, les périodes sèches, comme les conditions sèches ou humides deviennent plus graves, l'indice devient de plus en plus négatif ou positif.

Les chercheurs McKee Tom, Doesken Nolan et Kleist John en 1993 ont conçu le SPI pour, améliorer la détection de début de la sécheresse, son suivi et servir à évaluer son degré d'intensité. Qu'utilisé opérationnellement depuis 1994 au Colorado et retenu par le NDMC (National drought mitigation center) aux États Unis d'Amérique, pour la lutte contre la sécheresse.

#### **2.1.2. Méthodes de calculs.**

La détermination du SPI, se fait en général par deux méthodes :

- **Méthode indirecte**

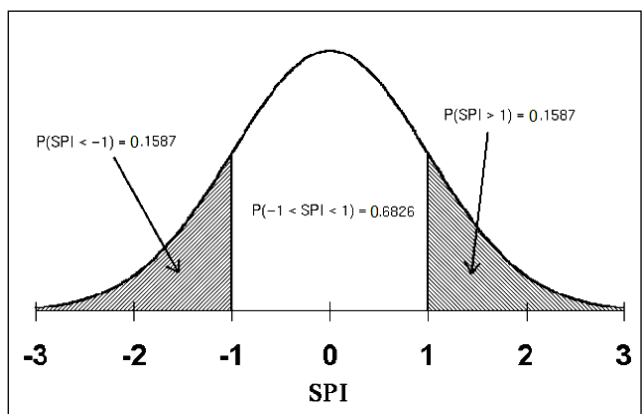
A l'aide d'un programme en langage FORTRAN (Colorado Climate Center, 2003 in NDMC, 2008), utilisé pour calculer le SPI. À partir des données de précipitation mensuelle, pour différentes échelles 1,2, 3, 6, 12 et 24 mois... (Annexe 3).

- **Méthode directe :**

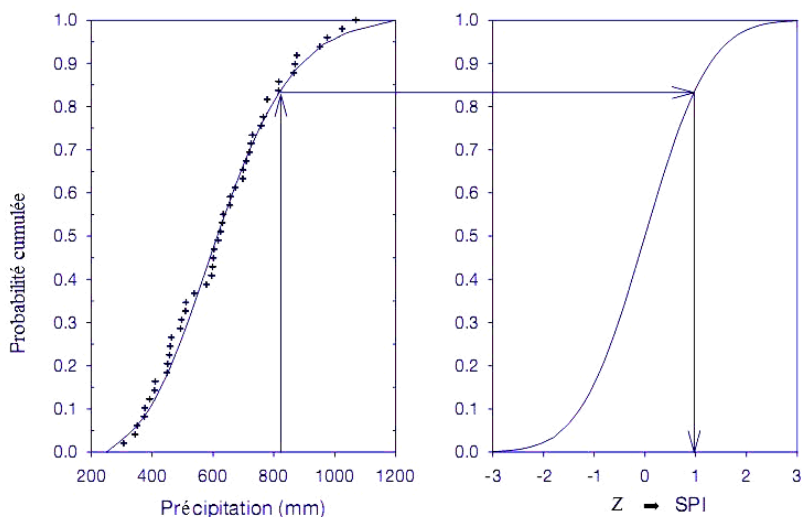
C'est la méthode décrite par McKee T. et al., 1993 et 1995.

**2.1.3. Démarche de détermination du SPI-12 (annexe 02).**

- ~ détermination de la distribution de probabilité cumulative de la fonction gamma,
- ~ transformation de la distribution gamma à la distribution normale,
- ~ cette transformation permet de simplifier l'interprétation des SPI.
- ~ la courbe de distribution normale est basée sur une moyenne de valeur zéro et un écart-type de valeur un.
- ~ l'indice standardisé des précipitations peut être comparé au nombre d'écart-types dont la valeur des précipitations examinées s'éloigne de la moyenne,
- ~ pour une distribution normale équivalente et un éventail suffisant de distributions théoriques ajustées pour les données réelles
- ~ le résultat du SPI peut être interprété comme une probabilité à l'aide de la distribution cumulative normale (les utilisateurs peuvent s'attendre à ce que SPI se situe à l'intérieur d'un écart-type environ 68 % du temps, de deux écarts-types environ 95 % du temps, etc.).



**Figure 07 : La distribution de la probabilité normale pour le SPI de la moyenne égale à zéro et l'écart type égale à un.**



**Figure 08 : Exemple transformation de la distribution gamma à la distribution normale.**

### 2.1.4. Interprétation du SPI.

La gravité d'une sécheresse peut être comparée en fonction de la valeur indiquée par cet indice SPI qui correspond à une échelle ou une gamme de temps pour une station ou une région.

Les valeurs 1,00 et au-dessus, représentent les classes humide, à -1,00 et moins, représentent les classes sèches avec près de la normale des conditions allant de - 0,99 à + 0,99 (tab.10).

**Tableau 10 : L'interprétation du SPI par rapport à leur valeur et leur probabilité au non dépassement selon Mckee (1993).**

Classes SPI	Probabilités cumulatives du SPI	Interprétations
$SPI \geq 2$	Prob. $SPI \geq 0,9772$	<b>Très Humide (TH)</b>
$1,50 \leq SPI < 2$	$0,9332 \leq \text{Prob. SPI} < 0,9772$	<b>Humide (H)</b>
$1,00 \leq SPI < 1,50$	$0,8413 \leq \text{Prob. SPI} < 0,9332$	<b>Modérément Humide (MH)</b>
$-1 < SPI < 1$	$0,1587 < \text{Prob. SPI} < 0,8413$	<b>Normale (N)</b>
$-1,50 < SPI \leq -1,00$	$0,0668 < \text{Prob. SPI} \leq 0,1587$	<b>Modérément Sec (MS)</b>
$-2 < SPI \leq -1,50$	$0,0228 < \text{Prob. SPI} \leq 0,0668$	<b>Sec (S)</b>
$SPI \leq -2$	Prob. $SPI \leq 0,0228$	<b>Très Sec (TS)</b>

Par conséquent, selon la valeur du SPI calculée, si le cas des précipitations de faible probabilité cumulée, indique la sécheresse. Si non, une forte probabilité, c'est un événement anormalement humide sur la fonction de probabilité cumulative.

### 2.1.5. Les avantages de la méthode

- ✓ Créé pour tenir compte de l'effet de différentes périodes de temps sur les ressources en eau,
- ✓ Distribution normale des données nécessaires; transformation des données parfois nécessaires,
- ✓ Normalisation par l'écart type est un avantage, car les climats humides et secs peuvent être présentés de la même façon,
- ✓ Différentes régions peuvent être comparées,
- ✓ Les périodes humides sont aussi surveillées.

### 2.1.6. Les facteurs limitatifs associés à la méthode

Plusieurs facteurs peuvent limiter la portée des résultats et leur interprétation.

- ✓ Selon les stations ayant plus de 30 ans de données,
- ✓ Les séries pluviométriques sont souvent incomplètes,
- ✓ Les trous dans les séries temporelles rendent le calcul du SPI-12, moins représentatif,
- ✓ Les valeurs erronées sont souvent difficiles à détecter.

## 2.2. Détermination des caractéristiques des séquences sèches.

Les paramètres de la sécheresse sont (D'après, L. S. Pereira, 2006) :

### 2.2.1. Début de la sécheresse :

Elle commence lorsque la valeur du SPI-12 déterminée est négative

### 2.2.2. Durée :

C'est le temps entre le début ( $SPI \leq -1$ ) et la fin ( $SPI \geq 1$ ) de la sécheresse persistante

### 2.2.3. Sévérité (Tab.10):

Dépend de la classe des  $SPI \leq -1$

### 2.2.4. Magnitude :

C'est la somme des valeurs des  $SPI \leq -1$  durant la sécheresse persistante

### 2.2.5. Intensité :

C'est le rapport (**Magnitude / Durée**), de la sécheresse persistante

### Remarque:

D'une manière générale, l'indice **SPI** peut servir à surveiller les conditions d'aridité ou d'humidité d'une durée plus ou moins longue. Exemple des périodes d'un à deux mois peuvent servir à surveiller les variations de précipitation à court terme, ainsi que les activités qui réagissent aux changements à court terme dans le régime de précipitations, comme la croissance des cultures.

Les **SPI** des périodes de **12 mois** et plus sont utiles lorsqu'il s'agit de surveiller les variations à long terme des précipitations ainsi que les activités qui réagissent longtemps après les changements survenus dans le régime de précipitations. Ces activités comprennent l'approvisionnement en eau des barrages hydro-électriques, l'élevage et les risques de feu de forêt.



# **Chapitre IV :**

## **Résultats et discussions**

## Chapitre 4 : Résultats et Discussions.

### 1. Étude de la pluviométrie.

#### 1.1 Régime de la pluviométrie annuelle de chaque sous bassin du Chélif durant la période du 1968/1969 à 2004/2005.

L'étude des éventuels changements du régime pluviométrique ou l'étude de la stationnarité du régime pluviométrique est un outil d'identification des variations spatio-temporelles de la pluviométrie dans le bassin Cheliff. Cette analyse consiste à la mise en œuvre et à l'interprétation de tests statistiques non paramétriques d'homogénéité des séries chronologiques de la pluviométrie (Voir rappels; Annexe 01).

Ces tests faits par l'intermédiaire du logiciel Khronostats (utilisé par IRD en 2002) sont :

- Le test de corrélation sur le rang,
- Le test de Pettitt,
- Le test de Buishand,
- La procédure Bayésienne de Lee et Heghinian,
- La procédure de segmentation des séries hydrométéorologiques de Hubert et Carbonnel.

Ils sont plus particulièrement adaptés à la détection de ruptures, la quantification des différences des moyennes avant et après cette rupture, ainsi que l'identification de la présence ou l'absence de la corrélation dans une série chronologique. En plus on ajoutant le test non paramétrique de Mann-Kendall, nécessaire pour savoir le sens de la tendance vers la croissance ou vers la décroissance évaluée par la suite selon la Méthode de Sen.

**NB :** Une rupture peut être définie de façon générale par un changement climatique réel, par le changement des conditions de mesures (déplacement de station, apparition de constructions devant cette station, développement de grandes arbres non présent auparavant, outil endommagé..), dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné, le plus souvent inconnu, ...

#### 1.2. Détection des ruptures dans les séries chronologiques étudiées.

Les résultats obtenus dans le tableau 11 à l'aide du Le logiciel Khronostats, des tests prédits appliqués sur chaque série de la pluviométrie annuelle, durant la période du 1968/1969 à 2004/2005, pour l'analyse de la constance ou le changement brutal de la moyenne dans les série chronologique.

**Tableau 11 : Les résultats des tests et la différence en % des moyennes de la pluviométrie annuelle pendant la période d'étude pour chaque sous bassin.**

Stations	Test Buishand	Test Pettitt	M <sup>de</sup> Lee-Heghinian	Hubert-Carbonel	Avant Rupture	Après Rupture	Différence
PV 010102	O	1981	1976	1976	223,96	125,46	+44,0
PV 010205	O	1980	1973	1980	191,5	48,9	+74,5
PVE SB3	O	1980	1976	1976	217,2	120,7	+44,4
PVE SB4	O	1980	1980	1980	261,2	158,3	+39,4
PV 010502	O	1991	1969	1969	228,6	97,4	+57,4
PVE SB6	O	1980	1976	1976	357,5	220,3	+38,4
PV 010708	N	N	N	N	/	/	/
PV 010803	O	1981	1979	1978	399,8	309,9	+22,5
PV 010905	N	N	N	N	/	/	/
PV 011007	N	N	N	N	/	/	/
PV 011104	N	N	N	N	/	/	/
PV 011208	N	N	N	N	/	/	/
PV 011302	N	N	N	N	/	/	/
PV 011405	N	N	N	N	/	/	/
PV 011510	O	1987	1982	1982	506,2	371,7	+26,6
PV 011603	N	N	N	N	/	/	/
PV 011703	O	1980	1976	1976	622,4	323,4	+48
PV 011804	O	1986	1986	1986	503,3	367,9	+26,9
PV 011904	O	1979	1979	1979	431,7	317,1	+26,5
PV 012004	O	1979	1979	1979	413,6	328,9	+20,5
PV 012108	O	1980	1976	1973	629,8	445,7	+29,2
PV 012203	O	1980	1979	1979	523,9	357,7	+31,7
PV 012308	O	1979	1978	1978	488,6	291,1	+40,4
PV 012403	O	1979	1977	1977	392,5	246,6	+37,2
PV 012501	N	N	N	N	/	/	/
PV 012605	O	1979	1979	1979	454,7	309,9	+31,8
PV 012703	O	1980	1978	1978	470,9	265,8	+43,6
PV 012804	O	1980	1972	1971	637,1	269,1	+57,8
PV 012908	O	1980	1979	1979	654,5	466,9	+28,7
PV013002	O	1979	1977	1977	510	357,6	+29,9
PV 013103	N	N	1971	1971	624,1	456,4	+26,9
PV 013202	O	1975	1973	1973	310,9	163,9	+47,3
PV 013304	O	1980	1972	1972	404,7	239,7	+40,8
PV 013410	O	1980	1975	1973	373,8	223,1	+40,3
PV 013506	O	1980	1976	1976	335,3	232,3	+30,7
PV 013606	N	N	1973	1973	408,5	279,5	+31,6

**NB :**

**N** : Non. Pas de rupture dans la série chronologique (série chronologique stationnaire).

**O** : Oui. Rupture(s) dans la série chronologique

(Existe un changement dans la constance de la moyenne).

Montrent que :

- ~ **la stabilité des moyennes** dans les séries chronologiques observées aux stations des SB07, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 16 et 25 pour l'ensemble des tests, à l'exception les SB 31 et 36 qui représentent seulement la stationnarité dans les tests de Buishant et Pettitt.
- ~ Le reste majorité des stations des sous bassin pour l'ensemble des tests, contiennent des ruptures expliquées par d'éventuel changement des moyennes.
- ~ **Les années de ruptures** : Si nous comptons le nombre de fois de répétitions de toutes les années de ruptures détectées par les 03 tests (de Pettitt, M<sup>de</sup> Bayésienne et de Hubert), on remarque que 80% de ruptures se trouvant dans les trois années suivantes; en premier lieu l'année 1979 (représente 32% des ruptures globales), en deuxième l'année 1980 (30%) et en dernière l'année 1976 (18%). Donc, ces années constituent les points de changements du régime pluviométrique dans l'ensemble du bassin Chélif. D'une manière générale, si on classe les ruptures par test, on remarque d'après le tableau 11:

- **05 sous bassins** ayant une année de rupture commune; **SB4** en 1980; **SB18** en 1986, **SB19, 20 et 26** en 1979 ;
- **04 sous bassins** ayant des années de ruptures diverses; **SB8** en 1978, 1979 et 1981; **SB21** en 1973, 1976 et 1980; **SB28** en 1971, 1972 et 1980; **SB34** en 1973, 1975 et 1980
- **18 sous bassins** ayant une année de rupture commune dans deux tests, qui sont résumé dans ce tableau.

**Tableau 12: Les années de ruptures par sous bassin pour deux tests.**

<i>SB</i>	<i>5</i>	<i>2</i>	<i>15</i>	<i>31</i>	<i>33</i>	<i>32</i>	<i>36</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>6</i>	<i>17</i>	<i>35</i>	<i>24</i>	<i>30</i>	<i>23</i>	<i>27</i>	<i>22</i>	<i>29</i>	
<i>Année</i>	1969	1980	1982	1971	1972	1973		1976					1977	1978	1979				

- **09 sous bassins** restants, sont stationnaires ne présentent aucune rupture : SB7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16 et 25.

### Conclusion

La majorité des stations pluviométriques couvrant le bassin Chélif représentent un changement dans leur régime pluviométrique principalement dans les années 1979 et 1980 par contre quelques sous bassin dans la partie nord-est du bassin représentent une stationnarité dans leurs régimes pluviométrique.

**NB** : pour le choix de l'année de rupture, la première année détectée on la prend en considération.

### 1.3. Quantification du changement des régimes pluviométriques.

#### 1.3.1. Calcul de la différence de changement des moyennes pluviométriques annuelles avant et après la rupture.

La quantification des changements de la stationnarité de la pluviométrie est faite par la méthode **différence de changement des moyennes** qui se base sur la constance de la moyenne de la série.

Dans les résultats du tableau 11. On remarque que, les diminutions des moyennes après ruptures sont présentées dans les onze années suivantes :

- ~ **En 1969** : Une diminution de 57,4% observée dans le SB5;
- ~ **En 1971**: Une diminution de 57,8% observée dans le SB28 et une diminution de 26,9% observée dans le SB31;
- ~ **En 1972** : Une diminution de 40.8 % observée dans le SB33;
- ~ **En 1973** : Une diminution de 29.2 % observée dans le SB33, 47.3% dans le SB32, 40.3% dans le SB34 et 31.6% observée dans le SB36
- ~ **En 1976** : Une diminution observée dans les SB01, 3, 6, 17, et 35 variée entre 30,7 % et 44,45 %;
- ~ **En 1977** : Une diminution de 37,2% observée dans le SB24 et une diminution de 29,9% observée dans le SB30;
- ~ **En 1978** : Une diminution observée dans les SB08, 23 et 27 variée entre 22,5 % et 43,6 %;
- ~ **En 1979** : Une diminution observée dans les SB19, 20, 22, 26, et 29 variée entre 20,5 % et 31.8 %;
- ~ **En 1980** : Une diminution de 39,4 % observée dans le SB4; 74% dans le SB2
- ~ **En 1982** : Une diminution de 26,6 % observée dans le SB15;
- ~ **Et en 1986** : Une diminution de 26,9 % observée dans le SB18.

**On remarque que les 27 sous bassins constituant des ruptures :**

- \* la décennie 70/79 présente, une rupture à travers les 23 sous bassins ayant une diminution de la moyenne fluctuant entre 57,8% et 20.5%, et les premières années correspondent aux diminutions les plus élevées.
- \* le reste des ruptures se trouvant dans la décennie 80/89 observées dans les SB4, 15 et 18 seuls pour les années 1980, 1982 et 1986 , la différence varie entre 26,9 % et 39,45 % .

### 1.3.2. Calcul du pourcentage de réduction pluviométrique annuelle par la méthode de SEN.

A pour but essentiel de savoir, objectivement s'il existe un changement systématique significatif dans les séries pluviométriques traitées. On se basant sur deux tests de corrélation :

Test sur les rangs et test de tendances (hypothèse nulle respectivement  $H_0$  et  $H^*0$ ).

**Tableau 13 : Résultats des tests de tendances sur la pluviométrie annuelle et taux de changement selon la méthode de SEN (1968) : T D C (% / an).**

Station	H0	H*0	a	b	r2	T D C (%/an)
PV 010102	R	R	-0,52	28,8	26,6	1,8
PV 010205	R	R	-0,32	25,1	10,3	1,3
PVE SB3	R	R	-0,47	28	22,4	1,7
PVE SB4	R	R	-0,54	29,3	29,4	1,8
PV 010502	R	R	-0,49	28,3	23,8	1,7
PVE SB6	R	R	-0,57	29,9	33	1,9
PV 010708	A	A	X	X	X	X
PV 010803	R	R	-0,44	27,4	19,3	1,6
PV 010905	A	A	X	X	X	X
PV 011007	A	A	X	X	X	X
PV 011104	A	A	X	X	X	X
PV 011208	A	A	X	X	X	X
PV 011302	A	A	X	X	X	X
PV 011405	A	A	X	X	X	X
PV 011510	R	R	-0,51	28,6	25,7	1,8
PV 011603	A	A	X	X	X	X
PV 011703	R	R	-0,65	31,4	42,3	2,1
PV 011804	R	R	-0,6	30,3	35,6	2
PV 011904	R	R	-0,53	29,1	28,1	1,8
PV 012004	R	R	-0,33	25,4	11,2	1,3
PV 012108	R	R	-0,76	33,4	57,4	2,3
PV 012203	R	R	-0,56	29,7	31,6	1,9
PV 012308	R	R	-0,53	29	27,8	1,8
PV 012403	R	R	-0,36	25,9	13	1,4
PV 012501	R	R	-0,31	25	10	1,2
PV 012605	R	R	-0,43	27,2	18,5	1,6
PV 012703	R	R	-0,44	27,3	19,1	1,6
PV 012804	R	R	-0,42	27	17,8	1,6
PV 012908	R	R	-0,54	29,4	29,8	1,8
PV 013002	R	R	-0,48	28,1	23,1	1,7
PV 013103	A	A	X	X	X	X
PV 013202	R	R	-0,43	27,3	18,9	1,6
PV 013304	R	R	-0,43	27,1	18,4	1,6
PV 013410	R	R	-0,59	30,2	34,4	2
PV 013506	R	R	-0,55	29,5	30,4	1,9
PV 013606	A	A	X	X	X	X

NB/ R : Rejetée A: Acceptée

#### 1.4. Tests de tendances de la pluviométrie.

→ **Test de tendance. (Mann-Kendall, 1975).**

Que nous pouvons considérer, comme la loupe de la corrélation des séries chronologiques.

- **L'hypothèse nulle ( $H^*0$ ):** Absence de corrélation à un seuil de signification de 5%.

→ **Test de corrélation sur les rangs. (Kendall et Stuart, 1943; WMO, 1966).**

- **L'hypothèse nulle ( $H_0$ ) :** la série chronologique est aléatoire (alternative du test de tendance).

Pour ces deux tests dans la plupart des séries, les tendances sont significatives et expliquent des monotonies décroissantes. Ces monotonies sont déduites par les valeurs négatives de la pente dans les équations de corrélation du tableau 13, sauf pour les séries des sous bassins; 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 31 et 36 qui sont stables.

L'application de la **Méthode de SEN** pour le calcul des portions de réductions pluviométriques théoriques annuelles, sera évidente spécialement pour tendances significatives, voir tableau 13. La réduction elle varie entre 1,2 à 2,3 % chaque année. Les maximums des réductions se trouvent dans les stations des SB17, 18, 21, et 34 et les minimums dans les stations des SB2, 20 et 25.

#### Conclusion

Les résultats des deux méthodes démontrent qu'il y a des diminutions remarquables de la pluviométrie dans la plupart des séries et expliquent des tendances à la baisse de la pluviométrie favorisant des déficits en ressources hydriques (fig. 9).

**NB :** La méthode de SEN, est utilisable dans le cas où la tendance peut être assimilée linéaire. Pour cela, on prend seulement les sous bassin où la tendance dans le test de Mann-Kendall, est non significative, autrement dit, si l'hypothèse nulle  $H^*0$  (absence de tendance) est rejetée.

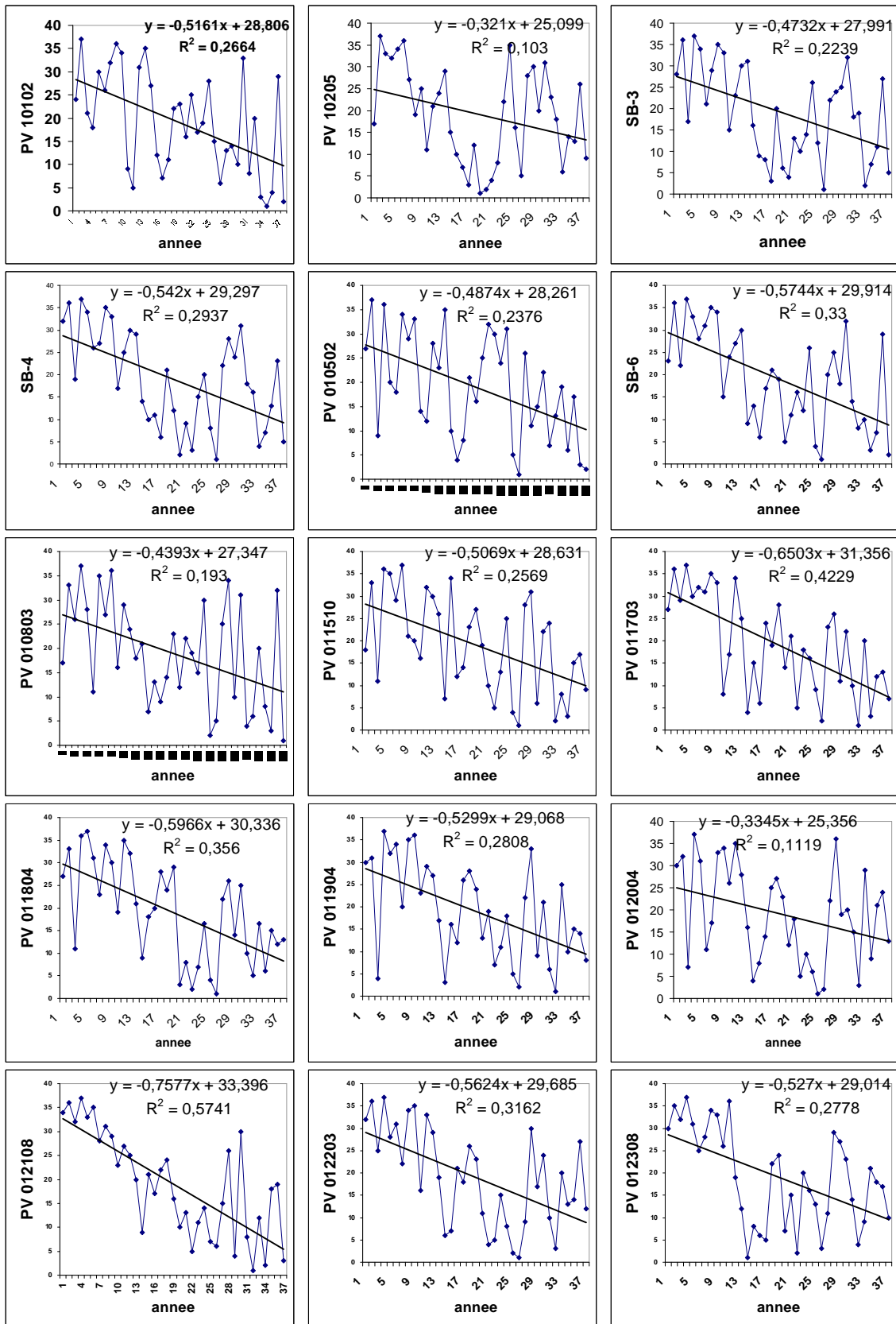


Figure 9 : Formes décroissantes des tendances pluviométriques durant



la période du 1968/69 au 2004/05.

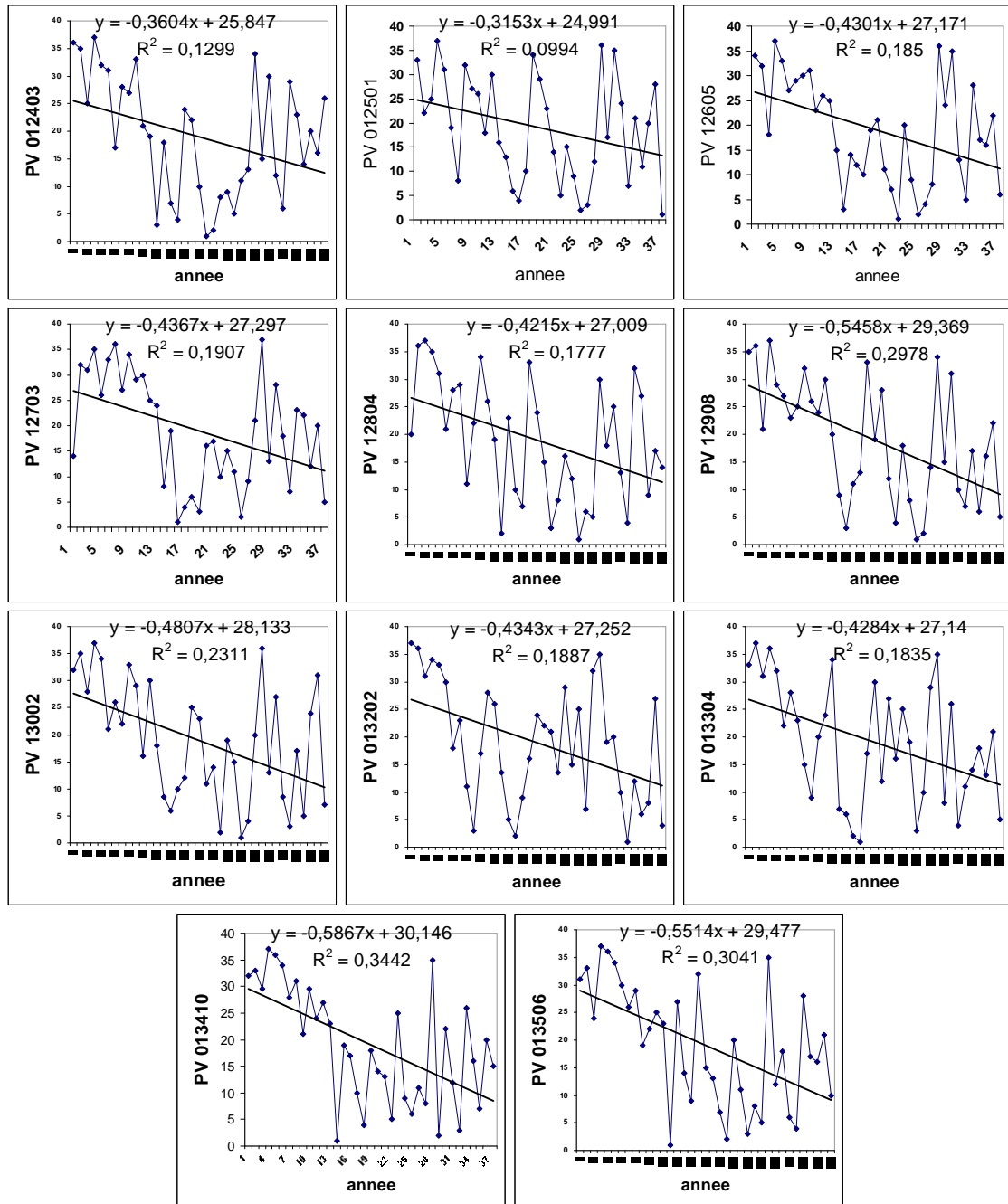


Figure 9 (suite) : Formes décroissantes des tendances pluviométriques durant la période du 1968/69 au 2004/05.

## 2. Étude des périodes sèches et humides.

### 2.1. Ajustement de la pluviométrie étudiée à la loi gamma incomplète : (Test Kolmogorov-Smirnov).

L'ajustement des séries chronologiques de chaque série pluviométrique à la loi gamma incomplète par le test Kolmogorov-Smirnov, à un niveau de signification  $\alpha = 5 \%$  montre que :

**H0** : est acceptée pour l'ensemble de séries des stations choisies

=> Ces séries s'ajustent à la loi de probabilité gamma incomplète (annexe 7).

$$D'ou : D_{\max} < D_n$$

Tel que :  $D_{\max} = \max (F_n(x) - F(x)) ;$

$D_{\max}$  : la valeur observée maximale

$F_n(x)$  : distribution de valeurs observées

$F(x)$  : distribution théorique

$D_n$  (table,  $\alpha = 5 \%$  et  $n = 37$ ) = 0,2182 : la valeur critique théorique.

### 2.2. Détermination du SPI-12 de chaque sous bassin (SB) pendant la période d'étude.

Avant de commencer les calculs du **SPI-12** (annexe 9), il faut auparavant déterminer les paramètres de la loi de probabilité gamma incomplète par la méthode des maximums de vraisemblance (annexe 6), pour le calcul de la probabilité de cette loi (annexe 8), nécessaire pour la transformation de la loi gamma à la loi normale centrée réduite qui déduit cet indice.

### 2.3. Début et évolutions de la sécheresse sur l'ensemble du Chéouiff.

Les évolutions du SPI-12 de chaque sous bassin (fig.10) indiquent:

Un début de sécheresses observées durant l'année 1981/1982 (confirmant les résultats obtenus par les auteurs Achite et Touabia (2003)). L'année d'apparition de la première sécheresse remarquable au niveau de 12 S/Bassins parmi les 36 qualifiés de normaux sauf SB5 modérément humide. Avant cette année la sécheresse est inexistante ou rare. Ce qui nous permet de dire la décennie 1970/1979 est qualifiée d'humides. En suite, la persistance de la sécheresse devient plus marquée et répétée sauf pour les années 1994/1995 considérée comme normale et 1995/1996 humide.

Par ailleurs dans chaque période :

- \* **Cinq** sous bassins exceptionnellement secs, durant la **décennie 70/79** et avant, **68/69 (SB10), 70/71 (SB10 et 19), 75/76 et 76/77 (SB36)**, en 77/78 (**SB33**) et en 78/79 (**SB1**);
- \* **Six** dans la **décennie 80/89**, en 80/81 (**SB9 et 24**), en 85/86 (**SB11, SB27, et SB34**) et en 86/87 (**SB2, SB11 et SB27**) ;
- \* **Huit** dans la **décennie 90/99**, en 90/91 (**SB7, SB11, et SB18**), en 91/92 (**SB20 et 24**), en 94/95 (**SB28, SB35, et SB36**) ;
- \* **Cinq** dans la **moitié décennie 00/09**, en 00/01 (**SB1, SB3, et SB4**), en 02/03 (**SB8**) et en 03/04 (**SB5**).

D'après le tableau 14 l'année où le maximum des sous bassins ayant la même année d'apparition de la première sécheresse, est **1981/82** (SB7, 15, 17, 19, 20, 23, 26, 28, 34 et 35), puis se prolonge à l'année **1982/83** observée dans six sous bassins : SB8, 13, 24, 25, 29 et 30 ensuite en **1983/84** pour cinq sous bassins (SB5, 12, 16, 27 et 33). Cette situation peut indiquer que ces années sont les années de bouleversement des périodes humides aux sèches pour l'ensemble du Chélif.

#### 2.4. Classes humides (fig.11).

« Les chutes de pluies observés sont plus élevées que la normale ce sont les années excédentaires »

Elles représentent le nombre d'années des sous bassins, où le SPI-12 observé est supérieur ou égale à +1, illustrées dans la figure 10 par la couleur bleu, montrant les classes suivantes:

- ✓ **Très Humide (TH)** : leur existence dans l'ensemble des sous bassins ne dépassent jamais 2 évènements ou **Un** événement (observé dans **18 S/Bassins**) ou nulle (dans **8 S/Bassins**).
- ✓ **Humide (H)** : **cinq** évènements maxims observé pour SB36, **4 fois** pour SB12 et 33 et **3 fois** pour SB7. Dans le reste majorité des S/Bassins est observé entre **0 et 2 fois**;
- ✓ **Modérément Humide (MH)** : leurs évènements sont observés dans presque tous les SB du Chélif, et sont plus importantes dans les SB15 et 19.

La répartition spatiale des périodes humides, dans la figure 11 ci après indique que, les SB1, 5, 17, 28 et 29 contiennent le moins d'évènements des classes humides (4 sur 37 évènements) et les SB15, 18, 19, et 26 contiennent le plus d'évènements humides (8 sur 37 évènements) par sous bassin ceci explique que leur distribution spatiale est aléatoire (Annexe 11).

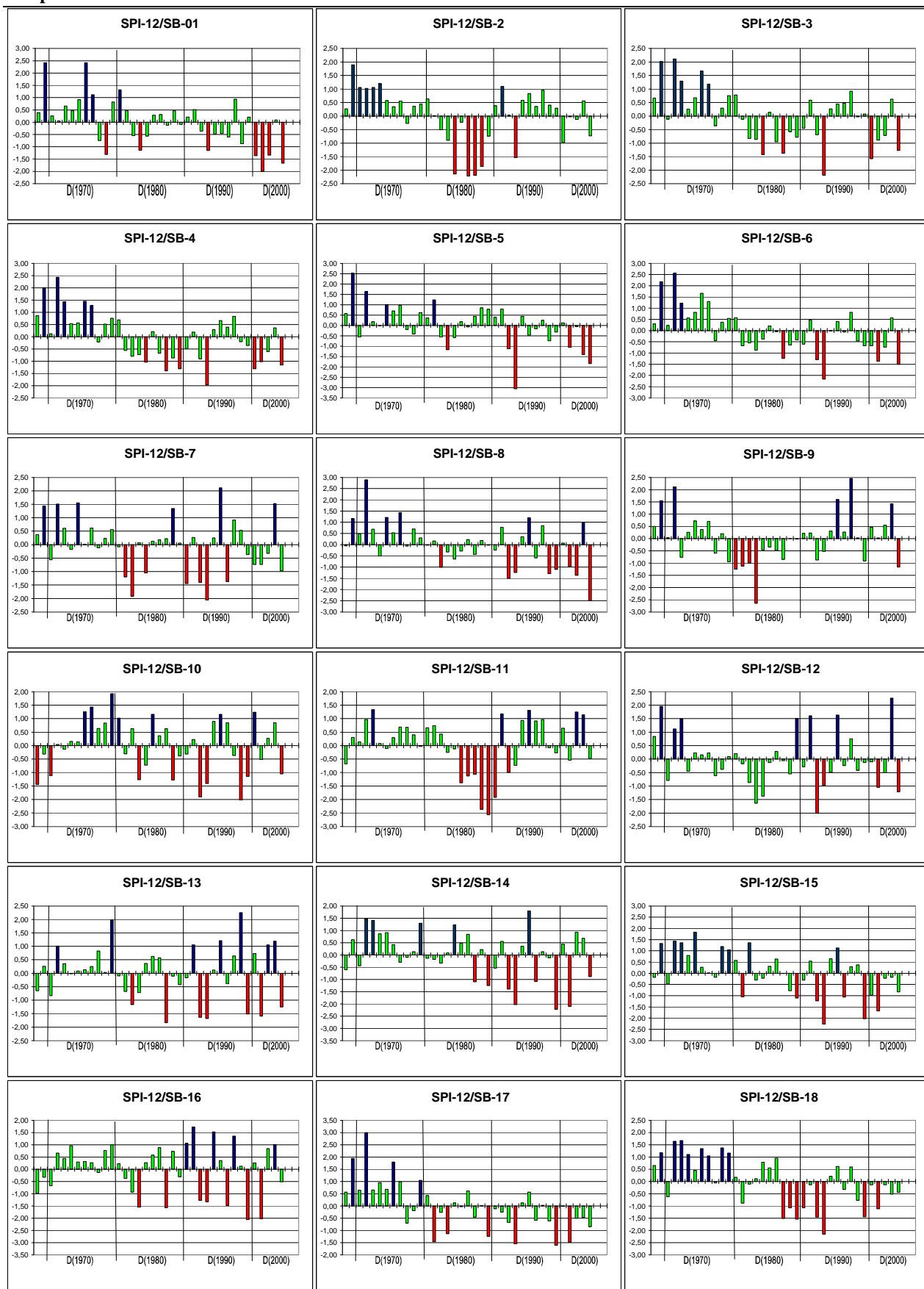
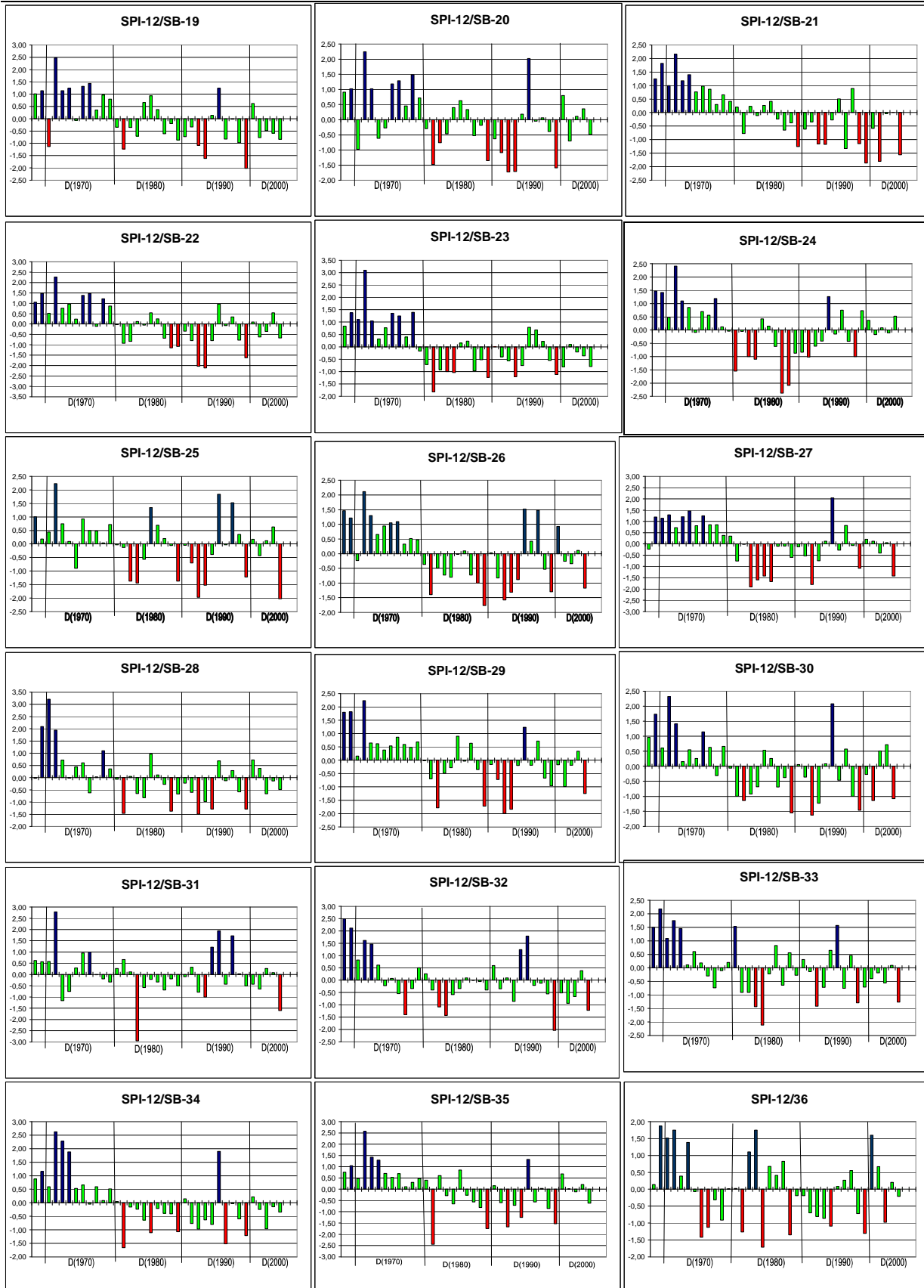


Figure10: Évolution de l'indice SPI-12 durant la période d'étude de chaque sous bassin du Cheliff.



Humide



Normale



Seche

Figure 10 (suite): Evolution du SPI-12 durant la période d'étude de chaque sous bassin du Cheliff.

### 2.5. Classes sèches (fig. 12).

Elles représentent le nombre d'années des SPI-12 observées inférieures ou égales à **-1** dans chaque sous bassin, illustrées dans la figure 10 par la couleur rouge qui montre les classes suivantes:

- ✓ **Très Sèche (TS)** : leur nombre d'évènements est **nulle** à **un** évènement observé dans 29 Sous Bassins, ne dépassant jamais 2 évènements observés dans les SB11, 15, 16, 22 et 24 ou 3 évènements, observés dans les SB2 et 14.
- ✓ **Sèche (S)** : leur maximum d'appariation est 5 d'évènements au SB13, 4 fois au SB27 et 29 et 3 fois au SB20, 21 et 35, tandis que le reste des SB, est observé 0 à 2 fois;
- ✓ **Modérément Sèche (MS)** : leur évènement représenté 3 fois, 4 fois et 6 fois, le maximum 7 fois au SB 10 et 6 fois au SB4 et 36 (Annexe 11).

La répartition spatiale des périodes sèches dans la figure 12 montre que, leur distribution est aléatoire (même que les périodes humides), le SB31 contient le minimum des séquences sèches (4 évènements), cependant le maximum renfermant 9 évènements dans le SB10 et 8 évènements dans le SB18 et 21 (Annexe 11).

### 2.6. Classes humides et sèches.

On remarque que dans la figure 13, si on compare les années humides et les années sèches pour chaque sous bassin que :

- **11 sous bassins ayant subi des années humides plus que des années sèches** pour les S/Bassins 19, 12, 33, 2, 15, 20, 22, 23, 26, 31 et 32.
- **16 sous bassins ayant subi plus des années sèches** dans les SB 1, 4, 5, 10, 11, 14, 16, 17, 21, 25, 30, 7, 8, 24, 28, 29
- **9 sous bassins ayant subi les mêmes nombres d'années sèches et année humides dans**, les SB 3, 6, 9, 13, 18, 27, 34, 35, et 36.

### Conclusion

Dans l'ensemble les séries du SPI-12 du bassin Chéouli, pendant la période d'étude (annexe 10), contiennent entre 9 et 16 évènements anormaux soit secs soit humides par série. Les plus faibles (4 évènements) enregistrés dans les SB28, 29 et 31 et les plus élevés (8 fois) dans les SB10 et 18.

On observe également que les classes normales occupent 67,5 % (899 cas) et les anormales 32,5 % (433) cas dont 51,5% de classes sèches avec 223 cas (inclus 32 TS, 136 MS et 55 S), et 48,5% les classes humides dans 210 cas (inclus 38 TH, 47 H et 125 MH).

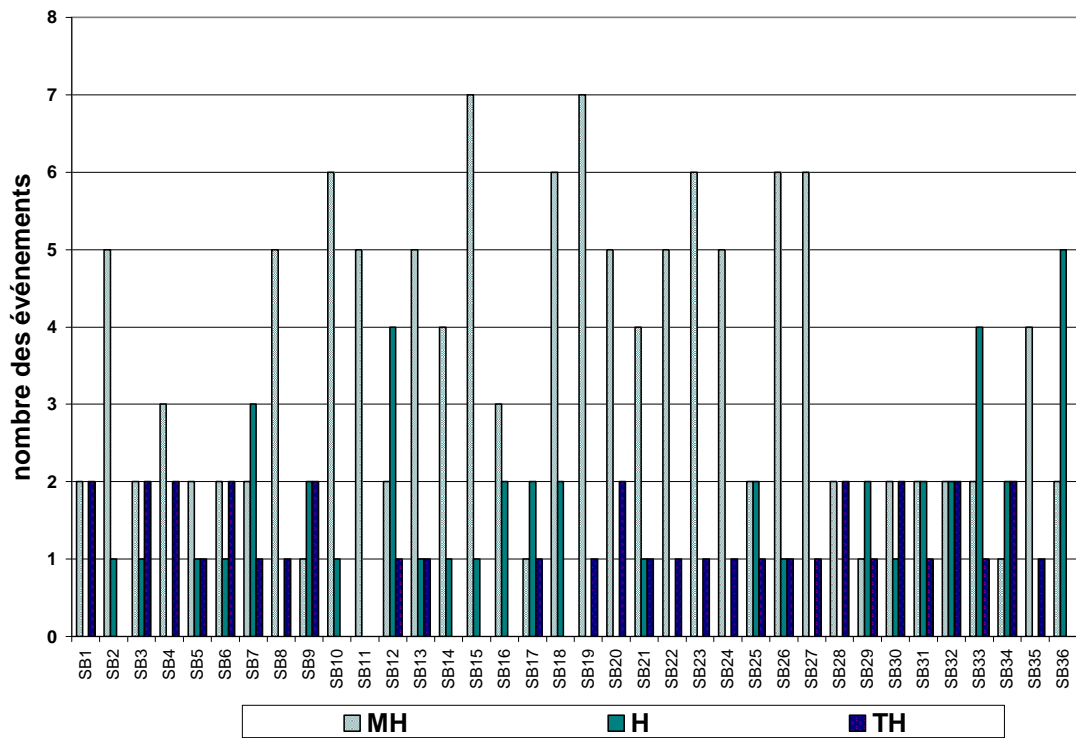


Figure 11 : Histogramme des classes humides du SPI-12 pour chaque sous bassin durant la période d'étude

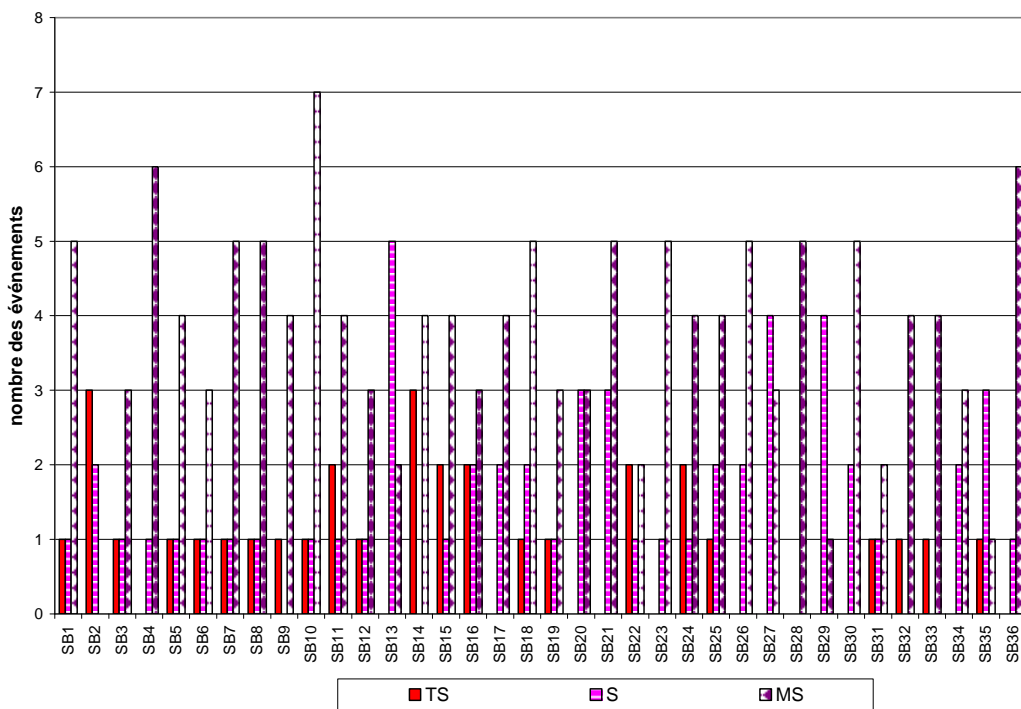
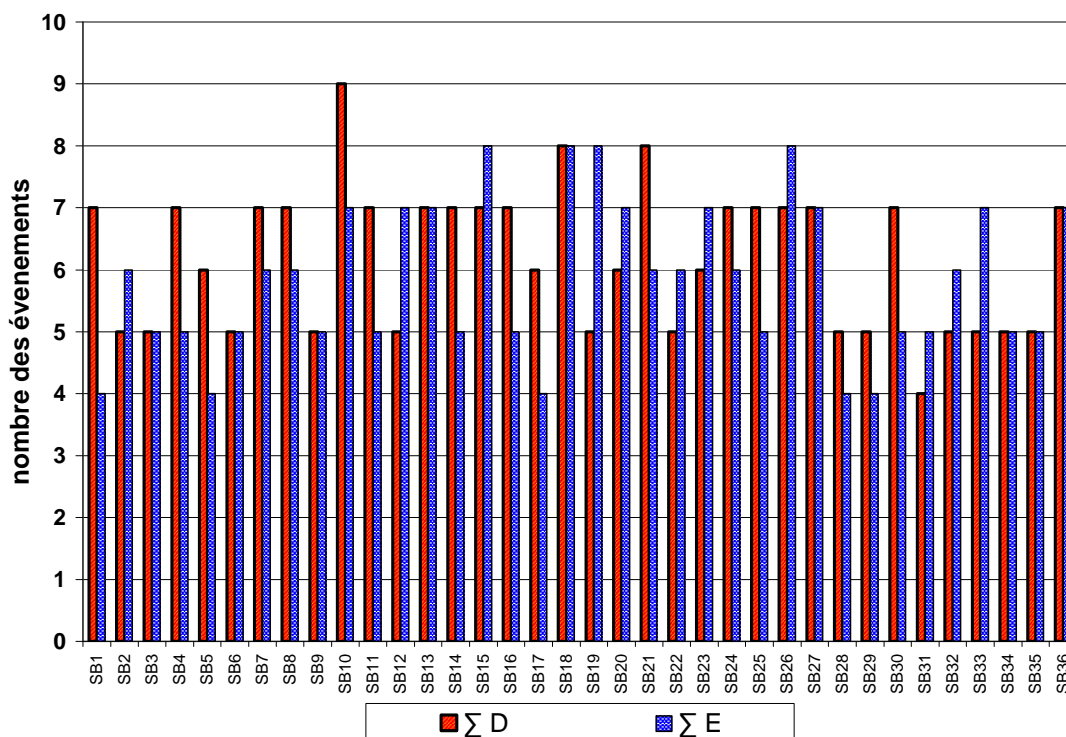


Figure 12 : Histogramme des classes sèches du SPI-12 pour chaque sous bassin durant la période d'étude.



**Figure 13 : Histogramme de la somme des classes humides et sèches du SPI-12 pour chaque sous bassin durant la période d'étude.**

**NB :**  $\Sigma D$  : Total des séquences humides

$\Sigma S$  : Total des séquences sèches.

### 2.7. La Répartition temporelle et spatiale des périodes humides et sèches.

La sécheresse annuelle dans les représentations cartographiques du bassin du Chélif de la figure 14 montres les observations remarquables suivantes:

#### 2.7.1. Les années représentant l'absence de la sécheresse sur la totalité du BV.

- ✓ Les années considérées humides : **1969/1970** (29 S/B), **1971/1972** (32 S/B) et **1995/1996** (21 S/B) ;
- ✓ Les années considérées comme normales avec quelques S/B humides : **1970/1971** (09 S/B), **1973/1974** (08 S/B), **1974/1975** (05 SB), **1979/1980** (06 SB) et **1997/1998** (05 S/B) ;

#### 2.7.2. Les années représentant la rareté de la sécheresse ou présent dans quelques S/B sur la totalité du BV.

- ✓ L'année considérée comme même humide : **1972/1973** (21 S/B humides et 01 S/B sec),



- ✓ Les années considérées normales et contenant des S/B humides : **1968/1969** (09 S/B humides et 01 S/B sec), **1975/1976** ( 12 S/B humides et 01 S/B sec), **1976/1977** (16 S/B humides et 01 S/B sec), **1977/1978** (01 S/B humide et 01 S/B sec), **1978/1979** (06 S/B humides et 01 S/B sec), **1980/1981** (03 S/B humides et 02 S/B secs), **1985/1986** (02 S/B humides et 03 S/B secs), **1991/1992** (05 S/B humides et 02 SB secs), **1994/1995** (04 S/B humides et 03 S/B secs), **1998/1999** (01 S/B humide et 05 S/B secs), **2000/2001** (02 S/B humides et 03 S/B secs), **2002/2003** (02 S/B humides et 02 S/B secs) et **2003/2001** (07 S/B humides et 01 S/B sec) ;
- ✓ Les années considérées normales et ne contenant pas des S/B humides : **1986/1987** (03 S/B secs), **1990/1991** (03 S/B secs) et **1996/1997** : 06 S/B secs.

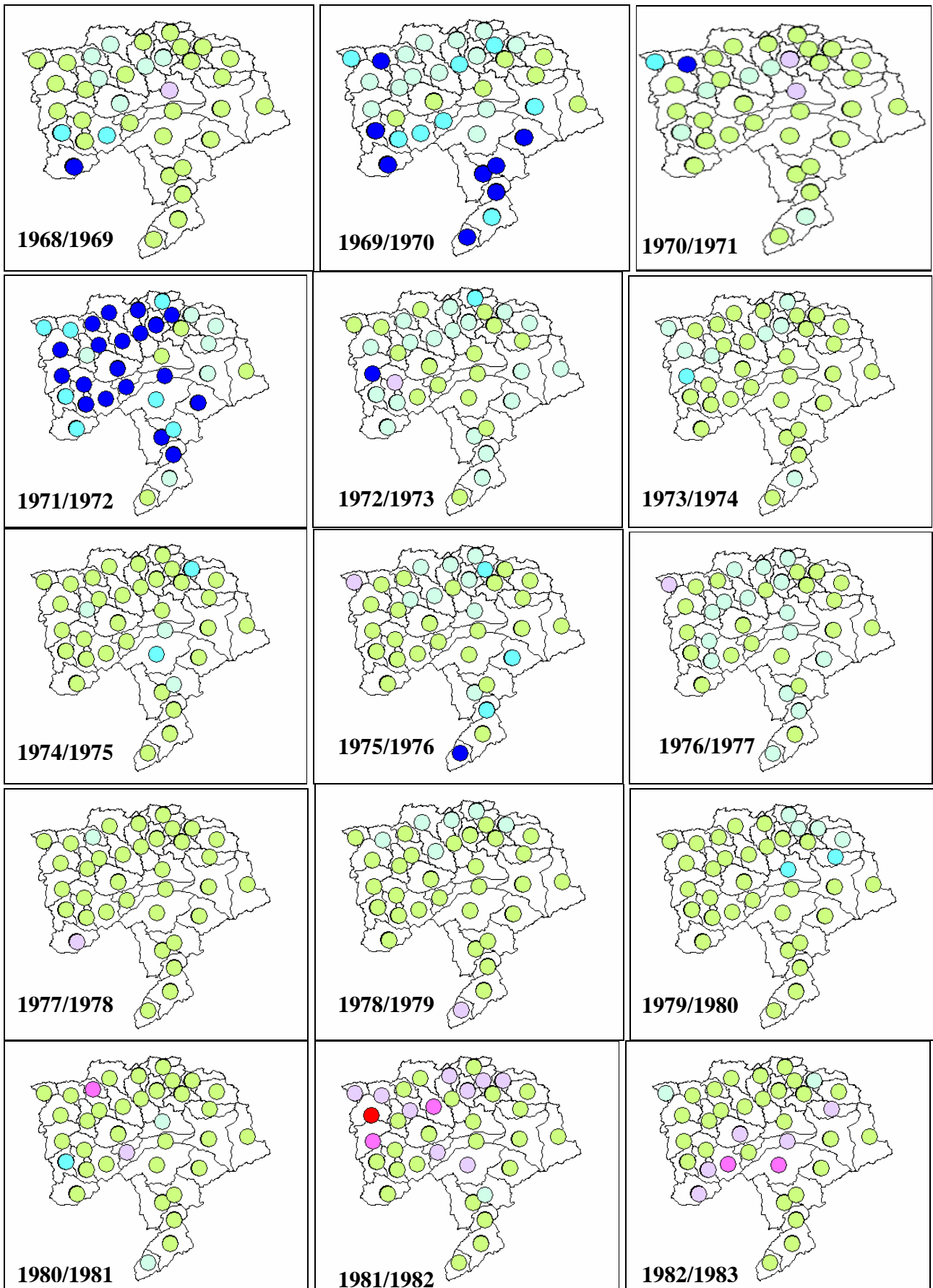
### 2.7.3. Les années de la sécheresse est persistante sur la totalité du BV.

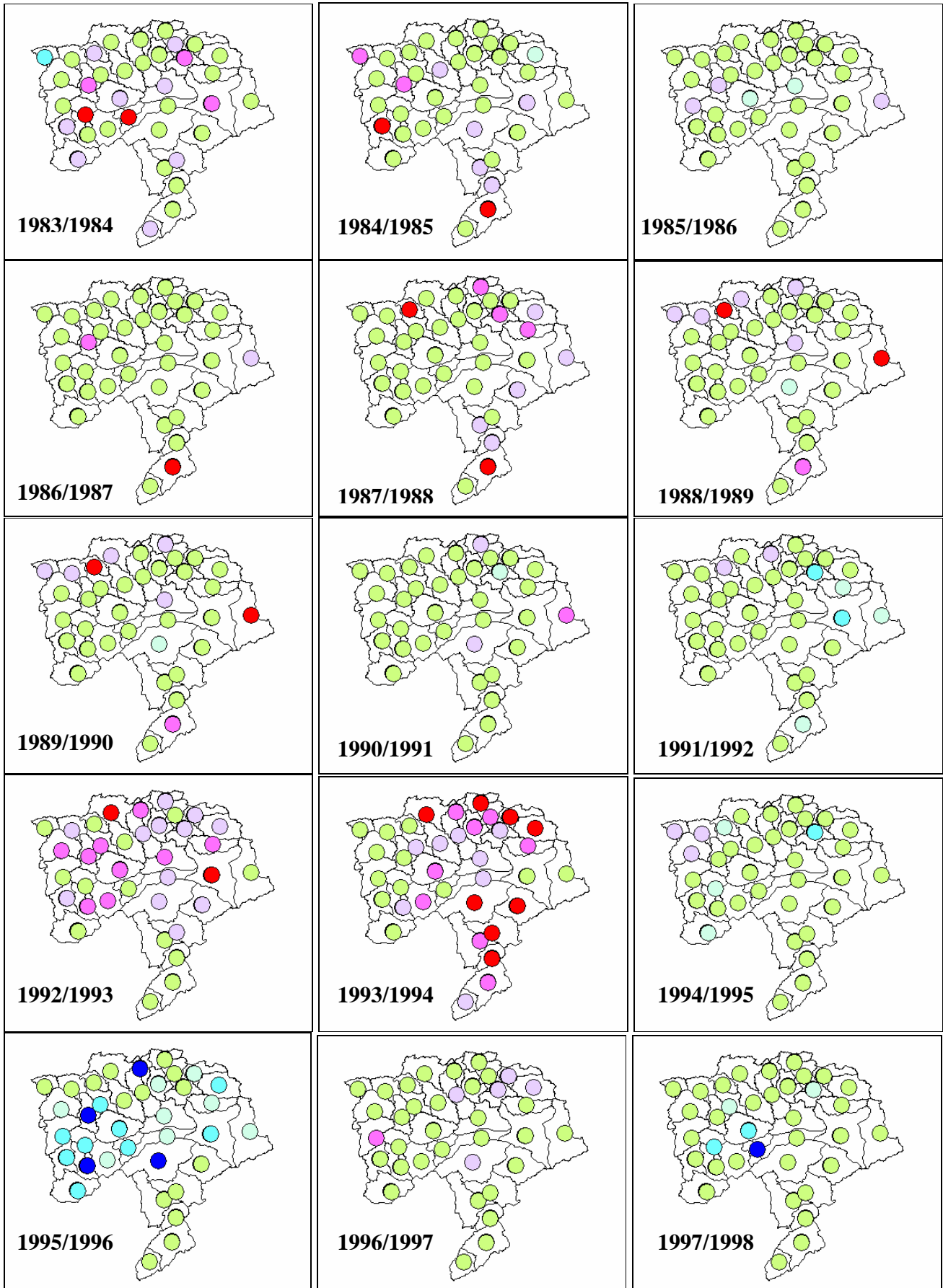
- ✓ Les années considérées normales et contenant des S/B humides : **1981/1982** (12 S/B secs et 01 S/B humide), **1982/1983** (09 S/B secs et 02 S/B humides), **1983/1984** (14 S/B secs et 01 S/B humide), et **1984/1985** (09 S/B secs et 01 S/B humide),
- ✓ Les années considérées normales et ne contenant pas des SB humides : **1987/1988** (10 S/B secs), **1988/1989** (09 S/B secs), **1989/1990** (16 S/B secs) et **2001/2002** (13 S/B secs).
- ✓ Les années sèches : **1992/1993** (24 S/B secs), **1993/1994** (25 S/B secs) , **1999/2000** (22 S/B secs) et **2004/2005** (19 S/B secs).

**NB** : Une année déclarée sèche soit humide dans l'ensemble du Chélif, lorsque les S/B touchés atteignent ou dépassent la moitié du total des sous bassins.

La **conclusion** tirée à partir de la figure 14 se résume dans les observations suivantes :

- ✓ **03** années exceptionnelles humides : en 1969/1970, 1971/1972 et 1995/1996 où la sécheresse est absente pour la totalité du BV et **01** année 1972/1973 contienne un S/B sec,
- ✓ **04** années exceptionnelles sèches : en 1992/1993, 1993/1994, 1999/2000 et 2004/2005 où la sécheresse couvrant la majorité des S/B du Chélif,
- ✓ Et **29** années représenté par l'état normale des précipitations dont :
  - **08** années normales contiennent des classes humides : en 1968/1969, 1970/1971, 1973/1974, 1974/1975, 1975/1976, 1976/1977, 1979/1980 et 1997/1998
  - **08** années normales contiennent des classes sèches : en 1981/1982, 1982/1983, 1983/1984, 1987/1988, 1988/1989, 1989/1990 et 2001/2002.
  - Et les **21** années restantes l'état normal généralise la totalité du Chélif.





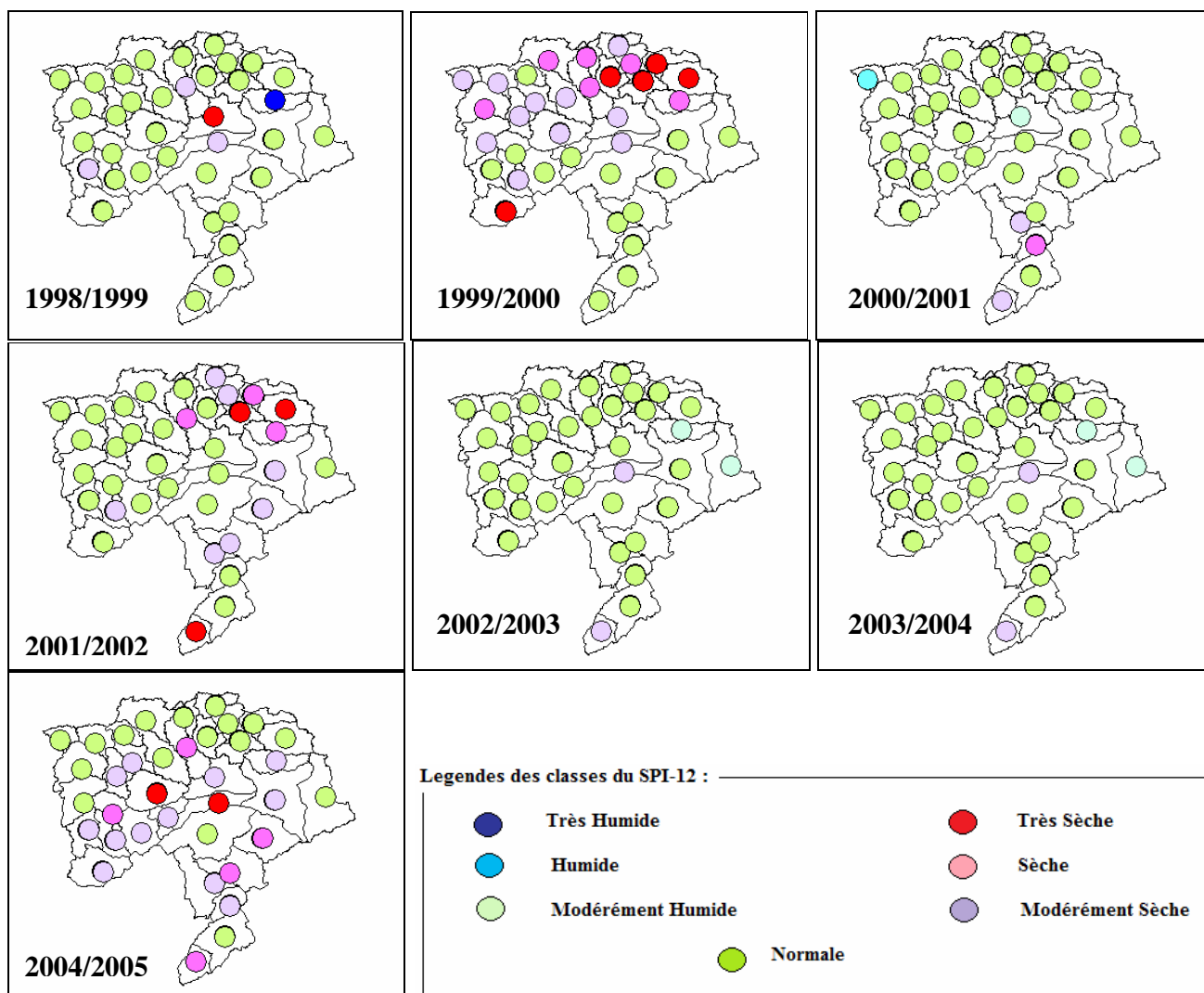


Figure 14 : Répartition géographique des classes SPI-12 de chaque sous bassin et pour chaque année de la période d'étude dans le bassin versant Chélif.

### Synthèse :

D'une manière générale le tableau récapitulatif ci-dessous donne des possibilités de distinguer, les différentes classes du SPI-12, les successions des différentes épisodes secs ou humides, les durées de ces épisodes ainsi que de comparer les sous bassins entre eux du point vu les plus touché ou les années entre elles de point vu les plus marquées par la sécheresse durant la période d'étude. En plus dans ce tableau de synthèse, nous observons nettement la séparation qui existe entre les années humides (en bleu) et les années sèches(en rouge). Cette séparation détectée auparavant de ce chapitre dans le régime pluviométrique en l'année de rupture 1979 / 1980.

Tableau 14 : Les Résultats globaux des classes du SPI-12 par année et par sous bassin (SB).

année	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9	SB10	SB11	SB12	SB13	SB14	SB15	SB16	SB17	SB18	SB19	SB20	SB21	SB22	SB23	SB24	SB25	SB26	SB27	SB28	SB29	SB30	SB31	SB32	SB33	SB34	SB35	SB36		
68/69	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	N	N	N	N	N	N	MH	N	MH	MH	N	MH	MH	MH	N	N	H	N	N	TH	H	N	N	N		
69/70	TH	H	TH	TH	TH	TH	MH	MH	H	N	N	H	N	N	MH	N	H	MH	MH	MH	H	MH	MH	MH	MH	N	MH	MH	TH	H	H	N	TH	TH	MH	MH	H	
70/71	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	N	N	N	N	N	N	MS	N	MH	N	MH	N	N	N	MH	TH	N	N	N	N	MH	N	N	H		
71/72	N	MH	TH	TH	H	TH	H	TH	TH	N	N	MH	MH	MH	MH	N	TH	H	TH	TH	TH	TH	TH	TH	TH	TH	MH	MH	TH	TH	TH	H	H	TH	TH	H		
72/73	N	MH	MH	MH	N	MH	N	N	N	N	MH	MH	N	MH	MH	N	N	H	MH	MH	MH	N	MH	MH	N	MH	N	N	N	MH	MS	MH	MH	TH	MH	N		
73/74	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MH	MH	N	MH	N	N	N	N	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	H	MH	MH	
74/75	N	N	N	N	MH	N	H	MH	N	N	N	N	N	N	H	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
75/76	TH	N	H	MH	N	H	N	N	N	MH	N	N	N	N	N	N	H	MH	MH	MH	N	MH	MH	N	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MS	
76/77	MH	N	MH	MH	N	MH	N	MH	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	MH	MH	MH	N	MH	MH	N	N	MH	MH	N	N	MH	MH	N	N	N	N	N	MS	
77/78	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	N	N	
78/79	MS	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MH	N	N	MH	N	MH	N	MH	MH	N	N	N	N	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	
79/80	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	H	N	N	H	MH	MH	N	MH	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
80/81	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	MS	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	H	N	N	
81/82	N	N	N	N	MH	N	MS	N	MS	N	N	N	N	N	MS	N	MS	N	MS	MS	N	N	S	N	N	MS	N	MS	N	MS	N	N	N	N	S	TS	MS	
82/83	N	N	N	N	N	N	S	MS	MS	N	N	N	MS	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	MS	MS	N	N	N	S	MS	N	MS	N	N	N	N	MH	
83/84	MS	N	N	N	MS	N	N	N	TS	MS	N	S	N	N	N	S	MS	N	N	N	N	N	N	MS	MS	MS	N	S	N	N	N	TS	MS	MS	N	N	H	
84/85	N	TS	MS	MS	N	N	MS	N	N	N	N	MS	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	N	S	N	N	N	N	N	TS	N	N	S	
85/86	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MH	MS	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MH	N	MS	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	
86/87	N	TS	N	N	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
87/88	N	TS	MS	MS	N	MS	N	N	N	N	MS	N	S	MS	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	TS	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
88/89	N	S	N	N	N	N	MH	N	N	MS	TS	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	N	MS	N	TS	N	MS	N	MS	N	N	N	N	N	N	N	N	MS	
89/90	N	N	N	MS	N	N	N	N	N	N	TS	H	N	MS	MS	N	MS	S	N	MS	MS	MS	MS	N	MS	S	N	N	S	S	N	N	N	MS	S	N		
90/91	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	N	S	N	N	N	N	MH	N	MS	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
91/92	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	MH	H	MH	N	N	H	N	N	N	MS	N	N	N	MS	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
92/93	N	N	N	N	MS	MS	MS	S	N	S	MS	TS	S	MS	MS	MS	N	MS	MS	S	MS	TS	N	N	S	S	S	MS	S	S	N	N	MS	N	S	N		
93/94	MS	S	TS	S	TS	TS	TS	MS	N	MS	N	N	S	TS	TS	MS	S	TS	S	S	MS	TS	MS	N	S	MS	N	N	S	MS	MS	N	N	N	N	N		
94/95	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	H	N	N	N	N	N	N	N	N	MH	N	N	N	MS	N	N	MH	MH	N	N	MS	MS	
95/96	N	N	N	N	N	N	TH	MH	H	MH	MH	H	MH	H	MH	N	N	N	MH	TH	N	N	N	N	H	H	TH	N	MH	TH	H	H	H	H	H	MH	N	
96/97	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	N	N	N	N	N	MS	MS	MS	N	N	N	N	MS	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N
97/98	N	N	N	N	N	N	N	N	N	TH	N	N	N	N	N	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	H	MH	N	N	N	N	H	N	N	N	N	N	
98/99	N	N	N	N	N	N	N	MS	N	TS	N	N	TH	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	MS	N	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	N
99/00	N	N	N	N	N	N	N	MS	N	MS	N	N	S	TS	TS	TS	S	MS	TS	S	S	S	MS	N	MS	MS	MS	MS	N	MS	N	TS	N	MS	S	MS	MS	
00/01	MS	N	S	MS	N	N	N	N	N	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	H	
01/02	TS	N	N	MS	MS	MS	N	N	N	N	N	MS	S	TS	S	TS	MS	MS	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	N	N	N	
02/03	MS	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	MH	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
03/04	N	N	N	N	MS	N	H	MH	MH	N	MH	TH	MH	N	N	MH	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
04/05	S	N	MS	MS	S	S	N	TS	MS	MS	N	MS	MS	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	TS	MS	MS	N	MS	MS	S	MS	MS	N	N	N	

## 2.8. Représentation cartographique de la sécheresse par décennie.

Pendant la période 1968/69 jusqu'à 2004/05, la répartition géographique de la sécheresse des trois décennies **80/89**, **90/99** et la **demi décennie de 2000/2009** dans le bassin Chélif (figure 15).

Montre que; La partie Nord-Est est la plus affectée par la sécheresse de la décennie 1990/99 (sans prendre en considération les SB11 et 17 qui appartenant à la sécheresse durant la **D1980/89**).

La partie Nord-Ouest (sans les SB25, 29, 28, 35 et 36 qui appartenant à la sécheresse de la **D1990/99**). La partie sud du bassin est la plus affectée par la sécheresse de la **décennie actuelle 2000** (sans les SB02 et 04 qui appartiennent à la sécheresse de la décennie 1980/89).

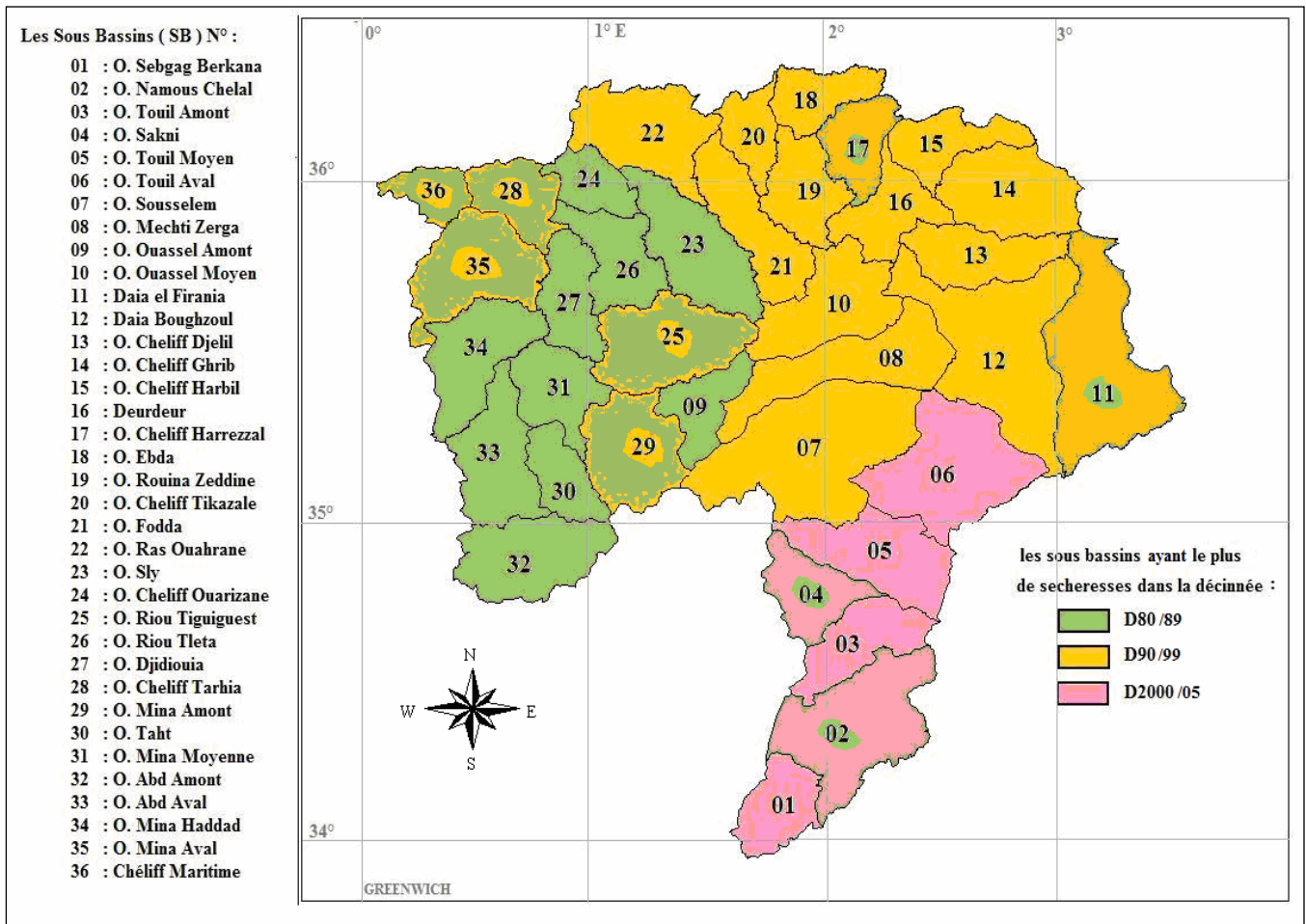


Figure 15 : La représentation cartographique des décennies de sécheresses les plus élevées par sous bassin (SB) durant la période d'étude dans le Chélif.

## Conclusion

Les variations spatio-temporelles des années sèches et humides sur l'ensemble du bassin Chélif sont irrégulières dans le temps et hétérogènes dans l'espace. Par conséquent, on peut admettre que la sécheresse dans ce bassin est un phénomène extrême et aléatoire.

Cela explique que cette irrégularité et cette hétérogénéité de la sécheresse dans le Cheliff, elles n'ont pas de loi et n'ont pas de lieux. Elle peut varier d'un sous bassin un autre et elle diffère d'une année à une autre (exemple, si deux années sèches se succèdent sera une coïncidence).

Les tentatives effectués pour mettre en évidence des corrélations avec des paramètres qui peuvent intervenir dans l'explication de la sécheresse (comme le couvert végétales, le relief, l'étage bioclimatique, coordonnées topographiques, la distance par rapport à la mer...) restent valables à vérifier [si nous aurons la chance de travailler là-dessous incha-**ALLAH** dans le future proche]. Car l'estimation des temps de retour d'événements extrêmes semble fournir renseignements utiles pour prévoir la sécheresse cependant ce dernier reste une tâche complexe due au caractère aléatoire de la précipitation.

### 3. Caractérisation de la sécheresse.

Trois éléments distinctifs caractérisent les sécheresses: l'**intensité**, la **durée** et l'**étendue spatiale**. Par intensité, on entend l'ampleur du déficit de précipitations et la gravité des conséquences de ce déficit. La caractérisation de la sécheresse dans le bassin du Chélif, nécessite le diagnostic de la persistance des séquences sèches identifiées auparavant par le SPI-12 de sorte que si on considère l'ensemble des classes sèches de cet indice comme sèches, ensuite on calcule pour chaque année sèche sa fréquence par rapport au nombre totale des années chronologiques étudiées (N= 37) , et sa intensité totale qu'est le résultat de la sommation des valeurs du SPI-12 des classes sèches par rapport à la durée totale, enfin on détermine leur étendu sur l'ensemble du bassin en fonction des gammes de l'intensité moyenne annuelle (voir annexe (11, 12 et 13).

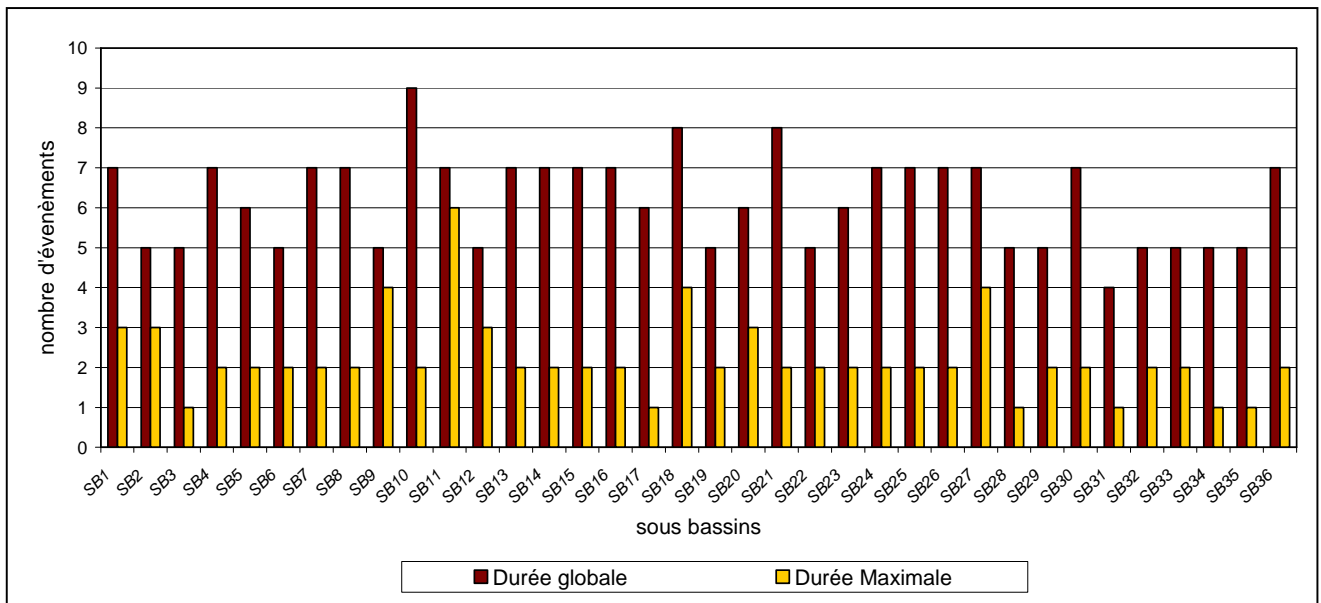
#### 3.1. La Durée.

On observe dans la figure 16 que, la durée sèche totale enregistrée à travers toutes les séries étudiées, varie entre une minimale de 4 années dans l'unique sous bassin SB31 localisé à l'Ouest du bassin et une maximale de 9 années dans l'unique sous bassin SB10 localisé au centre du bassin. Cependant la fourchette dominante est comprise entre 5 et 7 années sèches, sauf pour les SB18 et 21 aux Nord central, indiquant 8 années sèches.

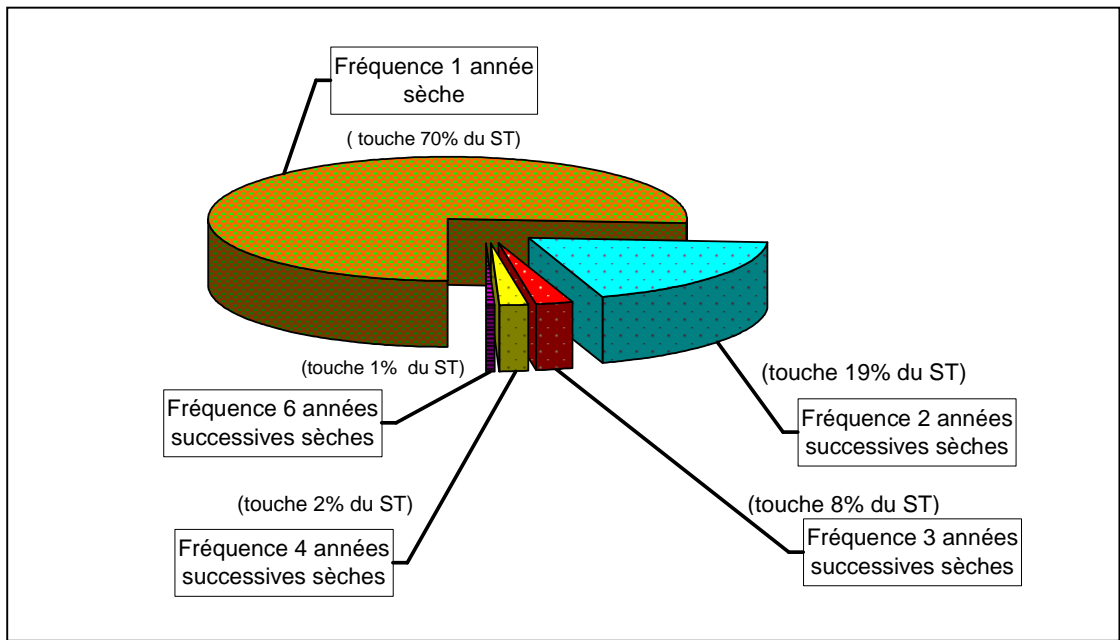
Par ailleurs, La durée sèche maximale enregistrée correspond aux séquences successives sèches maximales pour toutes les années sèches dans les séries (les dominantes) étudiées sont, 2 années successives, ensuite 3 années et rarement 6 années dans l'unique SB11 au Nord-est du bassin, 5 années nulles et 4 années consécutives apparues dans les SB6 au Nord de la partie Sud, SB 18 au Nord central et SB 27 au centre-ouest.

Le rapprochement des deux durées, maximales et totales ou globales, par déduction aggrave les conditions de sécheresses tandis que le contraire la diminue.





**Figure 16 : Histogramme de comparaison entre la durée sèche totale et maximale par sous bassin dans le bassin Chélif pendant 1968/2005**



**Figure 17 : La répartition des fréquences (%) en fonction de la durée sèche maximale pour l'ensemble du BV Chélif durant la période 1968/2005**

### 3.2. La Fréquence (%).

La fourchette dominante des fréquences de la durée globale varie en générale entre 14 et 19% pour tous les sous bassins. En parallèle la durée maximale varie entre 3 et 5% pour deux séquences et à 3% pour le reste des séquences 3, 4 et 6 consécutives (voir annexe 12).

La figure 17 montre que la séquence d'une année sèche isolée est la plus fréquente dans le Chélif (70 % de la surface totale), tandis que les séquences de 2 années sont plus au moins fréquentes (19% ST) ensuite, les séquences de 3 années faiblement fréquentes (8% ST) et rarement des fréquences de 4 et 6 années sèches (1 % ST).

On en déduit que le bassin du Chélif est caractérisé principalement par des sécheresses d'une année sèche isolée suivi par des séquences de 2 années successives.

### 3.3. L'Intensité.

Avant de commencer l'étude et la mesure de ce paramètre essentiel, nous rappelons sa définition générale: « **l'intensité est le rapport entre la magnitude et la durée de la sécheresse.** »

Dans le but de la quantification de cette intensité nous prenons tous les écarts de pluviométrie étudiés par rapport à leurs médianes équivalentes ainsi que toutes les valeurs des magnitudes qui leurs correspondent. La corrélation entre ces valeurs donne un coefficient de 0.73 pour un intervalle de confiance de 70%.

A travers la droite de corrélation (fig. 18), nous déterminons les déficits pluviométriques théoriques moyens pour une unité de magnitude. Ces unités correspondent à chaque fourchette de classes de sévérité du SPI-12, proposé dans le tableau 10.

**Nous appelons une unité de magnitude par le degré sec ou humide en fonctions les conditions ainsi déterminées. Et nous la symbolisons par (° S) ou (° H).**

**Par déduction nous quantifions les seuils des unités de magnitude à partir des projections sur la droite de corrélation (en bleu) des extrêmes les plus critiques dans la figure 18 comme suit:**

- ~ **1** U de magnitude, équivalant à **100 mm** de déficit pluviométrique annuel maximal.
- ~ **1,5** U de magnitude, équivalant à **150 mm** de déficit pluviométrique annuel maximal.
- ~ **2** U de magnitude, équivalant à **200 mm** de déficit pluviométrique annuel maximal.

**Remarque :**

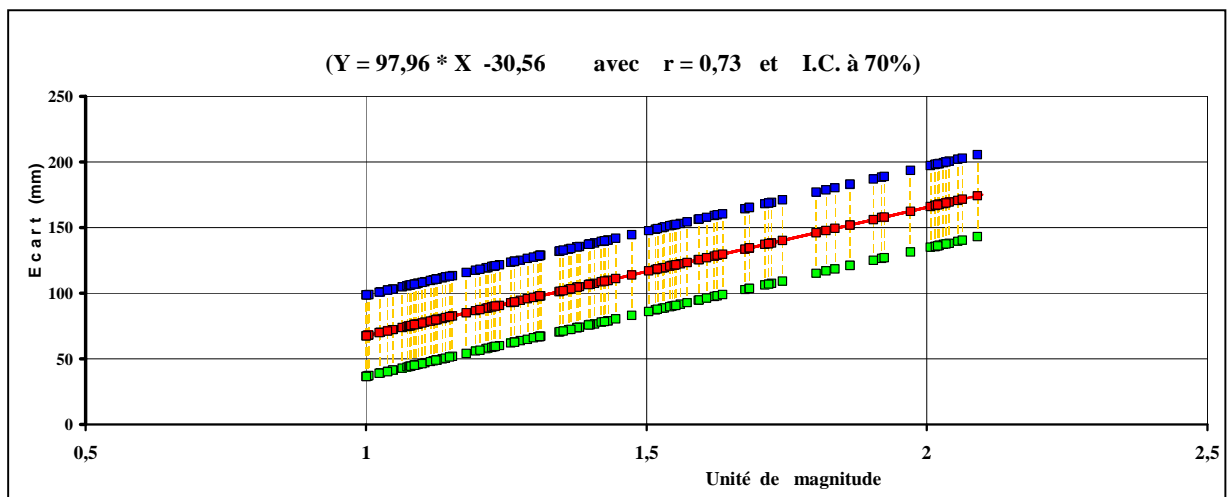
- Ces valeurs indicatrices représentent l'ensemble du bassin du Chélif.
- Pour éviter tout risque de sous-estimations nous avons choisi la droite des maximas

**NB :**

- Nous proposons pour l'intensité une unité de référence qui permettra la quantification de cette dernière :

« Le **degré Sec / an** et pour simplifier on note  $^{\circ} \text{S} / \text{an}$  ».

- Nous rappelons que la magnitude ou la sévérité de la sécheresse représente la somme des valeurs des  $\text{SPI} \leq -1$  et la durée représente la somme des épisodes secs correspondants à cette magnitude pendant la période étudiée.



**Figure 18 : La corrélation entre les écarts de la pluviométrie étudiée par rapport à ses médianes et les valeurs de la magnitude.**

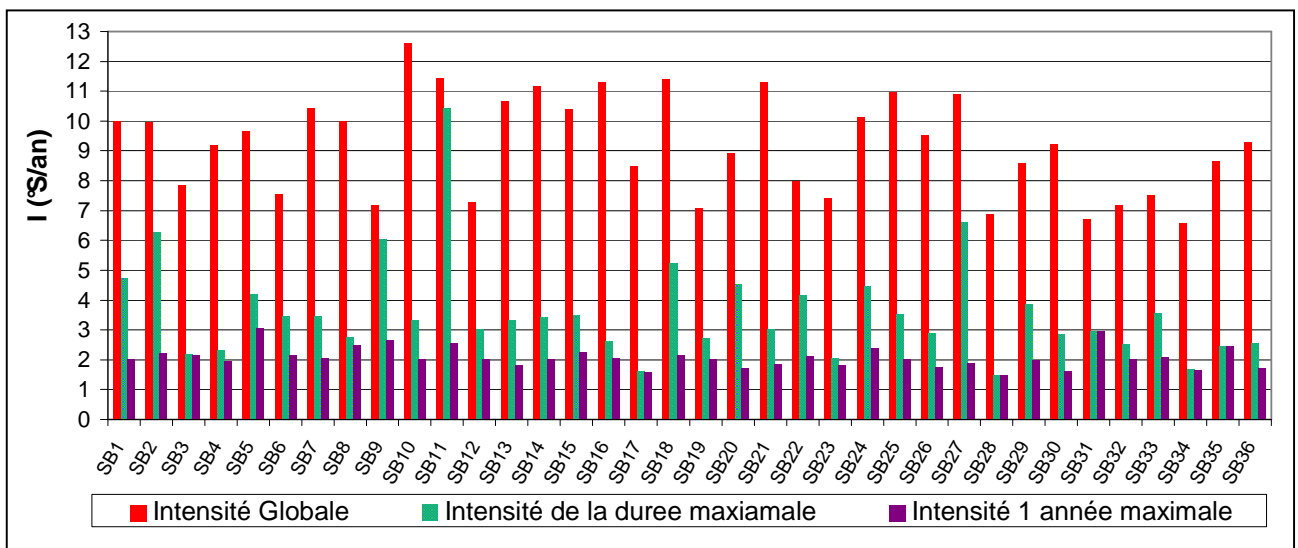
Pour la compréhension de ce paramètre caractéristique de la sécheresse, se distingue trois intensités celle des séquences totales, des maximales et des maximales d'une année. À partir de la figure 19 en remarque que :

**a- L'intensité globale** dans la majorité des sous bassin pendant toute la période d'étude, varie entre 7,10 ( $^{\circ}\text{S}$ ) et 11,44 ( $^{\circ}\text{S}$ ), la valeur maximale est de 12,61 enregistrée dans le SB10 au centre du bassin du Chélif et les valeurs minimales 6,5 ( $^{\circ}\text{S}$ ) et 6,9 ( $^{\circ}\text{S}$ ) dans les sous bassins SB28 au Nord-ouest, SB31 et SB34 à l'Ouest du bassin du Chélif.

**b- L'intensité des séquences sèches maximales** varié dans l'ordre 5,21 (°S) et 6,6 (°S), remarquée dans les SB27, 2, 9 et 18 sauf la plus forte remarquée à l'est du Chélif dans le **SB11** atteignant **12,61 (°S)**, tandis que les valeurs minimales variées dans l'ordre 1,49 (°S) et 1,66 (°S) dans les SB 28, 17 et 34.

**c- L'intensité d'une séquence isolée sèches** varie entre 1,49 (°S) observé au SB28 et 3.06 (°S) observé au SB28. Cette dernière valeur d'intensité est rare.

En conséquence la majorité des sous bassin sont plus sujets à la sécheresse, en plus ces trois intensités, ne varient pas de la même façon elles dépendent des conditions climatiques des stations d'observations. Cette indépendance de variation est très remarquable dans les exemples des SB1, SB3, SB7, SB9... (annexe 13).



**Figure 19 : Histogramme de l'intensité globale, de la durée maximale et d'une année sèche maximale pour l'ensemble du BV Chélif durant la période 1968/2005.**

**d- La corrélation de l'intensité et la durée globale.**

La corrélation linéaire simple entre la durée globale et l'intensité donne un coefficient de corrélation d'ordre de **81 %** selon la relation suivante :

$$DG = 0,62 \times IG + 0,37$$

Selon le coefficient de corrélation le modèle accepte 19 % d'erreurs d'où les valeurs les plus probables des maximums et des minimums sont plus ou moins à la moyenne théorique, égale à 0,8 dans pour un intervalle de confiance de 70%. La pente montre que l'intensité pour le Chélif augmente ou diminue de **62%** par rapport à la durée totale (annexe 14).

D'une manière générale la figure 20 ci dessous montre qu'il y a trois groupes de sous bassins en fonction des intensités théoriques réparties sur l'ensemble du BV :

→ **Groupe, G1** : les SB (de 1 ↔ à 9) au sud du BV .

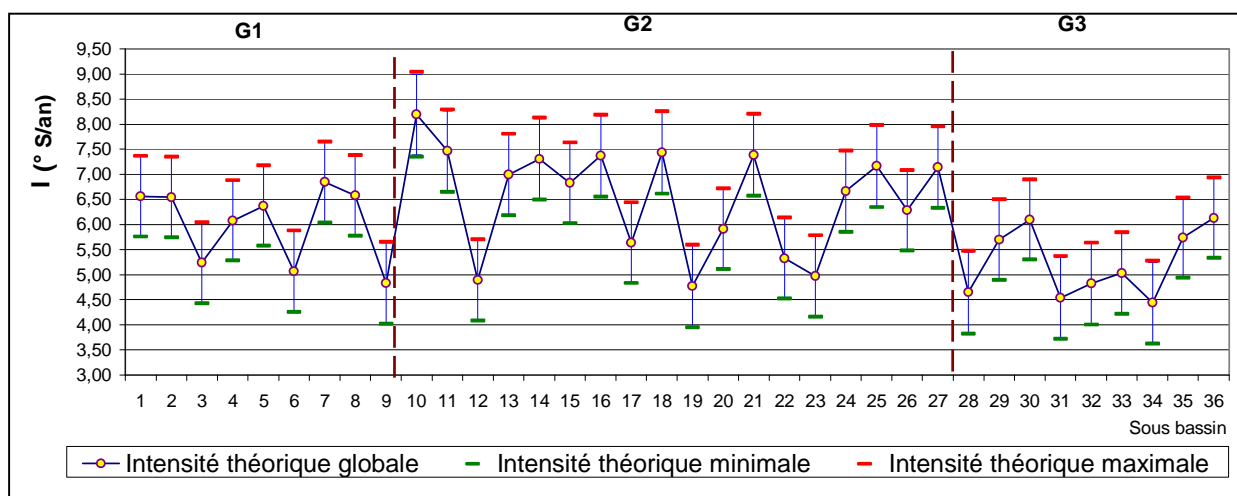
Elle varie dans l'intervalle de ] 5 °S ; 6,5 °S [

→ **Groupe, G2** : les SB (de 10 ↔ à 27) au nord-est et au centre du BV .

Elle varie dans l'intervalle de ] 6,5 °S ; 7,5 °S [

→ Et **Groupe, G3** : les SB (de 28 ↔ à 36) au nord-ouest du BV.

Elle varie dans l'intervalle de ] 4,5 °S ; 5,5 °S [



**Figure20 : la variation de l'intensité théorique et leurs bornes maximales et minimales pour chaque sous bassin.**

On déduit que, l'intensité de la sécheresse dans ces groupes est liée aux conditions habituelles du climat local de chaque S/B et non à la quantité de précipitation totale tombée. L'intensité observée est plus élevée au Nord que la partie sud (zone aride de faible pluviométrie).

Enfin la variation de l'intensité théorique est plus marquée par sa fluctuation perturbée sur l'ensemble des sous bassins. Elle varie entre 4,5°S et 7,5°S avec des maximaux de 5,3°S à 8,3°S et des minimaux de 3,7°S à 6,7°S.

### 3.4. La Durée, la Fréquence et l'Intensité.

L'ampleur des effets de la sécheresse est étroitement liée aux moments où débutent la pénurie de précipitations, l'intensité de celle-ci et à la durée du phénomène.

La figure 21 montre que, les séquences sèches totales, la fréquence et l'intensité varient de la même manière. Cette relation, donne l'impression de la forte liaison entre eux, peut être expliquée par

le coefficient de corrélations ainsi déterminé de 92 % de la corrélation entre la magnitude totale et de la durée totale durant la période d'étude, (cette corrélation est valable seulement pour les durées totales moines de six ans). Donc lorsque la persistance de la sécheresse augmente cela implique que la magnitude ou l'intensité augmente aussi (voir la fig. 22).

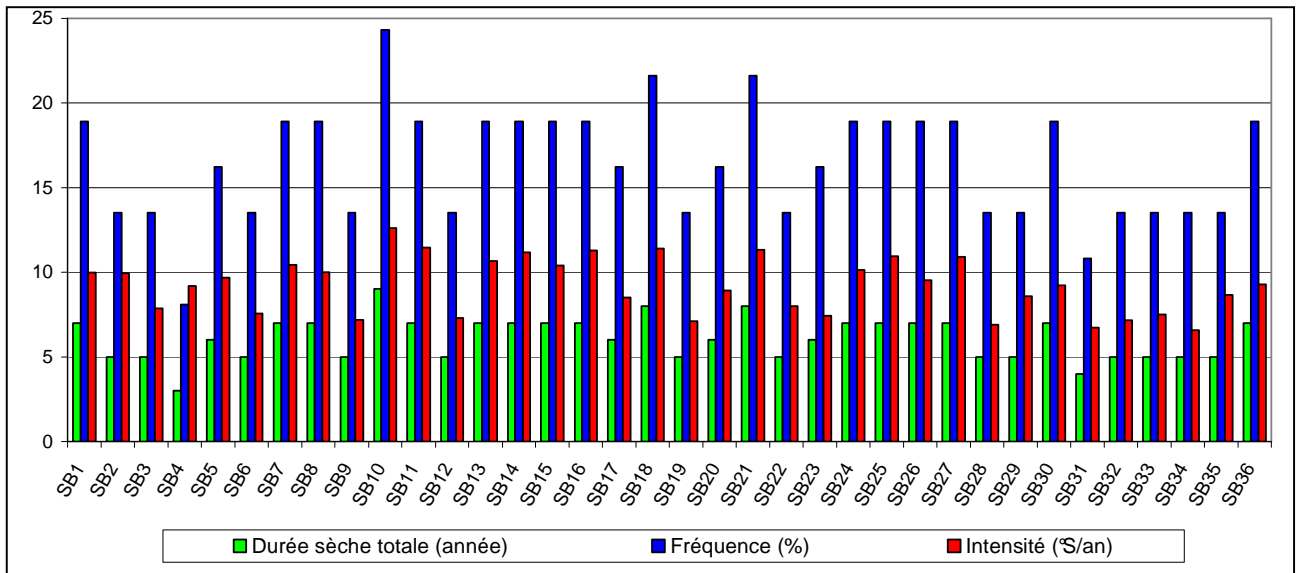


Figure 21 : Histogramme de la Durée globale, la Fréquence et l'Intensité par sous bassin.

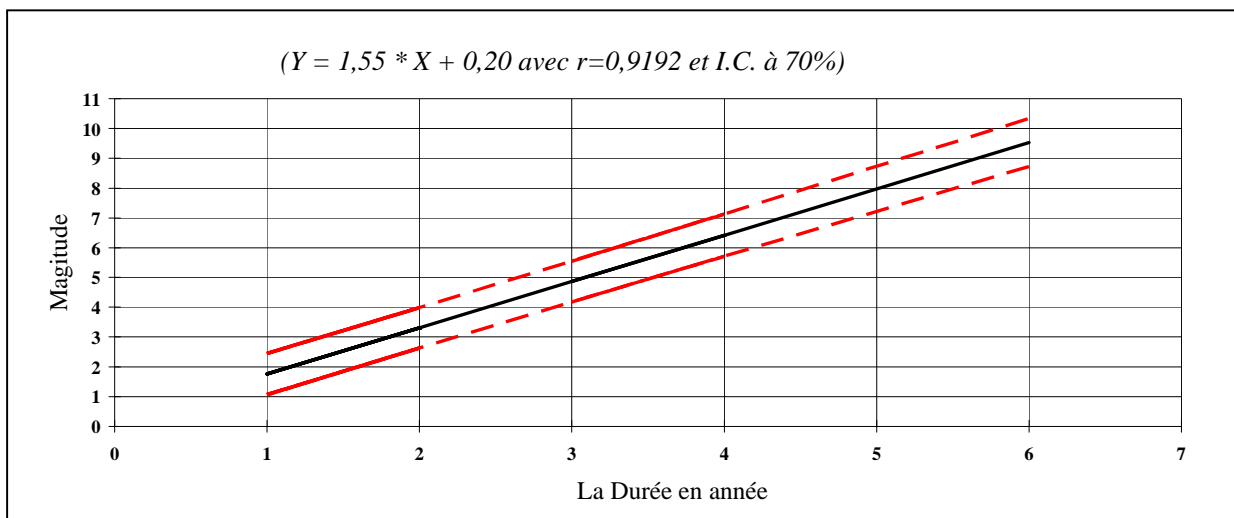


Figure 22 : La droite de corrélation entre la magnitude et la durée globale pendant 1968/2005.

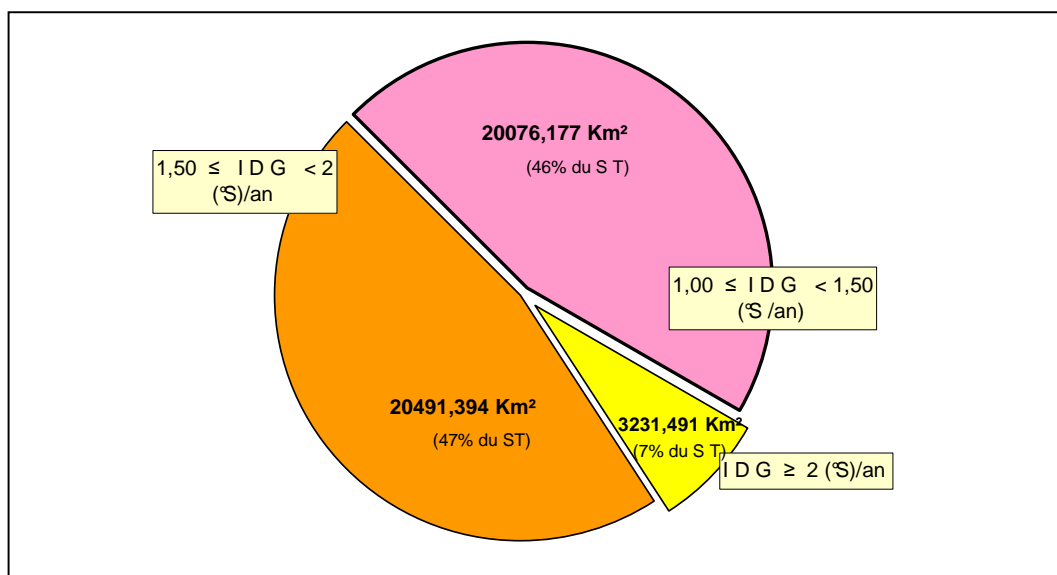
### 3.5. Impact de l'intensité de la sécheresse en fonction de la superficie touchée du bassin Chélif durant la période 1968/2005.

Pour savoir l'impact de la sécheresse sur les territoires du Chélif, on prend en considération les fourchettes des intensités annuelles moyennes de la durée globale. On va prendre les mêmes valeurs de celle des classes proposées pour SPI-12 équivalentes à chaque unité de magnitude étudié et on répartit sur l'ensemble du bassin.

Selon la figure 23 on note que :

- ✓ 93% de la superficie totale du Chélif soit 40567.57 km<sup>2</sup> représente des sécheresses intenses et plus au moins intense, pratiquement identiques (46% et 47%).
- ✓ 7% de la superficie totale du Chélif soit 3231.49 km<sup>2</sup> représente des sécheresses plus intenses.

Ceci montre que la surface du Chélif a eu possède des zones influencées par des intensités très élevées et leurs ampleur nous mènes à dire qu'il est très probable qu'on va vers une tendance progressive à l'extension de la sécheresse et l'aridité du bassin du Chélif.



**Figure 23 : La répartition de la superficie touchée par gamme de l'intensité moyenne de la persistance totale de la sécheresse dans le bassin Chélif pendant 1968/2005**

Pour faire des éclairages sur la répartition spatiale de l'impact de l'intensité annuelle moyenne dans l'étendu géographique, en se basant sur une représentation géographique du bassin du Chélif.

On constate dans la figure 24 qu'il y a trois zones distinguées à la sensibilité à la sécheresse en fonction de l'intensité ou sa magnitude. Ou bien deux zones distinctes si on exclut les SB4 et SB6, ces dernières ce sont des séries pluviométriques estimées par corrélation (voir annexe 05). Si on prend cette considération on peut les regrouper avec les autres SB de la même zone.

De cette représentation on relevé deux groupes de sous bassins via la sensibilité à l'intensité théorique moyenne. On conclut que les paramètres de grandeur de la sécheresse dans le bassin du Chélif peuvent donner des appréciations sur la sécheresse au coure de la période d'étude. Nous rappelons que :

- ✓ la persistance de la sécheresse est de 5 à 7 années sèches et la séquence sèche d'une année est la plus fréquenté (70%)
- ✓ l'intensité annuelle moyenne, passe d'une intensité délicate entre 1 à 1.49°S/an à très délicate supérieure à 1.5°S/an.

Et permettant la délimitation les zones à risque et sensibles.

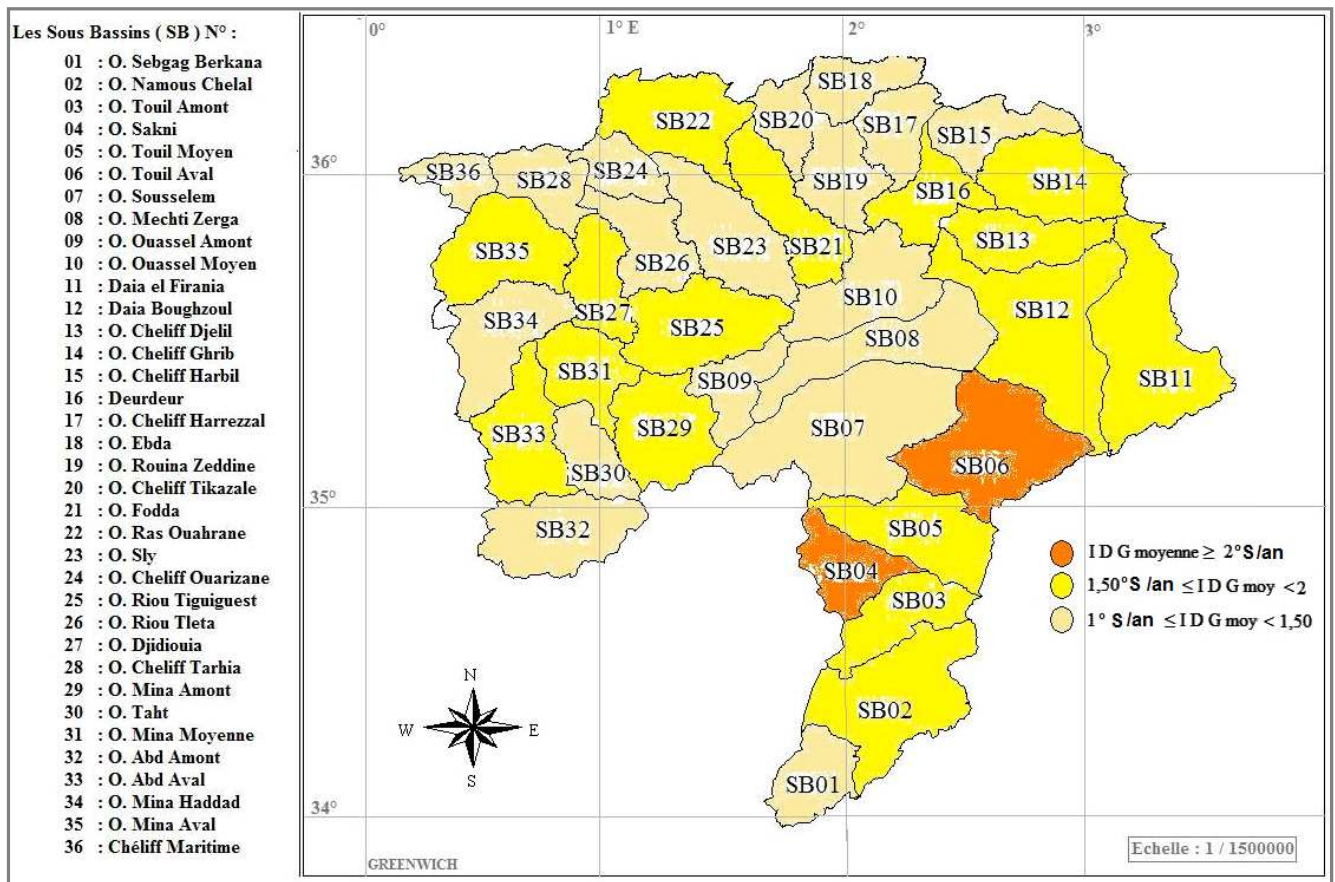


Figure 24 : Représentation cartographique de l'intensité annuelle moyenne par gamme.



## CONCLUSION GENERALE

Le bassin hydrographique du Cheliff est exposé à la sécheresse météorologique, qui se traduit par des perturbations plus ou moins prononcées dans l'approvisionnement en eau pour la population et ses activités, dans la disponibilité de ressources, notamment les écoulements des oueds, la recharge des nappes souterraines et les réserves des barrages. Dès lors, la connaissance des conditions climatiques s'avère primordiale dans la prévision et la lutte contre ce phénomène. Les observations marquées au cours de la période d'étude imposent l'enjeu d'une meilleure prise en compte de cet événement extrêmement aléatoire qui a été détecté depuis l'année 1979/1980. Cette année désigne le début des bouleversements des périodes humides vers les périodes sèches qui se généralisent sur tout le territoire du Chélif.

Ce travail consistait, au début, à mettre sous la loupe de la lecture les stations traitées afin de déduire les dates remarquables, sèches ou humides. Par la suite, il devait assurer la mesure, pour les mêmes dates, de leurs persistances et leurs intensités tout en délimitant leurs foyers. La méthode adoptée en vue de l'identification et la quantification des périodes sèches et humides est basée sur le calcul l'indice standardisé des précipitations (SPI).

Les analyses ont porté sur les régimes pluviométriques par des tests statistiques non paramétriques sur une période de 37 années, allant 1968/69 jusqu'à 2004/05 et ce pour les 36 stations pluviométriques correspondantes aux sous bassins du grand bassin Cheliff. Ces tests ont permis de détecter d'éventuels changements de stationnarités marquées par des ruptures dans la plus part des séries étudiées. Ces ruptures sont observées particulièrement dans les deux années 1979/1980 et 1980/1981 tandis que les sous-bassins 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14,16 et 25 ont conservé leur stationnarité. Cependant la méthode de la différence de moyenne après et avant rupture de la moyenne indique des diminutions de la pluviométrie atteignant 65% par rapport à la moyenne. Par contre, celle de SEN indique une diminution dans la moyenne de 2.3 % par année.

Les principaux résultats obtenus se résument dans ce qui suit :

- la manifestation de la sécheresse a été détectée dans les 3/4 du bassin durant l'année 1981/82;
- les années 1969/70, 1971/72 et 1995/96 représentent les années les plus humides, la sécheresse étant totalement absente dans tout le bassin versant. Les années 1992/93, 1993/94, 1999/2000 et 2004/05 représentent, par contre, les années les plus sèches. De même, l'année 1972/73 a caractérisé un sous bassin sec;

- le nombre d'événements anormaux observés par série, que ce soit sec ou humide, varie entre 9 (dans les SB 28, 29 et 31) et 16 (dans le SB 10) dont les classes normales occupent 67,5 % des cas et les classes anormales 32,5 %;
- parmi les classes anormales, **51,5 %** sont **sèches** (dont 14% Très Sec (TS), 61% Modérément Sec (MS) et 25% Sec (S) et **48,5%** sont **humides** (dont 18 % Très Humide (TH), 22 % Humide (H) et 60 % Modérément Humide (MH));
- Quant à la répartition géographique de la sécheresse décennale, il est remarqué que durant la décennie 1980/89 la sécheresse est la plus marquée, particulièrement dans la partie Nord-Ouest. Au contraire, durant la décennie 1990/99 la sécheresse est importante dans la partie Nord-Est. Durant la mi-décennie actuelle, la sécheresse est beaucoup observée dans le Sud du bassin.

Ainsi, nous pouvons caractériser la sécheresse dans le bassin du Chéiff comme suit:

- Une durée globale dominante d'ordre cinq (05) à sept (07) années, soit une fréquence théorique de 14 à 19 %. Les durées continues maximales sont de deux (02) années avec une fréquence variant de 3 à 8 %, ce qui représente 19 % du total des fréquences. Les séquences d'une année discontinue isolée sont de 70 %;
- Une intensité globale qui varie en général entre 7,10°S et 11,44°S, soit une intensité annuelle moyenne théorique de 1,64°S par an. En parallèle, seules les intensités de la séquence d'une année sèche isolée sont observées et sont comprises entre 1,49°S et 3,06°S;
- La superficie affectée par les sécheresses intenses est supérieure à la moitié de la superficie totale du Chéiff, ceci pourrait engendrer l'exposition de la totalité de ce bassin à ce phénomène durant les prochaines années.

Au terme de ce mémoire, les résultats montrent que le contrôle du phénomène de la sécheresse météorologique est possible dans la mesure où le SPI est efficacement considéré. C'est le rôle des chercheurs scientifiques, des observateurs climatologues et des cellules de crise qui devraient mettre en œuvre les méthodes efficaces appropriées en cas d'insuffisance d'eau.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **ABH-CZ (2004)** : Cadastre Hydraulique du bassin hydrographie du Cheliff-Aval du barrage de Boughzoul– Première partie, Haut et moyen Cheliff, 62p.
- **ABH-CZ (2004)**: Cadastre Hydraulique du bassin hydrographie du Cheliff-Aval du barrage de Boughzoul Deuxième partie, Bas Cheliff et Mina, 52p.
- **ACHITE M. et TOUAIBIA B. (2007)** : Sécheresse et gestion des ressources en eau dans le bassin versant de la Mina; Gestion de la demande en eau en Méditerranée, progrès et politiques. Saragosse, 19-21 mars.
- **AGOUMI A. (2003)**: Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques, Besoin réel et urgent d'une stratégie d'adaptation et de moyens pour sa mise en œuvre, Institut international du développement durable. Maroc, 11p.
- **AISSAT D. (2006)**: Crues et sécheresses en Algérie, impact sur l'environnement Cas du Moyen Cheliff, thèse magister UHB Chlef.
- **ALFONSO MUÑOZ ROBLES C., NUÑEZ LOPEZ D., GADSDEN H., ALFREDO RODRIGUEZ PINEDA J., MANUEL REYES-GOMEZ V. et RAUL HINOJOSA O. (2006)** : Analyse des déficits hydriques dans l'état de Chihuahua (Mexique), revue sécheresse, vol. 17(4), pp457-465.
- **ALLEY W. M. (1984)**: The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. Journal of Climate and Applied Meteorology, n°23, pp 1100-1109.
- **AMEZINE T., BELGHITI M., BENBENISTE S., BERGAOUI M., BONACCORSO B., CANCELLIERE A., CHRISTOFIDES T., CUBILLO F., EUCHI L., GABIÑA D., GARRIDO A., GARROTE L., HAJISPYROU S., IBÁÑEZ J. C., IGLESIAS A., KERAVNOU PAPAIOU E., LAPEÑA A., LEBDI F., LÓPEZ-FRANCOS A., LOUATI M.H., MATHLOUTHI M., MELLOULI H.J., MONEO M., OUASSOU A., PANGALOU D., PASHARDES P., QUIROGA S., ROSSI G., ROSTANDI N., SARAÇOGLU D., SIBOU T., TIGKAS D., TSAKIRIS G., TSIOURTIS N., VANGELIS C., et ZIYAD A. (2006)**: Guide pour la gestion de la sécheresse. Commission Européenne-Office de Coopération Europe-AID. Euro-Mediterranean Regional Programme for Local Water Management (MEDA Water), 78 p. MEDROPLAN.
- **ANRH (2004)**: Annuaire Hydrogéologique de la nappe alluviale du haut et moyen Cheliff, 17 p.
- **BALAGHI R., JLIBENE M., TYCHON B. et MRABET R. (2007)** : Gestion du risque de sécheresse agricole au Maroc, Institut national de la recherche agronomique (Inra), revue sécheresse vol 18, n°3 pp169-176
- **BANNARI A., MORIN D., BONN F. et HUETE A. R. (1995)**: A Review of Vegetation Indices. Remote Sensing Reviews, n°13, pp 95-120.
- **BEAUDIN I. (2006)**: Potentiel de la télédétection pour la suivi et la caractérisation des conditions de sécheresses en milieu méditerranéen, Thèse des études supérieures de l'Université Laval, Espagne, 216p.
- **BENZARTI Z. et HABAIEB H. (2001)**: Étude de la persistance de la sécheresse en Tunisie par utilisation des chaînes de Markov (1909-1996) Sécheresse. Volume 12, Numéro 4, pp 215-220.
- **BERAN M. A. et RODIER J. A. (1987)**: Aspects hydrologique des sécheresses, UNESCO/OMM. BERGAOUI M. Et ALOUINI A. (2001): Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique, cas du bassin versant de Siliana en Tunisie, Rev. Sécheresse. Volume 12, Numéro 4, pp 205-213.
- **BHUIYAN C., SINGH R.P. et KOGAN F.N. (2006)**: Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data, International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information, Elsevier ([www.elsevier.com/locate/jag](http://www.elsevier.com/locate/jag)), 14p.
- **BORTON J. et NICHOLDS N. (1994)**: Sécheresse et famine, Programme de Formation à la Gestion de Catastrophes, PNUD / DHA. 60 p.
- **BOUCIFIANE A. (2006)**: Cartographie des précipitations du bassin hydrographique Chélif-Zahrez, thèse magister CUKM Khemis Miliana.

- **BROCHET P. (1977)** : La sécheresse 1976 en France aspect climatologique et conséquences, Bulletin des Sciences Hydrologiques, XXII, 3 9/1977 pp393-411.
- **BOYD D.S., PHIPPS P.C., FOODY G. M. et WALSH R. P. D. (2002)**: Exploring the utility of NOAA AVHRR middle infrared reflectance to monitor the impacts of ENSO induced drought stress on Sabah rainforest. International Journal of Remote Sensing, n°23, pp 5141-5147.
- **CONESA GARCIA C. et MARTIN-VIDE J. (1993)**: Analyse par chaîne de Markov de la sécheresse dans le sud-est de l'Espagne ; revue sécheresse n°2, vol 4, pp 123-9.
- **DE SILVA K. R. P. et PUNYAWARDERNE B. V. R. (2004)**: Drought Analysis in West zone Hydropower Catchment Areas, Water Professionals' Symposium.
- **DGF (2006)**: Atelier national sur l'évaluation d'alerte précoce à la sécheresse existant à l'échelle nationale; Direction Générale des Forêts, Alger.
- **DESAI V. R. et MISHRA A. K. (2005)**: Spatial and temporal drought analyse in the Kansabati river basin, Intl. River Basin Management Vol. 3, N° 1, pp. 31-41, India.
- **EDWARDS D., MCKEE T., DOESKEN N. et KLEIST J. (1997)**: Historical analysis of drought in the United States. American Meteorological Society, 7th Conference on climate variations.
- **EDWARDS D. (2000)**: SPI defined. In: <http://ulysses.atmos.colostate.edu/SPI.html>, Colorado.
- **EDWARDS D. et MCKEE T. B. (1997)**: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology report No. 97-2. Paper No 634. Fort Collins, Colorado University.
- **ELBOUQDAOUI K., HAIDA S., ABOULABBES O., BENAABIDAT L., ZAHRAOUI M. et OZER A. (2006)**: Évolution du régime pluviométrique et hydrométrique du bassin versant du Srou (Moyen Atlas, Maroc), Geo-Eco-Trop, vol 30.2 - pp 41-56.
- **ELLOUZE M. Et ABIDA H. (2008)**: Caractérisation de la sècheresse au sud Tunisien, 13th World Water Congress, Montpellier, France, 14 p.
- **FAO (2008)**: Food and Agriculture Organization, <http://www.fao.org/>.
- **GIBBS W. J. et MAHER J. V. (1967)** : Rainfall Deciles as Drought Indicators. Director of Meteorology of Melbourne, Australia, 32p.
- **FLORIDA AGRICULTURAL INFORMATION RETRIEVAL SYSTEM (1998)**: Florida Agricultural Information Retrieval system. Consulté en ligne: <Http://hammockifas.ufl.edu/txt/fairs/389>.
- **GAUTIER F., H. LUBES, SABATIER R., MASSON J.M., PATUREL J.E. et SERVAT E. (1998)**: Variabilité du régime pluviométrique de l'Afrique de l'Ouest non sahélienne entre 1950 et 1989, Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, vol. 43(6).
- **GIEC (2007)**: Bilan 2007 des changements climatiques, (OMM), Genève, Suisse.
- **GUTTMAN N. B. (1998)**: Comparing the Palmer drought index and the standardised precipitation index. J. Am. Water Res. Assoc. Vol 34(1), pp 113-121.
- **GUTTMAN N. B., WALLIS J. R. et HOSKING J. R. M. (1991)**: Spatial Comparability of the Palmer Drought Severity Index. Water Resources Bulletin 28, pp 1111-1119.
- **HADEF R. et HADEF A. (2001)**: Le déficit d'eau en Algérie: une situation alarmante; Institut de Génie Mécanique, C U Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi.
- **HAYES M. J. (2005)**: What is Drought ? Drought Indices. Report of the National Drought Mitigation Center, University of Nebraska. USA.
- **HAYES M. J., SVOBODA M. D., WILHITE D. A. et VANYARKHO O. (1999)**: Monitoring the 1996 drought using the SPI. Bulletin of the American Meteorological Society 80, pp 429-438.
- **HAYES M. J. (2000)**: Revisiting the SPI: Clarifying the Process, University of Nebraska – Lincoln. USA.
- **HAYES M. J. (2002)**: Drought Indices. National Drought Mitigation Center – NDMC. Consulté en ligne en date du 12/07/2008: <http://enso.unl.edu/ndmc>.

- **HUBERT P., CARBONNEL J.P., et CHAUCHE A. (1989):** Segmentation des séries hydrométéorologiques, Application à des séries de précipitations et de débits de Afrique de l'Ouest. *J. Hydrol.* 110, pp 349-367.
- **HUETE A.R. (1988):** A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote sensing of Environment*, n° 25, pp 295-309.
- **JEAN-CLAUDE B., BERNARD L. Et SMIEJ M. F. (2007):** Vers un suivi en temps réel de la sécheresse au Maroc à partir des données Météosat Seconde Génération (MSG), CNRS UMR, France.
- **JEAN-PIERRE A. (2006):** Sécheresse et agriculture (Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau), INRA France.
- **JACKSON, T.J., CHEN, D., COSH, M., LI, F., ANDERSON, M., WATHALL, C., DORIASWAMY, P. et HUNT, E.R. (2004):** Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. *Remote Sensing of Environment*, vol. 92-4, 475-482.
- **JACKSON R. D., IDSO S. B., REGINATO R. J. et PINTER P. J. JR. (1981):** Canopy Temperature as a Crop Water Stress Indicator. *Water Resources Research*, vol. 17-4, pp 1133-1138.
- **KADI A. (1997):** La gestion de l'eau en Algérie, *Journal des Sciences Hydrologiques*, vol. 42(2), pp191-197.
- **KAROU M. (2006):** Mise en place d'un système d'alerte précoce à la sécheresse dans 3 pays de la rive sud de la Méditerranée : l'Algérie, le Maroc et la Tunisie. Rapport de l'atelier national. Maroc.
- **KEETCH J. J. et BYRAM G. M. (1968):** A Drought Index for Forest Fire Control. US Department of Agriculture, Forest Service, Research Paper SE-38, pp 1-32.
- **KETTAB A., AIT MOUHOUB D., OUARDA T. et BOBBEE B. (2004):** Contribution à l'étude du phénomène de la sécheresse sur les régions littorales de l'Algérie. École Nationale Polytechnique (E.N.P), Alger, 12p.
- **KOGAN F., YANG B., WEI G., ZHIYUAN P. et XIANFENG J. (2005):** Modelling corn production in China using AVHRR-based vegetation health indices. *International Journal of Remote Sensing*, vol.26-11, pp 2325-2336.
- **KOMUSCU A. U. (1999):** Using the SPI to analyze spatial and temporal patterns of drought in Turkey. *Drought Network News*.
- **KUMARA RANJITH PREMALAR DE SILVA K. et PUNYAWARDERNE B.V. (2004):** Hydrological Drought Analysis in West zone Hydropower Catchment Areas, Water Professionals' Symposium, Sri-Lanka.
- **KUSTAS W. P., SCHMUGGE T. J., HUMES K. S., JACKSON T. J., PARRY R., WELTZ M.A. et MORANS, M.S. (1993):** Relationship between Evaporative Fraction and Remotely Sensed Vegetation Index and Microwave Brightness Temperature for Semiarid Rangelands. *Journal of Applied Meteorology*, n° 32, pp 1781-1790.
- **LABORDE J. P. (2000):** Élément d'hydrologie de surface, Université de Nice. 204p
- **LABORDE J. P. et MOUHOUS N. (1998):** Notice d'utilisation du logiciel HYDROLAB (Version 98.2). Équipe Gestion et Valorisation de l'Environnement de l'UM.R.5651 du C.N.R.S France.
- **LE-HER. M. (2008):** Tests non paramétriques sous Microsoft® Excel.
- **LHOMME J-P. et KATERJI N. (1991):** A simple modeling of crop water balance for agrometeorological applications. *Ecological Modeling*, vol 57, pp11-25.
- **LUBES-NIEL H., MASSON J.M., PATUREL J.E. et SERVAT E. (1998):** Variabilité climatique et statistiques. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Rev. Sci. Eau* 11 (3) pp 383-408.
- **LUBES-NIEL H. (2006):** Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, Montpellier.
- **LUBES-Niel H., LUBES H., MASSON J.M., SERVAT E., PATUREL J.E., KOUAME B. et BOYER J.F. (1994):** Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques. Étude bibliographique." Programme ICCARE. Rapport n°3. ICCARE. ORSTOM, France.

- **MANUEL REYES-GOMEZ V., NUÑEZ LOPEZ D., ALFONSO MUÑOZ ROBLES C., ALFREDO RODRIGUEZ PINEDA J., GADSDEN H., LOPEZ ORTIZ M. et RAUL HINOJOSA DE LA GARZA O. (2006):** Caractérisation de la sécheresse hydrologique dans le bassin versant du Rio Conchos (Mexique), *Revue sécheresse*, vol 17, n°4 : pp 475-88.
- **MARTIN N. (2007):** Analyse spatiotemporelle des précipitations en Tunisie : implication sur le stress hydrique des écosystèmes, mémoire master 2, Tunisien.
- **MCKEE T. B., DOESKEN N. J. et KLEIST J. (1993):** The relationship of drought frequency and duration to time scales. American Meteorological Society, 8th Conference on applied climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, pp179-184.
- **MCKEE T. B., DOESKEN N. J. et KLEIST J. (1995):** Drought monitoring with multiple time scales. American Meteorological Society, 9th Conference on applied climatology. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, TX, pp. 233-236.
- **MEDDI H., MEDDI M., MAHR N. et HUMBERT J. (2007):** Quantification des précipitations : application Au Nord Ouest de L'Algérie par la Méthode Pluvia, *Geographia Technica*, N° 1, pp44-62.
- **MEDDI H. et MEDDI M. (2007):** Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord-Ouest de l'Algerie, *Geographia Technica* n°2.
- **MISHRA A. K. et DESAI V. R. (2005):** Drought forecasting using stochastic models (stoch environ resrisk assess n° 19, pp 326-339. India.
- **MORAN M. S., CLARKE T. R., INOUE Y. et VIDAL A. (1994):** Estimating Crop Water Deficit Using the Relation between Surface-Air Temperature and Spectral Vegetation Index. *Remote Sensing of Environment*, n° 49, pp 246-263
- **NDMC (2008):** National Drought Mitigation Center; Consulté en ligne : <http://enso.unl.edu/ndmc>.
- **NUÑEZ LOPEZ D., ALFONSO MUÑOZ ROBLES C., GADSDEN H. et MANUEL REYES-GOMEZ V. (2006):** Caractérisation, à diverses échelles de temps, des séquences de sécheresse dans l'État de Chihuahua (Mexique). *Sécheresse* vol. 17, n° 4 pp 467-74.
- **PALMER W. (1968):** Keeping track of the Crop Moisture Conditions, Nationwide : The new crop Moisture Index. *Weatherwise*, n° 21, pp156-161.
- **PATUREL J. E. et BOUBACAR I. (2004):** Évolution de la pluviométrie annuelle en Afrique de l'ouest et centrale au XXème siècle, *sud sciences et technologie* n°13.
- **PEREIRA L. S. et PAULO A. A. :** Droughts: Concepts, Indices and Prediction, Agricultural Engineering Research Center, Institute, Lisbon, Portugal.
- **PIERSOLTE C. (2005):** La lutte contre la désertification de la Convention des Nations Unies aux activités des Organisations Non-Gouvernementales Belges dans la région du Sahel Cas du Burkina Faso et du Niger, Mémoire de Fin d'Études.
- **PITA M. F. (2003):** Un nouvel indice de sécheresse pour les domaines méditerranéens. Application au bassin du Guadalquivir (sud-ouest de l'Espagne) l'Association Internationale de Climatologie, vol 13, Nice, pp. 225-234.
- **POLOGNE L. et TROTMAN A. (2007):** Drought and precipitation monitoring in the Caraïbes an Standardized precipitation Index (SPI).
- **REMAOUN M. (2007):** Crues et sécheresse en Algérie : cas du moyen Chélif, thèse doctorat UTHB Bab Ezzouar, Alger.
- **ROUDIER P. (2008):** Vulnérabilité des ressources en eau superficielle d'un bassin soudano-sahélien dans un contexte de changement climatique : approche par indicateurs, Mémoire de Master 2, IRD, 73 p.
- **RONDEAUX G., STEVEN M. et BARET F. (1996):** Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment*, n° 55, pp 95-107.
- **QI J. CHEHBOUMI A., HUETE A. R., KERR Y.H. et SOROOSHIA N. S. (1994):** A Modified Soil Adjusted Vegetation Index. *Remote Sensing of Environment*, n°48, pp119-126.

- **OMM (2006):** Suivi de la sécheresse et alerte précoce : principes, progrès et enjeux futurs, OMM-N° 1006, Genève – Suisse, 26p.
- **OSS (2006):** Un plan d'action régional du système mondial et de l'observation du climat (SMOC) pour le Bassin Méditerranée.
- **OSS (2009):** Vers un système d'Algérie précoce à la sécheresse au Maghreb, Observatoire du Sahel et du Sahara. Collection Synthèse n° 4. OSS, pp 84, Tunis.
- **SARI AHMED A. (2002):** Initiation à l'hydrologie de surface, UTHB Bab Ezzouar Alger. édition Houma, 219 p.
- **SANNIER C. A. D., TAYLOR J. C. et DU PLESSIS W. (2002):** Real-time monitoring of vegetation biomass with NOAA AVHRR in Etosha National Park, Namibia, for fire risk assessment. International Journal of Remote Sensing, vol. 23-1, pp 71-89.
- **SEVAT E., PATUREL J. E., LUBES-NIEL H., KOUAME B., MASSON J., TRAVAGLIO M., et MARIEU B. (1999) :** De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'ouest et centre non sahélienne, Revue des sciences de l'eau, 12/2, pp 363-87.
- **SHAFER B. A. et DEZMAN L. E. (1982):** Development of a Surface water Supply Index (SWSI) to Assess the Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas. Proceedings of Western Snow Conference, pp164-175.
- **SICARD P. (2006):** Caractérisation des retombées atmosphériques en France en zone rurale sous forme de précipitation, gaz et aérosols, Thèse doctorat; Université de Lille, France.
- **SINGH R. P., ROY S. et KOGAN F. (2003) :** Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. International Journal of Remote Sensing, vol 24-22, pp 4393-4402.
- **SIRDAŞ S. et ŞEN Z. (2003):** Spatio-temporel drought analysis in the Trakya region, Turkey; Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, 48(5), pp809-820.
- **SMOC (2006):** Un plan d'action régional du système mondial et de l'observation du climat pour le bassin Méditerranée (UNDP/ONU).
- **STOUR L. et AGOUMI A. (2008):** Sécheresse climatique au Maroc durant les dernières décennies, Hydroécol. Appl. Tome 16, pp. 215–232.
- **UNCCD 'United Nations Convention to Combat Desertification' (1994):** Élaboration d'une Convention Internationale sur la Lutte contre la Désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse et /ou la désertification, en particulier en Afrique. Texte final de la Convention, A/AC.241/27.
- **UNCCD 'United Nations Convention to Combat Desertification' (2000):** Conférence des parties. Comité de la science et de la technologie, Rapport du Groupe special GE.00-64137, Quatrième session Bonn.
- **TATE E. L. et GUSTARD A. (2000):** Drought definition: A Hydrological perspective. Drought and Drought Mitigation in Europe. Jurgen Vogt and Francesca Somma (Editors). Kluwer Academic Publishers, Netherlands
- **THOM H. C. S. (1966):** Some methods of climatological analysis. WMO Technical Note, n° 81. Geneva, World Meteorological Organization.
- **WILHITE D. A. (2003):** Tendances des risques de sécheresse et approche intégrée de la réduction de la vulnérabilité Université Nebraska-Lincoln, USA.
- **YACOUBI S. M. (2000):** Les ressources en eau au Maroc: bilan, perspectives et plan d'action. In : La Politique de l'Eau et la Sécurité Alimentaire du Maroc à l'aube du XXI° siècle. Académie du Royaume du Maroc.
- **YOUNG K. C. (1992):** A three-way model for interpolating for monthly precipitation values. My Weather Rev (120), pp 2561-2569.

## Référence des sites Web.

- Ministère des ressources en eaux ALGER – ALGERIE :  
[www.mre.gov.dz](http://www.mre.gov.dz)
- Satellite derived maps of United States Vegetation Health and Fire Risk:  
<http://orbit-net.nesdis.noaa.gov/crad/sat/surf/vci/usa.html>
- Departure from Average Greenness Map:  
<http://www.fs.fed.us/land/wfas/dalpanel.gif>
- USDA National Agricultural Statistics Service - Crop weather, Crop status, Crop production:  
<http://www.usda.gov/nass/pubs/staterpt.htm#maps>
- USDA Drought Information Page - Listing of Secretary of Agriculture declarations and assistance :  
<http://drought.fsa.usda.gov>
- National Drought Mitigation Center (NDMC):  
<http://enso.unl.edu/ndmc/>
- Colorado Climate Summaries by weather station - Western Regional Climate Center:  
<http://wrcc.sage.dri.edu/summary/climsmco.html>
- New Mexico Drought Status:  
<http://weather.nmsu.edu/drought>
- Nebraska Drought Status:  
<http://linux1.nrc.state.ne.us/carcunl/>
- Western Regional Climate Center:  
<http://wrcc.dri.edu/index.html>
- Other drought monitoring links:  
<http://enso.unl.edu/ndmc/watch/watch.html>  
<http://enso.unl.edu/monitor/links.html>  
<http://wrcc.sage.dri.edu/monitor/wdccmon.html>
- World Food Programme (WFO) and WFP Vulnerability Mapping Guidelines:  
[http://www.wfp.org/DM\\_VAM\\_WFPMapGuide.html](http://www.wfp.org/DM_VAM_WFPMapGuide.html), 2.
- Tau de Kendall, test de la corrélation sur rang :  
<http://www.cohort.com/index.html>
- Guetter la sécheresse :  
<http://www.agr.gc.ca/pfra/drougt/nlspiesc-f.htm>.



## **ABRÉVIATIONS**

### **1. STRCUTURES ET ORGANISMES**

ABH	: Agence des bassins hydrographique
AEP	: Alimentation en eau potable
ANRH	: Agence nationale des ressources hydrauliques
CCD	: Convention sur la lutte contre la Désertification
NCDC	: National Climatic Data Center
DNMC	: Centre national de surveillance de la sécheresse (National Drought Mitigation Center)
FAO	: Organisation mondiale de l'agriculture et de l'alimentation
GIEC	: Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat.
ICCARE	: Identification et conséquences d'une variabilité du climat en Afrique de l'Ouest non Sahélienne
INRA	: Institut national de la recherche agronomique
IRD	: Institut de Recherche pour le Développement, l'Université de Montpellier et l'École des Mines.
ISESCO	: Organisation islamique pour l'éducation, les sciences et les cultures
Medroplan	: Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning
MRE	: Ministère des ressources en eaux
SMOC	: système mondial de l'observation du climat
ONM	: Office national de la météorologie
ONID	: Office notionnel de l'irrigation et de drainage
OMM	: Organisation mondiale de la météorologie
OSS	: Observatoire du Sahara et du Sahel
PNUD	: Plan des nations unis du développement.
RGPH	: Recensements globales de la population et de la habitat

### **2. INDICATEURS PRINCIPAUX DE LA SECHERESSE**

AWC	: Available Water Capacity
CMI	: Crop Moisture Index
CWSI	: Crop Water Stress Index
D	: Precipitation deciles
EF	: Evaporative Fraction
KBDI	: Keetch Byram Drought Index
MSAVI	: Modified SAVI
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index
PDSI	: Palmer Drought Severity Index
PN	: Percent of normal
SAVI	: Soil Adjusted Vegetation Index
SPI	: Standardized Precipitation Index
SWSI	: Surface Water Supply Index
TCI	: Temperature Condition Index
Ts	: Température de surface
VCi	: Vegetation Condition Index
VPI	: Vegetation Productivity Index
WDI	: Water Deficit Index
WSI	: Simple Water Stress Index

### **3. MOTS COMMUNS**

PMH	: Petite et moyenne hydraulique
GH	: Grande hydraulique.
BV	: Bassin versant
SB	: Sous bassin versant
AEP	: Alimentation en eau potable

## GLOSSAIRE

- **Aléa** : Événement matériel, phénomène physique et/ou activité humaine potentiellement destructif susceptible de faire des morts et des blessés, d'endommager des biens et des propriétés, de provoquer une rupture de la vie sociale et économique, et d'entraîner une dégradation de l'environnement.
- **Alerte précoce** : Apport d'informations efficaces au moment voulu et opportun à travers des institutions bien identifiées, pour permettre à des individus exposés à des aléas de prendre des actions pour éviter ou réduire les risques et se préparer à des réponses efficaces.
- **Aridité** : État climatique naturel et permanent où existe une moyenne annuelle ou saisonnière très faible de précipitations.
- **Bassin hydrographique** : Toute zone dans laquelle toutes les eaux de ruissellement convergent à travers un réseau de rivières, fleuves et éventuellement de lacs vers la mer, dans laquelle elles se déversent par une seule embouchure, estuaire ou delta.
- **Bassin versant** : Le bassin versant ou de captage est la zone du territoire drainée par un cours d'eau et ses affluents.
- **Catastrophe** : Grave interruption du fonctionnement d'une communauté ou d'une société causant des pertes matérielles, économiques, environnementales et en vies humaines que la communauté ou la société affectée ne peut surmonter avec ses seules ressources propres.
- **Désastre** est une situation ou un événement, qui submerge la capacité d'adaptation locale, nécessitant la demande, à un niveau national ou international, d'une assistance extérieure. Il peut causer de graves dommages, la destruction et la souffrance humaine. Bien que souvent d'origine naturelle, le désastre peut aussi avoir une origine humaine. Ses causes peuvent être : l'effondrement d'une construction, le blizzard, une sécheresse, une épidémie, un tremblement de terre, une explosion, le feu, une inondation, du matériel dangereux ou un accident de transport (tel que répandre des produits chimiques) un ouragan, un accident nucléaire, une tornade ou une éruption volcanique (FAO).
- **Gestion de crise** : La gestion de crise est une approche réactive non planifiée faisant appel à des mesures tactiques à mettre en place pour affronter les problèmes après l'apparition d'une catastrophe.
- **Indicateur** : Une valeur observée, représentative d'un phénomène à étudier (d'ordre social, économique ou environnemental). En général, les indicateurs quantifient l'information par

agrégation de données multiples et différentes. L'information résultante sur des phénomènes complexes est ainsi synthétique et simplifiée.

- **Indice** : Une combinaison pondérée des deux ou plusieurs indicateurs. Un indice est conçu pour être un récapitulatif d'un système. Par exemple, un "indice environnemental" peut comporter des données concernant la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la qualité du sol, etc. Un autre exemple est constitué par les indicateurs économiques qui sont utilisés pour prévoir l'activité économique, tels que taux de croissance du PIB. On peut utiliser l'indice pour aboutir à un fait ou une conclusion précise.
- **Pénurie d'eau** : Déséquilibre temporaire en eau induit par l'homme. La pénurie en eau dans un système d'alimentation en eau représente un déficit hydrique par rapport à la demande, ce qui peut survenir en raison d'une sécheresse ou en raison d'autres causes dues à l'homme.
- **Prévention** : La prévention consiste à réduire le risque ainsi que les effets de l'incertitude. Ainsi par prévention on entend les activités entreprises pour éviter entièrement les effets hostiles des aléas.
- **Rareté de l'eau** : Ceci indique un état permanent de déséquilibre entre les ressources en eau et la demande en eau dans une région (ou dans un système d'alimentation en eau) caractérisée par un climat aride et/ou une demande en eau qui s'accroît rapidement, associée à une croissance démographique, augmentation des terres sous agriculture irriguée, etc.
- **Risque** : Probabilité de l'apparition d'événements nuisibles ou de pertes prévisibles (morts, blessés, biens, moyens d'existence, rupture de l'activité économique, dommages sur l'environnement) suite à des interactions entre aléas naturels ou anthropiques et conditions vulnérables.
- **Sécheresse** : État temporaire, naturel et occasionnel (aléatoire) de réduction notable des précipitations et de la disponibilité en eau par rapport aux valeurs normales, s'étendant sur une période de temps significative et couvrant une vaste région.
- **Sous-bassin** : Toute zone dans laquelle toutes les eaux de ruissellement convergent à travers un réseau de rivières, de fleuves et éventuellement de lacs vers un point particulier d'un cours d'eau (normalement un lac ou un confluent).
- **Vulnérabilité** : Ensemble de conditions et de processus résultant de facteurs matériels, sociaux, économiques et environnementaux qui accentuent la sensibilité d'une communauté à l'impact des aléas.

**Annexe 01** : Définitions et rappels sur les méthodes statistiques utilisées.

« Probabilité, statistique et modélisation ebook al access version 4.22; 2002 »  
(<http://www.aiaccess.net>)

## A. Définitions:

### 1. Régression Linéaire Simple ou Multiple :

La Régression Linéaire Simple cherche à faire passer une droite "au milieu" (c'est à dire au sens des Moindres Carrés) à travers le nuage de points représentant les données dans le plan (x, y). Il va de même pour la Régression Linéaire Multiple, si ce n'est que la représentation visuelle devient maintenant impossible, sauf, "de justesse", lorsqu'il n'y a que deux variables explicatives  $x_1$  et  $x_2$  : la Régression Linéaire Multiple va alors faire passer "au mieux" un plan à travers le nuage de points représentant les données dans l'espace ( $x_1, x_2, y$ ).

### 2. Méthode du Maximum de Vraisemblance :

Étant donné un échantillon et une distribution candidate, la Vraisemblance est une mesure de la crédibilité de l'affirmation "Cette distribution est celle qui a donné naissance à cet échantillon.", la méthode du Maximum de Vraisemblance (MV) sélectionne la distribution de la famille qui rend maximale la Vraisemblance de l'échantillon. Les valeurs des paramètres ainsi obtenues sont les estimations par Maximum de Vraisemblance des valeurs des paramètres de la distribution.

### 3. Méthode des Moindres Carrés

La meilleure estimation de la moyenne d'une variable aléatoire est la moyenne empirique  $m$ , qui a également la propriété de rendre minimale la somme :

$$S = \sum_i (x_i - a)^2$$

Où;  $a$  : un paramètre ajustable,  $S$  : est minimal pour  $a = m$ .

La fonction  $y = f(x)$  est la fonction de régression de  $y$  sur  $x$  si, pour toute valeur de  $x$ ,  $f(x)$  est égale à la moyenne de  $y$  pour cette valeur de  $x$ . La régression peut donc être perçue comme l'estimation simultanée des moyennes d'une infinité de variables aléatoires, une pour chaque valeur de  $x$ .

L'Estimation par Moindres Carrés (ou "Méthode des Moindres Carrés") est une extension de la propriété de la moyenne de la population évoquée ci-dessus. Les paramètres d'un modèle de régression  $y = f(x)$  sont le plus souvent calculés en imposant que soit rendue minimale la somme des carrés des différences entre :

- Les prédictions  $f(x)$  du modèle,
- et les valeurs effectivement mesurées de la variable à prédire (les valeurs de  $y$  de la table des données).

L'estimation par Moindres Carrés est la technique utilisée pour le calcul des paramètres du modèle en Régression Linéaire Simple ou Multiple.

## **B/- Rappels sur les Tests statistiques utilisés :**

### **1. Le test de Pettitt (Pettitt, 1979) :**

Test non paramétrique examine l'existence d'une rupture à un instant inconnu de la série à partir d'une formulation dérivée de celle du test de Mann-Whitney (Dagnélie, 1970).

Ce test est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne et, si l'hypothèse nulle d'homogénéité de la série est rejetée, il propose une estimation de la date de rupture.

### **2. La statistique de Buishand (Buishand, 1982) :**

Est dérivée d'une formulation originale donnée par Gardner (1969) pour établir un test bilatéral de rupture en moyenne à un instant inconnu.

Le test de Buishand est paramétrique, supposant la normalité de la série, non auto-corrélation et constance de la variance de part et d'autre du point de rupture éventuel. Ce test est performant pour détecter une rupture en milieu de série, mais il ne fournit pas d'estimation du point de rupture.

### **3. La méthode Bayésienne de Lee & Heghinian**

(Lee et Heghinian, 1977; Bruneau et Rassam, 1983) :

Est une approche paramétrique qui requiert une distribution normale des variables étudiées. Elle fait l'hypothèse d'une rupture en moyenne à un instant inconnu. La distribution à priori de l'instant de la rupture est uniforme, et compte tenu de cette information et des données, la méthode produit la distribution de probabilité à posteriori de l'instant de la rupture.

### **4. La procédure de segmentation non paramétrique de séries hydrométéorologiques**

(Hubert et Carbonnel, 1987; Hubert et al., 1989) :

Est adaptée à la recherche de multiples changements de moyenne dans la série. Son principe est de "découper" la série en plusieurs segments de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s) par application du test de Scheffé (Kendall & Stuart, 1943) qui repose sur le concept de contraste (Dagnélie, 1970).

**5. Test de Mann-Kendall ,1975 : « test de tendance »**

Est test statistique non paramétrique pour la détection de la présence de la tendance monotone croissante ou décroissante au sein de la série pluviométrique, on s'intéresse à la distribution asymptotique des couples (pluviométrie, année).

Par le biais du logiciel XLSTAT-Pro 7.5 (voir tableau) on regarde la valeur de Kendall qu'indiquera la monotonie de la série.

L'absence de la corrélation est l'hypothèse nulle de ce test.

**6. Test de Kendall et Stuart, 1943; WMO, 1966 : « test de corrélation sur les rang »**

C'est un test de déclaration : la série pluviométrique présente le caractère aléatoire ou non, leur hypothèse nulle est alternative de celle de test de tendance

**7. Test de Kolmogorov-Smirnov :**

Teste non-paramétrique de l'hypothèse nulle  $H_0$  selon laquelle l'échantillon a été prélevé dans une population de fonction de répartition  $F(x)$ . Pour cela, il calcule sur l'échantillon une quantité  $D$ , appelée "statistique de Kolmogorov", dont la distribution est connue lorsque  $H_0$  est vraie.

Une valeur élevée de  $D$  est une indication que la distribution de l'échantillon s'éloigne sensiblement de la distribution de référence  $F(x)$ , et qu'il est donc peu probable que  $H_0$  soit correcte.

**NB :**

- les tests non paramétriques ne font pas d'hypothèse sur la nature de la distribution de probabilité de la variable définissant la série des observations.
- Les tests sont dits robustes lorsque leurs conditions d'application sont peu strictes.
- **Corrélation de Kendall** : coefficient de corrélation non paramétrique, c'est-à-dire calculé sur les rangs des valeurs.

**Annexe 02** : Les démarches à suivre décrites par **McKee et Edwards** pour le calcul du SPI

- 1- Ajustement de la série chronologique à la loi Gamma incomplète (Thom, 1966), par le test Kolmogorov-Smirnov et parfois aussi la loi de khi-2, « la distribution qui représente le mieux l'évolution des séries de pluies, très robuste et peut traiter l'éventail de climats extrêmes, particulièrement la précipitation mensuelle et saisonnière »

La fonction de densité de la distribution Gamma incomplète ( $g(x)$ ) :

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \left\{ \begin{array}{l} x > 0 \\ \alpha > 0 \\ \beta > 0 \end{array} \right.$$

$\Gamma(\alpha)$  : représente la fonction mathématique de la distribution Gamma

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

- 2- Estimations des paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  qui sont les paramètres de forme et d'échelle, et qui sont positifs de la distribution Gamma incomplète, pour chaque station et année. Ils sont obtenus à partir de la méthode des maximum vraisemblances :

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

D'où :

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}$$

$n$  : nombre de précipitation annuelle observées

$\chi$  : la pluviométrie annuelle de l'année considéré

- 3- Utilisation les paramètres trouvés pour le calcul de la probabilité a cumulée d'une période de précipitation observée, la probabilité cumulée (fonction de répartition ( $G(x)$ )) devient :

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt$$

On met :

$$t = x / \hat{\beta}$$

**4- Transformation de la fonction Gamma incomplète :**

Du fait que la fonction Gamma est indéfinie pour  $x = 0$  et qu'une série de précipitations peut contenir des zéros, la probabilité cumulée devient :

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

Où :  $H(x)$  correspond à la probabilité cumulée quand  $x = 0$  et  $q$  est la fréquence de pluies nulles, est le cas de ce calcul.

**5- Dernièrement, la probabilité cumulée  $H(x)$ , n'est plus que la variable  $z$  d'une fonction de distribution normale standard caractérisée par une valeur moyenne de zéro et une variance unité : après cette transformation, la valeur calculée donne la valeur du SPI.**

Les valeurs négatives du SPI correspondent à un déficit des précipitations alors qu'à l'opposé les valeurs positives indiquent des pluies supérieures à la normale.

Probabilité expérimentale cumulée =  $\frac{k}{n + 1}$  (Panofsky et Brier, 1958)

K : rang de la mesure

**6- Transformation du SPI en Z score de la loi normale centrée réduite**

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$Z = SPI = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad 0.5 < H(x) < 1.0$$

Avec:

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)} \quad 0.5 < H(x) < 1.0$$

$$c_0 = 2.515517$$

$$c_1 = 0.802853$$

$$c_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788$$

$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308$$



**Annexe 03: Les postes pluviométriques choisis pour chaque sous bassin, leurs coordonnées topographiques et les distances correspondantes par rapport à la mer.**

Poste SB	code	Nom sous bassin	Station	X	Y	Z	DM	Surface km <sup>2</sup>	Périmètre km
SB1	PV 010102	O. Sebgag Berkana	Sebgag	426,55	379,2	1420	260	777.726	129.608
SB2	PV 010205	O. Namous Chelal	Gueltat sidi saad	430,2	410,9	1100	255	1734.289	210.15
SB3	PVE SB3	O. Touil Amont	PVE SB3	425,3	382,5	1000	225	689.584	123.087
SB4	PVE SB4	O. Sakni	PVE SB4	410,2	384,7	900	199	1675.180	245.106
SB5	PV 010502	O. Touil Moyen	Zemalet el amir AEK	464,2	177,75	850	191	1609.833	214.338
SB6	PVE SB6	O. Touil Aval	PVE SB6	456,8	389	750	159	1750.846	201.998
SB7	PV 010708	O. Sousselem	Ferme ferhat	416,65	227,2	900	154	3005.098	280.655
SB8	PV 010803	O. Mechti Zerga	Mehdia	413,9	237,35	918	124	1055.354	225.026
SB9	PV 010905	O. Ouassel Amont	Ain sebaine	410,2	239,5	925	130	626.532	156.659
SB10	PV 011007	O. Ouassel Moyen	Layoune	436,5	266,8	900	97	1621.658	237.91
SB11	PV 011104	Daia el Firania	Ain boucif	540,75	287,8	1250	131	2366.226	279.84
SB12	PV 011208	Daia Boughzoul	Boughzoul	507,1	272,25	643	122	2817.966	340.465
SB13	PV 011302	O. Cheliff Djelil	Derrag	472,15	289,85	1150	84	1012.662	171.427
SB14	PV 011405	O. Cheliff Ghrib	Ghrib	487,25	318,4	460	65	1378.630	175.667
SB15	PV 011510	O. Cheliff Harbil	Domaine ferroukhi	469,8	321,55	313	48	780.167	165.342
SB16	PV 011603	Deurdeur	Bordj el amir AEK	461,1	285,3	1080	66	850.954	179.268
SB17	PV 011703	O. Cheliff Harrezzal	Bordj amir khaled	455,85	313,8	370	47	756.698	142.463
SB18	PV 011804	O. Ebda	Ain defla	434,6	329,9	270	28	661.448	139.016
SB19	PV 011904	O. Rouina Zeddine	Rouina mairie	419,8	237,3	190	58	891.460	164.973
SB20	PV 012004	O. Cheliff Tikazale	Tikezal	414,35	321,7	320	36	587.686	151.334
SB21	PV 012108	O. Fodda	Barage fodda	402	305,6	430	67	1153.495	210.137
SB22	PV 012203	O. Ras Ouahrane	Barage ponteba	393,9	327,4	140	36	1438.452	225.533
SB23	PV 012308	O. Sly	Ouled ben abdelkader	373,4	302,85	240	74	1404.071	221.18
SB24	PV 012403	O. Cheliff Ouarizane	Merdj khharbia	352,6	305	87	38	574.763	119.965
SB25	PV 012501	O. Riou Tigniguest	Guertoufa	369,25	234,3	880	108	1617.564	197.101
SB26	PV 012605	O. Riou Tleta	Ami moussa	357,4	286,1	140	66	783.466	177.608
SB27	PV 012703	O. Djidiouia	Kenda	330,15	262,6	590	74	839.534	163.355
SB28	PV 012804	O. Cheliff Tarhia	D SiLakhdar	319,3	298,7	45	36	772.777	142.894
SB29	PV 012908	O. Mina Amont	Tiaret DHW	373,4	232,8	1100	132	1327.310	171.903
SB30	PV 013002	O. Taht	Frenda	348,6	196,8	990	118	771.995	147.771
SB31	PV 013103	O. Mina Moyenne	Sidi bakhti	343,4	217,9	925	99	736.682	147.732
SB32	PV 013202	O. Abd Amont	Rosfa	330,6	179,5	960	134	1498.792	194.295
SB33	PV 013304	O. Abd Aval	Takhmaret	312,73	202,85	640	93	1068.889	198.075
SB34	PV 013410	O. Mina Haddad	SMBenaouda	308,85	255,2	145	70	1240.340	187.129
SB35	PV 013506	O. Mina Aval	ElMatmar	300,1	271,5	73	50	1425.347	201.581
SB36	PV 013606	Chélif Maritime	Oued elKheir	290,85	297,2	230	16	495.588	122.314

**NB :**

**PVE SB3 :** Poste Pluviométrique déterminé par Estimation pour le sous bassin 3.

**X, Y et Z :** Coordonnées topographiques de Lambert en km

**DM :** Distance verticale par rapport à la mer en km

## Annexe 04 : Les paramètres de la régression linéaire multiple de chaque année.

année	Coef. X	coef. Y	coef. Z	Coef. DM	Constant	r. multiple
1968/1969	-1,27	0,38	0,31	-3,12	961,72	0,86
1969/1970	0,28	0,84	0,53	-4,22	276,92	0,80
1970/1971	-0,51	0,89	0,36	-3,58	447,53	0,84
1971/1972	-0,45	1,10	0,47	-4,89	702,02	0,80
1972/1973	-0,71	0,93	0,34	-3,41	606,24	0,88
1973/1974	-0,66	0,78	0,26	-3,36	631,56	0,90
1974/1975	0,20	0,64	0,51	-3,81	201,55	0,87
1975/1976	0,60	0,85	0,24	-2,61	30,26	0,69
1976/1977	-0,32	0,85	0,32	-3,42	479,55	0,82
1977/1978	-0,76	0,48	0,28	-2,87	615,83	0,79
1978/1979	-0,79	0,70	0,21	-2,97	677,70	0,88
1979/1980	-0,54	0,65	0,29	-2,86	519,34	0,82
1980/1981	-0,26	0,87	0,42	-3,21	275,01	0,84
1981/1982	0,09	0,17	0,26	-1,94	203,14	0,72
1982/1983	-0,13	0,62	0,26	-2,71	258,48	0,88
1983/1984	-0,61	0,53	0,20	-2,43	486,02	0,83
1984/1985	-0,06	0,65	0,33	-3,50	301,85	0,90
1985/1986	-0,42	0,59	0,29	-3,06	489,41	0,81
1986/1987	0,02	0,54	0,37	-3,69	334,44	0,91
1987/1988	-0,19	0,10	0,35	-2,82	393,69	0,83
1988/1989	0,18	0,00	0,29	-2,47	290,12	0,86
1989/1990	0,99	0,08	0,32	-2,55	-100,62	0,81
1990/1991	-0,43	0,34	0,36	-2,93	461,85	0,82
1991/1992	0,62	0,39	0,35	-2,67	13,85	0,87
1992/1993	-0,46	0,32	0,12	-1,53	394,80	0,90
1993/1994	-0,57	0,27	0,32	-2,54	429,61	0,82
1994/1995	-0,68	0,46	0,29	-2,78	599,59	0,82
1995/1996	-0,94	0,29	0,50	-4,04	863,89	0,91
1996/1997	-0,69	0,62	0,19	-2,12	503,20	0,82
1997/1998	-0,13	0,70	0,56	-3,89	298,95	0,79
1998/1999	-0,37	0,48	0,25	-2,26	363,78	0,81
1999/2000	-0,11	0,45	0,26	-1,84	168,27	0,72
2000/2001	0,00	0,25	0,37	-3,42	363,99	0,87
2001/2002	-0,50	0,23	0,20	-1,97	453,79	0,82
2002/2003	-0,58	0,37	0,31	-2,87	533,98	0,83
2003/2004	0,35	0,47	0,46	-3,27	127,15	0,75
2004/2005	-0,73	0,29	0,18	-2,12	566,95	0,93

NB:

X : longitude

Y : latitude

Z : altitude

DM : distance verticale linéaire par rapport à la mer.

**Annexe 05 : La série chronologique de la pluviométrie annuelle estimée par la régression multiple pour les sous bassins 3, 4 et 6.**

Années	P(mm) SB3	P(mm) SB4	P(mm) SB6
1968 / 1969	179,6	249,4	270,0
1969 / 1970	296,2	350,8	457,5
1970 / 1971	128,4	194,8	263,2
1971 / 1972	306,4	395,5	504,2
1972 / 1973	229,7	297,5	354,4
1973 / 1974	151,5	224,6	292,5
1974 / 1975	180,0	226,7	314,8
1975 / 1976	262,7	299,3	399,4
1976 / 1977	219,9	283,6	361,3
1977 / 1978	114,4	173,1	212,1
1978 / 1979	153,5	223,1	276,2
1979 / 1980	186,3	241,3	290,1
1980 / 1981	187,8	235,7	293,5
1981 / 1982	128,2	151,9	195,9
1982 / 1983	90,9	138,7	204,9
1983 / 1984	89,5	142,6	183,3
1984 / 1985	66,1	126,4	216,8
1985 / 1986	143,5	201,1	262,0
1986 / 1987	85,5	145,8	241,9
1987 / 1988	68,0	109,1	160,6
1988 / 1989	103,2	135,3	198,3
1989 / 1990	93,2	113,2	214,3
1990 / 1991	109,2	156,8	201,5
1991 / 1992	173,9	199,8	284,2
1992 / 1993	97,5	133,2	157,1
1993 / 1994	42,3	85,2	112,7
1994 / 1995	152,1	206,6	244,3
1995 / 1996	163,6	233,7	278,4
1996 / 1997	165,9	213,4	239,9
1997 / 1998	198,7	247,1	315,0
1998 / 1999	133,5	173,6	210,8
1999 / 2000	139,8	164,3	195,8
2000 / 2001	60,9	113,4	196,2
2001 / 2002	88,2	127,1	153,3
2002 / 2003	96,4	149,3	191,7
2003 / 2004	176,5	211,8	292,6
2004 / 2005	72,1	120,7	145,5

## Annexe 06: Les paramètres statistiques des postes pluviométriques choisis.

Postes	Nb obs.	Somme	Min	Max	Écart	moyen	Médiane	Variance	écart type	CV	alpha	beta
PV 10102	37	5528,6	42,6	375,3	332,7	149,42	152,7	5701,7	75,51	0,51	4,39	34,02
PV 10205	37	4960,81	10,6	366,9	356,3	134,08	144,9	6414,89	80,093	0,60	1,92	69,99
PVESB-3	37	5335,1	42,3	306,4	264,1	144,19	139,78	4083,3	63,901	0,44	5,27	27,36
PVE SB-4	37	7195,6	85,2	395,5	310,2	194,48	194,78	4964,9	70,462	0,36	8,31	23,39
PV 10502	37	3865,1	5,8	327,5	321,7	104,46	99,6	3685,9	60,711	0,58	2,76	37,79
PVE SB-6	37	9386,2	112,7	504,2	391,5	253,68	241,89	7129,8	84,438	0,33	10,06	25,22
PV 10708	37	8118,0	98,4	396,4	298	219,41	216,1	5168,08	71,8894	0,33	9,40	23,34
PV 10803	37	12879,9	139,3	735,2	595,9	348,11	335,2	12109	110,04	0,32	10,72	32,48
PV 10905	37	11817,9	100,7	656,7	556	319,4	309,7	13510	116,233	0,36	8,21	38,90
PV 11007	37	13190,3	183,1	575,6	392,5	356,49	360,6	9954,3	99,771	0,28	12,42	28,70
PV 11104	37	11528,1	36,9	563,9	527	311,57	301,9	22954	151,51	0,49	3,09	100,87
PV 11208	37	8464,1	110,9	414,8	303,9	228,76	213	5402,6	73,503	0,32	10,76	21,25
PV 11302	37	19134,7	316	832,1	516,1	517,15	518	15408	124,13	0,24	17,74	29,14
PV 11405	37	16731,1	237,5	676,9	439,4	452,19	457,3	12231	110,6	0,24	15,77	28,68
PV 11510	37	15770,7	188,2	691,4	503,2	426,24	411,8	16120	126,97	0,30	10,85	39,30
PV 11603	37	16107,1	241,5	639,2	397,7	435,33	455	11144	105,57	0,24	16,05	27,12
PV 11703	37	14657,3	174,1	1067,4	893,3	396,14	368,9	32980,5	181,605	0,46	5,87	67,43
PV 11804	37	16185,1	246,9	620	373,1	437,44	423,6	10275	101,37	0,23	18,43	23,74
PV 11904	37	13107,6	205,7	595,5	389,8	354,26	331,8	7488,9	86,538	0,24	17,81	19,90
PV 12004	37	13185,7	232,3	557,1	324,8	356,37	346,9	6591,7	81,19	0,23	20,28	17,57
PV 12108	37	15112,9	191,3	764,1	572,8	408,46	393,2	19580	139,93	0,34	8,66	47,16
PV 12203	37	15231,3	216,3	696,3	480	411,66	398,5	11984	109,47	0,27	14,36	28,66
PV 12308	37	12943,9	177,6	792,9	615,3	349,84	319,8	14519	120,49	0,34	10,04	34,83
PV 12403	37	10582,9	99,8	588,8	489	286,02	269,6	10390	101,93	0,36	7,83	36,53
PV 12501	37	14649,6	205,2	682,8	477,6	395,94	395,4	12249	110,68	0,28	12,84	30,83
PV 12605	37	13205,3	192,3	617,7	425,4	356,9	343,8	11915	109,16	0,31	11,17	31,96
PV 12703	37	12091,1	102,9	707,8	604,9	326,79	301,6	22050	148,49	0,45	4,59	71,13
PV 12804	37	11073,7	153,4	786,3	632,9	299,29	278,8	16197	127,27	0,43	7,25	41,27
PV 12908	37	19527,4	288,7	885,2	596,5	527,77	511,5	19604	140,01	0,27	14,46	36,50
PV 13002	37	14755,4	237,3	700,2	462,9	398,79	395,7	13307	115,36	0,29	13,00	30,69
PV 13103	37	17556,3	195	880,4	685,4	474,49	452,8	15568	124,77	0,26	15,40	30,80
PV 13202	37	7440,5	57,5	511	453,5	201,09	167,7	10791	103,88	0,52	4,53	44,36
PV 13304	37	9695,4	119,8	470,1	350,3	262,04	242,3	7161,2	84,624	0,32	10,26	25,53
PV 13410	37	9160,4	141,4	477,6	336,2	247,58	229,3	6191,7	78,688	0,32	11,84	20,91
PV 13506	37	9522,7	115,8	477,6	361,8	257,37	258,7	5130,9	71,631	0,28	13,02	19,77
PV 13606	37	11115,2	168,6	482,8	314,2	300,41	292,8	8060,4	89,78	0,30	11,91	25,23

**NB** : La pluviométrie annuelle au niveau des sous bassins SB3, SB4 et SB6 est estimée par régression multiple.

- **CV** : coefficient de variation
- **Alpha et Beta** : paramètres de la loi gamma incomplète

**Annexe 07 : L'ajustement de la pluviométrie annuelle à la loi gamma incomplète par le test de Kolmogorov-Smirnov pour les postes choisis.**

<b>Postes</b>	<b>valeurs calculées</b>
PV 010102	<b>0,138</b>
PV SB-3	<b>0,092</b>
PV SB-4	<b>0,109</b>
PV 010502	<b>0,099</b>
PV SB-6	<b>0,129</b>
PV 010708	<b>0,112</b>
PV 010803	<b>0,078</b>
PV 010905	<b>0,142</b>
PV 011007	<b>0,095</b>
PV 011104	<b>0,099</b>
PV 011208	<b>0,187</b>
PV 011302	<b>0,06</b>
PV 011405	<b>0,051</b>
PV 011510	<b>0,096</b>
PV 011603	<b>0,126</b>
PV 011703	<b>0,154</b>
PV 011804	<b>0,072</b>
PV 011904	<b>0,138</b>
PV 012004	<b>0,089</b>
PV 012108	<b>0,077</b>
PV 012203	<b>0,098</b>
PV 012308	<b>0,119</b>
PV 012403	<b>0,082</b>
PV 012501	<b>0,091</b>
PV 012605	<b>0,11</b>
PV 012703	<b>0,106</b>
PV 012804	<b>0,152</b>
PV 012908	<b>0,09</b>
PV 013002	<b>0,098</b>
PV 013103	<b>0,137</b>
PV 013202	<b>0,119</b>
PV 013304	<b>0,119</b>
PV 013410	<b>0,159</b>
PV 013506	<b>0,083</b>
PV 013606	<b>0,115</b>

**NB:**

- La valeur critique = **0.218**
- Alpha = **0.05**

**Annexe 8: La probabilité gamma incomplète de la pluviométrie annuelle, des postes choisis durant la période 1968/69 à 2004/05.**

année	GSB1	GSB2	GSB3	GSB4	GSB5	GSB6	GSB7	GSB8	GSB9	GSB10	GSB11	GSB12	GSB13	GSB14	GSB15	GSB16	GSB17	GSB18
1968 / 1969	0,6521	0,6066	0,7474	0,8055	0,7164	0,6196	0,6459	0,4776	0,6921	0,0748	0,2465	0,7993	0,259	0,273	0,43	0,163	0,713	0,743
1969 / 1970	0,9923	0,9708	0,9779	0,977	0,9941	0,9851	0,9254	0,8776	0,9391	0,3753	0,6193	0,9749	0,603	0,732	0,908	0,369	0,974	0,879
1970 / 1971	0,6036	0,8546	0,4547	0,5478	0,2862	0,5882	0,287	0,6836	0,5149	0,1324	0,5541	0,2138	0,203	0,33	0,314	0,25	0,739	0,265
1971 / 1972	0,5202	0,8463	0,9827	0,9924	0,9488	0,9947	0,934	0,9981	0,9828	0,516	0,8331	0,8683	0,844	0,93	0,925	0,746	0,999	0,95
1972 / 1973	0,7434	0,8556	0,9029	0,9236	0,5701	0,8897	0,7285	0,7557	0,2219	0,4479	0,9095	0,9323	0,637	0,92	0,913	0,67	0,743	0,952
1973 / 1974	0,681	0,8853	0,6023	0,7052	0,4938	0,7143	0,4309	0,3066	0,6009	0,5607	0,5305	0,3272	0,49	0,807	0,787	0,83	0,829	0,866
1974 / 1975	0,8205	0,7159	0,7491	0,7149	0,8435	0,7919	0,9401	0,887	0,7618	0,5537	0,4571	0,5921	0,534	0,819	0,966	0,617	0,751	0,674
1975 / 1976	0,9922	0,6369	0,9523	0,9265	0,7569	0,9514	0,5075	0,7033	0,6456	0,8948	0,6166	0,5642	0,55	0,663	0,607	0,623	0,964	0,91
1976 / 1977	0,869	0,7099	0,8815	0,8984	0,836	0,9022	0,7326	0,9232	0,7586	0,9234	0,7545	0,5921	0,6	0,38	0,507	0,603	0,839	0,852
1977 / 1978	0,2255	0,3929	0,3579	0,4156	0,4213	0,3281	0,4524	0,4729	0,2735	0,7373	0,752	0,2694	0,796	0,462	0,426	0,443	0,242	0,477
1978 / 1979	0,0951	0,6409	0,6143	0,698	0,34	0,6474	0,5925	0,7573	0,5792	0,7986	0,6552	0,3511	0,514	0,553	0,884	0,777	0,421	0,915
1979 / 1980	0,7933	0,6697	0,7755	0,776	0,7331	0,7049	0,7149	0,6168	0,1726	0,9729	0,4889	0,5366	0,976	0,903	0,852	0,839	0,853	0,877
1980 / 1981	0,9059	0,7379	0,7814	0,7539	0,6397	0,7183	0,4663	0,488	0,1047	0,8467	0,7457	0,5813	0,461	0,445	0,718	0,589	0,663	0,569
1981 / 1982	0,6814	0,5054	0,4529	0,2854	0,8911	0,2484	0,116	0,5653	0,1303	0,379	0,7693	0,4324	0,251	0,426	0,145	0,354	0,071	0,187
1982 / 1983	0,293	0,3056	0,2026	0,2109	0,2877	0,2922	0,0275	0,1573	0,1586	0,7358	0,665	0,1911	0,123	0,366	0,912	0,174	0,396	0,459
1983 / 1984	0,1267	0,1841	0,1939	0,2322	0,1193	0,1923	0,525	0,3705	0,004	0,1024	0,3985	0,0507	0,235	0,536	0,379	0,061	0,127	0,543
1984 / 1985	0,285	0,016	0,0761	0,1495	0,2794	0,3525	0,1473	0,258	0,3213	0,2345	0,4503	0,0844	0,644	0,89	0,41	0,606	0,55	0,783
1985 / 1986	0,6114	0,4103	0,5534	0,5842	0,5707	0,5823	0,5517	0,3872	0,3631	0,8774	0,0832	0,449	0,736	0,683	0,621	0,716	0,487	0,709
1986 / 1987	0,6246	0,0131	0,1703	0,2503	0,4715	0,4824	0,5723	0,5884	0,314	0,6428	0,1295	0,6119	0,716	0,801	0,739	0,81	0,731	0,828
1987 / 1988	0,4503	0,0141	0,0836	0,0809	0,6687	0,1078	0,5899	0,3308	0,1966	0,7358	0,1426	0,4768	0,033	0,137	0,496	0,058	0,324	0,065
1988 / 1989	0,6801	0,0312	0,2818	0,193	0,8023	0,2599	0,9104	0,5758	0,4984	0,1008	0,0089	0,2911	0,456	0,586	0,217	0,767	0,507	0,141
1989 / 1990	0,466	0,2294	0,2166	0,0948	0,7827	0,3394	0,5222	0,4918	0,49	0,3499	0,0051	0,9345	0,336	0,106	0,135	0,379	0,107	0,062
1990 / 1991	0,5814	0,648	0,3226	0,315	0,6523	0,2753	0,0742	0,404	0,5843	0,3774	0,0272	0,3866	0,431	0,295	0,379	0,854	0,454	0,141
1991 / 1992	0,6983	0,8624	0,7216	0,5766	0,7871	0,6814	0,6056	0,7807	0,5915	0,5891	0,8796	0,9464	0,853	0,712	0,705	0,958	0,4	0,446
1992 / 1993	0,356	0,5117	0,2439	0,1821	0,13	0,097	0,0812	0,0664	0,19	0,0285	0,1592	0,022	0,051	0,082	0,11	0,102	0,249	0,073
1993 / 1994	0,1253	0,0628	0,0145	0,0244	0,0011	0,0155	0,02	0,1072	0,299	0,0803	0,2315	0,1642	0,046	0,021	0,012	0,092	0,06	0,015
1994 / 1995	0,3138	0,7197	0,6059	0,6144	0,6703	0,4949	0,5983	0,6371	0,6197	0,8146	0,8238	0,3145	0,547	0,638	0,742	0,936	0,547	0,584
1995 / 1996	0,3225	0,7978	0,6703	0,7456	0,3203	0,6567	0,9828	0,884	0,9442	0,8767	0,9051	0,9493	0,887	0,964	0,87	0,637	0,712	0,731
1996 / 1997	0,2723	0,6384	0,6821	0,6504	0,4337	0,4721	0,0843	0,2767	0,6056	0,801	0,819	0,4044	0,35	0,139	0,145	0,069	0,278	0,37
1997 / 1998	0,8262	0,8306	0,821	0,7972	0,5958	0,7925	0,8188	0,8002	0,993	0,3576	0,833	0,7735	0,739	0,551	0,615	0,913	0,51	0,724
1998 / 1999	0,1917	0,6585	0,4888	0,4187	0,23	0,3216	0,7014	0,0981	0,5116	0,022	0,4695	0,3388	0,988	0,454	0,648	0,55	0,268	0,219
1999 / 2000	0,5835	0,6169	0,5299	0,3613	0,3716	0,2483	0,3557	0,1354	0,1793	0,1266	0,3939	0,4484	0,064	0,013	0,022	0,02	0,054	0,074
2000 / 2001	0,0867	0,1635	0,0574	0,0958	0,5491	0,25	0,2293	0,5279	0,6771	0,8912	0,7404	0,4585	0,768	0,67	0,165	0,603	0,494	0,446
2001 / 2002	0,0224	0,4869	0,1859	0,1525	0,1436	0,0861	0,2313	0,1631	0,5109	0,3013	0,2938	0,1471	0,056	0,018	0,046	0,022	0,069	0,132
2002 / 2003	0,0895	0,4506	0,2369	0,27	0,4764	0,2292	0,372	0,0851	0,7084	0,6062	0,8937	0,307	0,854	0,823	0,413	0,799	0,307	0,445
2003 / 2004	0,7026	0,7123	0,7336	0,642	0,0796	0,715	0,9362	0,8416	0,9226	0,8013	0,8728	0,9882	0,883	0,751	0,427	0,843	0,318	0,299
2004 / 2005	0,0476	0,2305	0,1012	0,1242	0,0324	0,0661	0,166	0,0063	0,1215	0,1478	0,3156	0,1124	0,106	0,189	0,203	0,303	0,197	0,327

**Annexe 8 (suite): La probabilité gamma incomplète de la pluviométrie annuelle, des postes choisis durant la période 1968/69 à 2004/05.**

année	GSB19	GSB20	GSB21	GSB22	GSB23	GSB24	GSB25	GSB26	GSB27	GSB28	GSB29	GSB30	GSB31	GSB32	GSB33	GSB34	GSB35	GSB36
1968 / 1969	0,844	0,819	0,894	0,854	0,798	0,929	0,843	0,929	0,407	0,488	0,964	0,833	0,734	0,994	0,933	0,809	0,776	0,556
1969 / 1970	0,873	0,848	0,966	0,93	0,915	0,922	0,571	0,888	0,885	0,981	0,965	0,959	0,715	0,983	0,985	0,876	0,853	0,969
1970 / 1971	0,128	0,166	0,841	0,698	0,864	0,684	0,67	0,408	0,874	0,999	0,562	0,729	0,721	0,793	0,862	0,725	0,682	0,935
1971 / 1972	0,993	0,988	0,985	0,988	0,999	0,992	0,987	0,983	0,902	0,974	0,987	0,99	0,997	0,947	0,959	0,996	0,995	0,96
1972 / 1973	0,873	0,847	0,88	0,776	0,851	0,863	0,774	0,903	0,765	0,763	0,742	0,922	0,122	0,929	0,927	0,989	0,922	0,651
1973 / 1974	0,893	0,268	0,919	0,834	0,627	0,803	0,535	0,746	0,886	0,493	0,733	0,561	0,226	0,729	0,544	0,97	0,902	0,918
1974 / 1975	0,472	0,393	0,778	0,592	0,78	0,464	0,185	0,827	0,928	0,671	0,649	0,71	0,614	0,412	0,727	0,704	0,76	0,472
1975 / 1976	0,906	0,882	0,836	0,917	0,913	0,756	0,823	0,854	0,79	0,729	0,705	0,602	0,831	0,528	0,574	0,743	0,704	0,077
1976 / 1977	0,924	0,902	0,807	0,929	0,895	0,711	0,692	0,863	0,895	0,268	0,806	0,874	0,841	0,295	0,382	0,48	0,757	0,13
1977 / 1978	0,636	0,677	0,617	0,457	0,655	0,883	0,683	0,627	0,803	0,513	0,725	0,737	0,494	0,081	0,23	0,725	0,544	0,377
1978 / 1979	0,832	0,931	0,744	0,889	0,919	0,549	0,515	0,696	0,803	0,865	0,685	0,379	0,425	0,369	0,459	0,532	0,621	0,18
1979 / 1980	0,787	0,763	0,663	0,806	0,431	0,483	0,765	0,683	0,648	0,641	0,752	0,748	0,369	0,693	0,58	0,697	0,683	0,504
1980 / 1981	0,365	0,385	0,581	0,486	0,237	0,061	0,488	0,356	0,638	0,475	0,494	0,475	0,608	0,603	0,938	0,519	0,658	0,511
1981 / 1982	0,11	0,07	0,22	0,178	0,034	0,48	0,449	0,082	0,222	0,072	0,244	0,161	0,746	0,345	0,183	0,048	0,007	0,103
1982 / 1983	0,36	0,224	0,589	0,203	0,177	0,159	0,085	0,313	0,495	0,519	0,037	0,127	0,547	0,139	0,182	0,435	0,728	0,866
1983 / 1984	0,237	0,321	0,455	0,546	0,158	0,136	0,074	0,233	0,028	0,258	0,312	0,179	0,002	0,077	0,076	0,405	0,39	0,96
1984 / 1985	0,745	0,656	0,605	0,479	0,15	0,662	0,286	0,211	0,055	0,207	0,392	0,248	0,279	0,279	0,018	0,261	0,258	0,043
1985 / 1986	0,825	0,737	0,662	0,705	0,561	0,56	0,911	0,49	0,077	0,832	0,817	0,705	0,414	0,367	0,413	0,135	0,803	0,75
1986 / 1987	0,646	0,633	0,408	0,597	0,592	0,267	0,756	0,539	0,048	0,545	0,488	0,604	0,37	0,536	0,795	0,417	0,396	0,661
1987 / 1988	0,27	0,299	0,259	0,248	0,165	0,009	0,581	0,232	0,461	0,392	0,739	0,244	0,247	0,498	0,262	0,346	0,286	0,797
1988 / 1989	0,423	0,428	0,352	0,126	0,3	0,018	0,478	0,159	0,464	0,084	0,362	0,355	0,422	0,479	0,712	0,341	0,207	0,088
1989 / 1990	0,191	0,089	0,103	0,14	0,109	0,191	0,085	0,038	0,275	0,251	0,043	0,06	0,305	0,345	0,392	0,142	0,041	0,424
1990 / 1991	0,232	0,264	0,269	0,365	0,497	0,201	0,479	0,511	0,448	0,408	0,436	0,526	0,461	0,724	0,62	0,559	0,562	0,423
1991 / 1992	0,369	0,138	0,365	0,211	0,344	0,153	0,241	0,204	0,296	0,275	0,236	0,36	0,626	0,362	0,443	0,222	0,275	0,242
1992 / 1993	0,138	0,043	0,124	0,021	0,287	0,271	0,024	0,057	0,036	0,068	0,023	0,052	0,215	0,537	0,078	0,166	0,047	0,21
1993 / 1994	0,053	0,044	0,12	0,017	0,114	0,337	0,064	0,094	0,229	0,165	0,033	0,109	0,158	0,194	0,236	0,264	0,238	0,195
1994 / 1995	0,553	0,574	0,391	0,212	0,225	0,897	0,349	0,188	0,55	0,1	0,422	0,535	0,887	0,893	0,742	0,21	0,104	0,137
1995 / 1996	0,893	0,978	0,695	0,831	0,784	0,439	0,967	0,935	0,98	0,752	0,893	0,981	0,974	0,963	0,942	0,971	0,908	0,532
1996 / 1997	0,204	0,481	0,091	0,472	0,754	0,774	0,489	0,664	0,39	0,45	0,425	0,322	0,334	0,415	0,224	0,065	0,284	0,605
1997 / 1998	0,491	0,525	0,814	0,635	0,588	0,335	0,937	0,931	0,793	0,615	0,766	0,718	0,957	0,45	0,678	0,486	0,515	0,711
1998 / 1999	0,163	0,349	0,125	0,22	0,289	0,158	0,638	0,297	0,47	0,281	0,252	0,161	0,511	0,29	0,099	0,276	0,196	0,235
1999 / 2000	0,022	0,056	0,031	0,052	0,131	0,767	0,11	0,098	0,14	0,099	0,168	0,072	0,306	0,021	0,24	0,112	0,063	0,095
2000 / 2001	0,731	0,788	0,278	0,537	0,211	0,645	0,569	0,822	0,582	0,765	0,431	0,392	0,335	0,301	0,346	0,586	0,753	0,945
2001 / 2002	0,22	0,241	0,036	0,266	0,538	0,434	0,33	0,398	0,551	0,648	0,163	0,126	0,259	0,175	0,427	0,402	0,506	0,748
2002 / 2003	0,313	0,545	0,485	0,359	0,419	0,533	0,549	0,368	0,342	0,253	0,425	0,697	0,604	0,255	0,287	0,168	0,455	0,164
2003 / 2004	0,276	0,64	0,501	0,708	0,358	0,457	0,736	0,544	0,525	0,444	0,633	0,765	0,535	0,65	0,539	0,439	0,581	0,58
2004 / 2005	0,2	0,314	0,059	0,249	0,212	0,698	0,021	0,119	0,077	0,315	0,106	0,141	0,055	0,11	0,103	0,365	0,268	0,416





## Annexe 9: Les valeurs de l'indice SPI-12 déterminées par année et par sous bassin.

Année	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9	SB10	SB11	SB12	SB13	SB14	SB15	SB16	SB17	SB18
1968/69	0,39	0,27	0,67	0,86	0,57	0,3	0,37	-0,06	0,5	-1,44	-0,69	0,84	-0,65	-0,6	-0,18	-0,98	0,56	0,65
1969/70	2,42	1,89	2,01	2	2,52	2,17	1,44	1,16	1,55	-0,32	0,3	1,96	0,26	0,62	1,33	-0,33	1,94	1,17
1970/71	0,26	1,06	-0,11	0,12	-0,56	0,22	-0,56	0,48	0,04	-1,12	0,14	-0,79	-0,83	-0,44	-0,48	-0,67	0,64	-0,63
1971/72	0,05	1,02	2,11	2,43	1,63	2,56	1,51	2,89	2,12	0,04	0,97	1,12	1,01	1,48	1,44	0,66	3	1,64
1972/73	0,65	1,06	1,3	1,43	0,18	1,23	0,61	0,69	-0,77	-0,13	1,34	1,49	0,35	1,41	1,36	0,44	0,65	1,67
1973/74	0,47	1,2	0,26	0,54	-0,02	0,57	-0,17	-0,51	0,26	0,15	0,08	-0,45	-0,02	0,87	0,8	0,96	0,95	1,11
1974/75	0,92	0,57	0,67	0,57	1,01	0,81	1,56	1,21	0,71	0,13	-0,11	0,23	0,09	0,91	1,83	0,3	0,68	0,45
1975/76	2,42	0,35	1,67	1,45	0,7	1,66	0,02	0,53	0,37	1,25	0,3	0,16	0,13	0,42	0,27	0,31	1,8	1,34
1976/77	1,12	0,55	1,18	1,27	0,98	1,29	0,62	1,43	0,7	1,43	0,69	0,23	0,25	-0,31	0,02	0,26	0,99	1,05
1977/78	-0,75	-0,27	-0,36	-0,21	-0,2	-0,44	-0,12	-0,07	-0,6	0,63	0,68	-0,61	0,83	-0,1	-0,19	-0,14	-0,7	-0,06
1978/79	-1,31	0,36	0,29	0,52	-0,41	0,38	0,23	0,7	0,2	0,84	0,4	-0,38	0,03	0,13	1,19	0,76	-0,2	1,37
1979/80	0,82	0,44	0,76	0,76	0,62	0,54	0,57	0,3	-0,94	1,93	-0,03	0,09	1,98	1,3	1,05	0,99	1,05	1,16
1980/81	1,32	0,64	0,78	0,69	0,36	0,58	-0,08	-0,03	-1,26	1,02	0,66	0,2	-0,1	-0,14	0,58	0,22	0,42	0,17
1981/82	0,47	0,01	-0,12	-0,57	1,23	-0,68	-1,2	0,16	-1,12	-0,31	0,74	-0,17	-0,67	-0,19	-1,06	-0,37	-1,47	-0,89
1982/83	-0,54	-0,51	-0,83	-0,8	-0,56	-0,55	-1,92	-1,01	-1	0,63	0,43	-0,87	-1,16	-0,34	1,35	-0,94	-0,26	-0,1
1983/84	-1,14	-0,9	-0,86	-0,73	-1,18	-0,87	0,06	-0,33	-2,65	-1,27	-0,26	-1,64	-0,72	0,09	-0,31	-1,55	-1,14	0,11
1984/85	-0,57	-2,15	-1,43	-1,04	-0,58	-0,38	-1,05	-0,65	-0,46	-0,72	-0,12	-1,38	0,37	1,22	-0,23	0,27	0,12	0,78
1985/86	0,28	-0,23	0,13	0,21	0,18	0,21	0,13	-0,29	-0,35	1,16	-1,38	-0,13	0,63	0,48	0,31	0,57	-0,03	0,55
1986/87	0,32	-2,22	-0,95	-0,67	-0,07	-0,04	0,18	0,22	-0,48	0,37	-1,13	0,28	0,57	0,85	0,64	0,88	0,62	0,95
1987/88	-0,12	-2,2	-1,38	-1,4	0,44	-1,24	0,23	-0,44	-0,85	0,63	-1,07	-0,06	-1,84	-1,1	-0,01	-1,57	-0,46	-1,52
1988/89	0,47	-1,86	-0,58	-0,87	0,85	-0,64	1,34	0,19	0	-1,28	-2,37	-0,55	-0,11	0,22	-0,78	0,73	0,02	-1,08
1989/90	-0,09	-0,74	-0,78	-1,31	0,78	-0,41	0,06	-0,02	-0,03	-0,39	-2,57	1,51	-0,42	-1,25	-1,1	-0,31	-1,24	-1,54
1990/91	0,21	0,38	-0,46	-0,48	0,39	-0,6	-1,45	-0,24	0,21	-0,31	-1,92	-0,29	-0,17	-0,54	-0,31	1,05	-0,12	-1,08
1991/92	0,52	1,09	0,59	0,19	0,8	0,47	0,27	0,77	0,23	0,22	1,17	1,61	1,05	0,56	0,54	1,73	-0,25	-0,14
1992/93	-0,37	0,03	-0,69	-0,91	-1,13	-1,3	-1,4	-1,5	-0,88	-1,9	-1	-2,01	-1,64	-1,39	-1,23	-1,27	-0,68	-1,45
1993/94	-1,15	-1,53	-2,18	-1,97	-3,06	-2,16	-2,05	-1,24	-0,53	-1,4	-0,73	-0,98	-1,68	-2,03	-2,26	-1,33	-1,55	-2,16
1994/95	-0,48	0,58	0,27	0,29	0,44	-0,01	0,25	0,35	0,3	0,89	0,93	-0,48	0,12	0,35	0,65	1,52	0,12	0,21
1995/96	-0,46	0,83	0,44	0,66	-0,47	0,4	2,11	1,2	1,59	1,16	1,31	1,64	1,21	1,8	1,13	0,35	0,56	0,62
1996/97	-0,61	0,35	0,47	0,39	-0,17	-0,07	-1,38	-0,59	0,27	0,85	0,91	-0,24	-0,38	-1,09	-1,06	-1,48	-0,59	-0,33
1997/98	0,94	0,96	0,92	0,83	0,24	0,81	0,91	0,84	2,46	-0,36	0,97	0,75	0,64	0,13	0,29	1,36	0,02	0,59
1998/99	-0,87	0,41	-0,03	-0,2	-0,74	-0,46	0,53	-1,29	0,03	-2,02	-0,08	-0,42	2,25	-0,12	0,38	0,13	-0,62	-0,78
1999/00	0,21	0,3	0,07	-0,35	-0,33	-0,68	-0,37	-1,1	-0,92	-1,14	-0,27	-0,13	-1,52	-2,22	-2,02	-2,06	-1,61	-1,45
2000/01	-1,36	-0,98	-1,58	-1,31	0,12	-0,67	-0,74	0,07	0,46	1,23	0,64	-0,1	0,73	0,44	-0,97	0,26	-0,02	-0,14
2001/02	-2,01	-0,03	-0,89	-1,03	-1,06	-1,37	-0,73	-0,98	0,03	-0,52	-0,54	-1,05	-1,59	-2,11	-1,68	-2,02	-1,49	-1,12
2002/03	-1,34	-0,12	-0,72	-0,61	-0,06	-0,74	-0,33	-1,37	0,55	0,27	1,25	-0,5	1,06	0,93	-0,22	0,84	-0,5	-0,14
2003/04	0,09	0,56	0,62	0,36	-1,41	0,57	1,52	1	1,42	0,85	1,14	2,26	1,19	0,68	-0,18	1,01	-0,47	-0,53
2004/05	-1,67	-0,74	-1,28	-1,15	-1,85	-1,51	-0,97	-2,49	-1,17	-1,05	-0,48	-1,21	-1,25	-0,88	-0,83	-0,52	-0,85	-0,45

## Annexe 9 (suite) : Les valeurs de l'indice SPI-12 déterminées par année et par sous bassin.

Année	SB19	SB20	SB21	SB22	SB23	SB24	SB25	SB26	SB27	SB28	SB29	SB30	SB31	SB32	SB33	SB34	SB35	SB36
1968/69	1,01	0,91	1,25	1,06	0,84	1,47	1	1,47	-0,23	-0,03	1,8	0,97	0,63	2,49	1,5	0,88	0,76	0,14
1969/70	1,14	1,03	1,82	1,48	1,37	1,42	0,18	1,21	1,2	2,08	1,81	1,73	0,57	2,12	2,17	1,15	1,05	1,87
1970/71	-1,14	-0,97	1	0,52	1,1	0,48	0,44	-0,23	1,15	3,21	0,16	0,61	0,58	0,82	1,09	0,6	0,47	1,51
1971/72	2,47	2,24	2,16	2,27	3,1	2,41	2,24	2,11	1,29	1,95	2,24	2,33	2,78	1,61	1,74	2,63	2,57	1,75
1972/73	1,14	1,02	1,18	0,76	1,04	1,09	0,75	1,3	0,72	0,72	0,65	1,42	-1,17	1,47	1,45	2,28	1,42	0,39
1973/74	1,24	-0,62	1,4	0,97	0,32	0,85	0,09	0,66	1,21	-0,02	0,62	0,15	-0,75	0,61	0,11	1,89	1,29	1,39
1974/75	-0,07	-0,27	0,76	0,23	0,77	-0,09	-0,9	0,94	1,46	0,44	0,38	0,55	0,29	-0,22	0,6	0,54	0,71	-0,07
1975/76	1,32	1,18	0,98	1,38	1,36	0,69	0,93	1,05	0,81	0,61	0,54	0,26	0,96	0,07	0,19	0,65	0,53	-1,43
1976/77	1,43	1,29	0,87	1,47	1,25	0,56	0,5	1,1	1,25	-0,62	0,86	1,15	1	-0,54	-0,3	-0,05	0,7	-1,13
1977/78	0,35	0,46	0,3	-0,11	0,4	1,19	0,47	0,32	0,85	0,03	0,6	0,63	-0,02	-1,4	-0,74	0,6	0,11	-0,31
1978/79	0,96	1,48	0,66	1,22	1,4	0,12	0,04	0,51	0,85	1,1	0,48	-0,31	-0,19	-0,33	-0,1	0,08	0,31	-0,92
1979/80	0,8	0,72	0,42	0,86	-0,17	-0,04	0,72	0,48	0,38	0,36	0,68	0,67	-0,33	0,5	0,2	0,52	0,47	0,01
1980/81	-0,34	-0,29	0,2	-0,03	-0,72	-1,55	-0,03	-0,37	0,35	-0,06	-0,02	-0,06	0,27	0,26	1,53	0,05	0,41	0,03
1981/82	-1,23	-1,47	-0,77	-0,92	-1,82	-0,05	-0,13	-1,39	-0,76	-1,46	-0,69	-0,99	0,66	-0,4	-0,9	-1,66	-2,45	-1,27
1982/83	-0,36	-0,76	0,23	-0,83	-0,93	-1	-1,37	-0,49	-0,01	0,05	-1,78	-1,14	0,12	-1,09	-0,91	-0,16	0,61	1,11
1983/84	-0,72	-0,46	-0,11	0,12	-1	-1,1	-1,45	-0,73	-1,91	-0,65	-0,49	-0,92	-2,95	-1,42	-1,43	-0,24	-0,28	1,75
1984/85	0,66	0,4	0,27	-0,05	-1,04	0,42	-0,57	-0,8	-1,6	-0,82	-0,27	-0,68	-0,58	-0,58	-2,11	-0,64	-0,65	-1,72
1985/86	0,93	0,63	0,42	0,54	0,15	0,15	1,35	-0,02	-1,43	0,96	0,9	0,54	-0,22	-0,34	-0,22	-1,11	0,85	0,67
1986/87	0,37	0,34	-0,23	0,25	0,23	-0,62	0,69	0,1	-1,67	0,11	-0,03	0,26	-0,33	0,09	0,82	-0,21	-0,26	0,41
1987/88	-0,61	-0,53	-0,65	-0,68	-0,97	-2,38	0,2	-0,73	-0,1	-0,27	0,64	-0,69	-0,69	-0,01	-0,64	-0,4	-0,57	0,83
1988/89	-0,19	-0,18	-0,38	-1,15	-0,52	-2,09	-0,06	-1	-0,09	-1,38	-0,35	-0,37	-0,2	-0,05	0,56	-0,41	-0,82	-1,35
1989/90	-0,87	-1,35	-1,26	-1,08	-1,23	-0,88	-1,38	-1,77	-0,6	-0,67	-1,72	-1,55	-0,51	-0,4	-0,27	-1,07	-1,74	-0,19
1990/91	-0,73	-0,63	-0,62	-0,34	-0,01	-0,84	-0,05	0,03	-0,13	-0,23	-0,16	0,06	-0,1	0,59	0,31	0,15	0,15	-0,19
1991/92	-0,33	-1,09	-0,35	-0,8	-0,4	-1,02	-0,7	-0,83	-0,54	-0,6	-0,72	-0,36	0,32	-0,35	-0,14	-0,77	-0,6	-0,7
1992/93	-1,09	-1,72	-1,16	-2,03	-0,56	-0,61	-1,98	-1,58	-1,8	-1,49	-1,99	-1,63	-0,79	0,09	-1,42	-0,97	-1,68	-0,81
1993/94	-1,62	-1,71	-1,18	-2,11	-1,2	-0,42	-1,53	-1,32	-0,74	-0,97	-1,84	-1,23	-1	-0,86	-0,72	-0,63	-0,71	-0,86
1994/95	0,13	0,19	-0,28	-0,8	-0,75	1,27	-0,39	-0,89	0,12	-1,28	-0,2	0,09	1,21	1,24	0,65	-0,81	-1,26	-1,09
1995/96	1,24	2,02	0,51	0,96	0,78	-0,15	1,84	1,52	2,05	0,68	1,24	2,08	1,94	1,79	1,57	1,9	1,33	0,08
1996/97	-0,83	-0,05	-1,33	-0,07	0,69	0,75	-0,03	0,42	-0,28	-0,13	-0,19	-0,46	-0,43	-0,22	-0,76	-1,52	-0,57	0,27
1997/98	-0,02	0,06	0,89	0,35	0,22	-0,42	1,53	1,48	0,82	0,29	0,72	0,58	1,72	-0,13	0,46	-0,04	0,04	0,55
1998/99	-0,98	-0,39	-1,15	-0,77	-0,56	-1	0,35	-0,53	-0,08	-0,58	-0,67	-0,99	0,03	-0,55	-1,29	-0,59	-0,86	-0,72
1999/00	-2,02	-1,59	-1,86	-1,63	-1,12	0,73	-1,23	-1,3	-1,08	-1,29	-0,96	-1,47	-0,51	-2,04	-0,71	-1,22	-1,53	-1,31
2000/01	0,62	0,8	-0,59	0,09	-0,8	0,37	0,17	0,92	0,21	0,72	-0,17	-0,27	-0,43	-0,52	-0,4	0,22	0,68	1,6
2001/02	-0,77	-0,7	-1,8	-0,62	0,1	-0,17	-0,44	-0,26	0,13	0,38	-0,98	-1,14	-0,65	-0,94	-0,18	-0,25	0,02	0,67
2002/03	-0,49	0,11	-0,04	-0,36	-0,21	0,08	0,12	-0,34	-0,41	-0,66	-0,19	0,51	0,26	-0,66	-0,56	-0,96	-0,11	-0,98
2003/04	-0,59	0,36	0	0,55	-0,36	-0,11	0,63	0,11	0,06	-0,14	0,34	0,72	0,09	0,38	0,1	-0,15	0,2	0,2
2004/05	-0,84	-0,48	-1,56	-0,68	-0,8	0,52	-2,03	-1,18	-1,43	-0,48	-1,25	-1,07	-1,6	-1,22	-1,26	-0,35	-0,62	-0,21

## Annexe 10 : Les classes qualificatives de l'indice SPI-12 pour chaque sous bassin.

Sous bassin	TS	S	MS	$\sum D$	D en %	MH	H	TH	$\sum E$	E en %	(E-D)	(E+D)	(E+D) en %	N	N en %
SB1	1	1	5	7	19	2	0	2	4	11	-3	11	30	26	70
SB2	3	2	0	5	14	5	1	0	6	16	1	11	30	26	70
SB3	1	1	3	5	14	2	1	2	5	14	0	10	27	27	73
SB4	0	1	6	7	19	3	0	2	5	14	-2	12	32	25	68
SB5	1	1	4	6	16	2	1	1	4	11	-2	10	27	27	73
SB6	1	1	3	5	14	2	1	2	5	14	0	10	27	27	73
SB7	1	1	5	7	19	2	3	1	6	16	-1	13	35	24	65
SB8	1	1	5	7	19	5	0	1	6	16	-1	13	35	24	65
SB9	1	0	4	5	14	1	2	2	5	14	0	10	27	27	73
SB10	1	1	7	9	24	6	1	0	7	19	-2	16	43	21	57
SB11	2	1	4	7	19	5	0	0	5	14	-2	12	32	25	68
SB12	1	1	3	5	14	2	4	1	7	19	2	12	32	25	68
SB13	0	5	2	7	19	5	1	1	7	19	0	14	38	23	62
SB14	3	0	4	7	19	4	1	0	5	14	-2	12	32	25	68
SB15	2	1	4	7	19	7	1	0	8	22	1	15	41	22	59
SB16	2	2	3	7	19	3	2	0	5	14	-2	12	32	25	68
SB17	0	2	4	6	16	1	2	1	4	11	-2	10	27	27	73
SB18	1	2	5	8	22	6	2	0	8	22	0	16	43	21	57
SB19	1	1	3	5	14	7	0	1	8	22	3	13	35	24	65
SB20	0	3	3	6	16	5	0	2	7	19	1	13	35	24	65
SB21	0	3	5	8	22	4	1	1	6	16	-2	14	38	23	62
SB22	2	1	2	5	14	5	0	1	6	16	1	11	30	26	70
SB23	0	1	5	6	16	6	0	1	7	19	1	13	35	24	65
SB24	2	1	4	7	19	5	0	1	6	16	-1	13	35	24	65
SB25	1	2	4	7	19	2	2	1	5	14	-2	12	32	25	68
SB26	0	2	5	7	19	6	1	1	8	22	1	15	41	22	59
SB27	0	4	3	7	19	6	0	1	7	19	0	14	38	23	62
SB28	0	0	5	5	14	2	0	2	4	11	-1	9	24	28	76
SB29	0	4	1	5	14	1	2	1	4	11	-1	9	24	28	76
SB30	0	2	5	7	19	2	1	2	5	14	-2	12	32	25	68
SB31	1	1	2	4	11	2	2	1	5	14	1	9	24	28	76
SB32	1	0	4	5	14	2	2	2	6	16	1	11	30	26	70
SB33	1	0	4	5	14	2	4	1	7	19	2	12	32	25	68
SB34	0	2	3	5	14	1	2	2	5	14	0	10	27	27	73
SB35	1	3	1	5	14	4	0	1	5	14	0	10	27	27	73
SB36	0	1	6	7	19	2	5	0	7	19	0	14	38	23	62

NB :

- TS : Classe très sèche
- S : Classe sèche
- MS : Classe Modérément sèche
- N : Classe Normale
- MH : Classe Modérément Humide
- H : Classe Humide
- TH : Classe Modérément Humide
- $\sum D$  : Somme des séquences sèches (années déficitaires)
- $\sum E$  : Somme des séquences humides (années excédentaires)
- (E + D) : le total des années humides et les années sèches
- (E - D) : la différence entre les années humides et les années sèches.

## Annexe 11 : Les durées sèches (en année) par sous bassin durant la période 1968/2005.

Sous Bassin	Durée globale	Durée Maximale	Nbre Durée de 1 an	Nbre Durée de 2 ans	Nbre Durée de 3 ans	Nbre Durée de 4 ans	Nbre Durée de 6 ans
SB1	7	3	4	0	1	0	0
SB2	5	3	2	0	1	0	0
SB3	5	1	5	0	0	0	0
SB4	7	2	5	1	0	0	0
SB5	6	2	2	2	0	0	0
SB6	5	2	3	1	0	0	0
SB7	7	2	3	2	0	0	0
SB8	7	2	3	2	0	0	0
SB9	5	4	1	0	0	1	0
SB10	9	2	5	2	0	0	0
SB11	7	6	1	0	0	0	1
SB12	5	3	2	0	1	0	0
SB13	7	2	5	1	0	0	0
SB14	7	2	5	1	0	0	0
SB15	7	2	5	1	0	0	0
SB16	7	2	5	1	0	0	0
SB17	6	1	6	0	0	0	0
SB18	8	4	0	1	0	1	0
SB19	5	2	3	1	0	0	0
SB20	6	3	3	0	1	0	0
SB21	8	2	4	2	0	0	0
SB22	5	2	1	2	0	0	0
SB23	6	2	4	1	0	0	0
SB24	7	2	3	2	0	0	0
SB25	7	2	3	2	0	0	0
SB26	7	2	3	2	0	0	0
SB27	7	4	3	0	0	1	0
SB28	5	1	5	0	0	0	0
SB29	5	2	3	1	0	0	0
SB30	7	2	5	1	0	0	0
SB31	4	1	4	0	0	0	0
SB32	5	2	3	1	0	0	0
SB33	5	2	3	1	0	0	0
SB34	5	1	5	0	0	0	0
SB35	5	1	5	0	0	0	0
SB36	7	2	5	1	0	0	0

## Annexe 12 : Les fréquences des années sèches par sous bassin durant la période 1968/2005.

Sous Bassin	Fréquence Globale (%)	Fréq. 1 an (%)	Fréq. 2 ans (%)	Fréq. 3 ans (%)	Fréq. 4. ans (%)	Fréq. 6 ans (%)	Fréq. D max (%)
SB1	19	11	0	3	0	0	3
SB2	14	5	0	3	0	0	3
SB3	14	14	0	0	0	0	14
SB4	8	14	3	0	0	0	3
SB5	16	5	5	0	0	0	5
SB6	14	8	3	0	0	0	3
SB7	19	8	5	0	0	0	5
SB8	19	8	5	0	0	0	5
SB9	14	3	0	0	3	0	3
SB10	24	14	5	0	0	0	5
SB11	19	3	0	0	0	3	3
SB12	14	5	0	3	0	0	3
SB13	19	14	3	0	0	0	3
SB14	19	14	3	0	0	0	3
SB15	19	14	3	0	0	0	3
SB16	19	14	3	0	0	0	3
SB17	16	16	0	0	0	0	16
SB18	22	0	3	0	3	0	3
SB19	14	8	3	0	0	0	3
SB20	16	8	0	3	0	0	3
SB21	22	11	5	0	0	0	5
SB22	14	3	5	0	0	0	5
SB23	16	11	3	0	0	0	3
SB24	19	8	5	0	0	0	5
SB25	19	8	5	0	0	0	5
SB26	19	8	5	0	0	0	5
SB27	19	8	0	0	3	0	3
SB28	14	14	0	0	0	0	14
SB29	14	8	3	0	0	0	3
SB30	19	14	3	0	0	0	3
SB31	11	11	0	0	0	0	11
SB32	14	8	3	0	0	0	3
SB33	14	8	3	0	0	0	3
SB34	14	14	0	0	0	0	14
SB35	14	14	0	0	0	0	14
SB36	19	14	3	0	0	0	3

Annexe 13: Les intensités de sécheresses par sous bassin durant la période 1968/2005.

Sous Bassin	I Globale (° S)	I D G moy (° S/an)	I Totale Dmax (° S)	I moy Dmax (° S /an)	I max Année seche (° S)
SB1	9,98	1,43	4,71	1,57	2,01
SB2	9,96	1,99	6,28	2,09	2,22
SB3	7,85	1,57	2,18	2,18	2,18
SB4	9,21	3,07	2,33	1,17	1,97
SB5	9,68	1,61	4,18	2,09	3,06
SB6	7,57	3,78	3,46	1,73	2,16
SB7	10,44	1,49	3,45	1,73	2,05
SB8	10,01	1,43	2,75	1,37	2,49
SB9	7,20	1,44	6,03	1,51	2,65
SB10	12,61	1,40	3,31	1,65	2,02
SB11	11,44	1,63	10,45	1,74	2,57
SB12	7,29	1,82	3,01	1,00	2,01
SB13	10,68	1,53	3,32	1,66	1,84
SB14	11,19	1,60	3,43	1,71	2,03
SB15	10,41	1,49	3,49	1,74	2,26
SB16	11,29	1,88	2,60	1,30	2,06
SB17	8,50	1,42	1,61	1,61	1,61
SB18	11,39	1,42	5,21	1,30	2,16
SB19	7,10	1,42	2,71	1,36	2,02
SB20	8,93	1,49	4,52	1,51	1,72
SB21	11,31	1,62	3,02	1,51	1,86
SB22	7,99	1,60	4,14	2,07	2,11
SB23	7,42	1,24	2,04	1,02	1,82
SB24	10,14	1,45	4,47	1,49	2,38
SB25	10,95	1,56	3,50	1,17	2,03
SB26	9,53	1,36	2,90	1,45	1,77
SB27	10,91	1,82	6,60	1,65	1,91
SB28	6,90	1,38	1,49	1,49	1,49
SB29	8,58	1,72	3,83	1,92	1,99
SB30	9,23	1,32	2,86	1,43	1,63
SB31	6,72	1,68	2,95	2,95	2,95
SB32	7,18	1,44	2,51	1,26	2,04
SB33	7,51	1,50	3,54	1,77	2,11
SB34	6,57	1,31	1,66	1,66	1,66
SB35	8,65	1,73	2,45	2,45	2,45
SB36	9,29	1,33	2,55	1,28	1,72

**Annexe14 : L'intensité théorique (I), de la corrélation entre la durée sèche globale (D<sub>G</sub>) et l'intensité globale (I<sub>G</sub>) selon la relation de la corrélation linéaire simple suivante :**

$$D_G = 0,62 \times I_G + 0,37$$

Pour  $r = 0.81$  et  $IC = 70\%$

Sous Bassin	I moy. (° S)	I min (° S)	I max (° S)
1	6,56	5,76	7,36
2	6,55	5,74	7,35
3	5,24	4,43	6,05
4	6,08	5,28	6,88
5	6,37	5,57	7,18
6	5,06	4,25	5,87
7	6,84	6,04	7,65
8	6,58	5,78	7,38
9	4,84	4,02	5,65
10	8,19	7,35	9,04
11	7,47	6,65	8,29
12	4,89	4,08	5,71
13	6,99	6,18	7,80
14	7,31	6,49	8,12
15	6,83	6,02	7,64
16	7,37	6,55	8,19
17	5,64	4,84	6,44
18	7,44	6,62	8,26
19	4,77	3,95	5,59
20	5,91	5,11	6,71
21	7,38	6,57	8,20
22	5,33	4,52	6,13
23	4,97	4,16	5,78
24	6,66	5,86	7,47
25	7,16	6,35	7,98
26	6,28	5,48	7,08
27	7,14	6,33	7,95
28	4,65	3,82	5,47
29	5,69	4,89	6,50
30	6,10	5,30	6,90
31	4,54	3,71	5,37
32	4,82	4,00	5,64
33	5,03	4,22	5,84
34	4,45	3,62	5,28
35	5,74	4,93	6,54
36	6,13	5,33	6,93

**Annexe 15 : La carte du bassin versant de Chélif et leurs Sous Bassins**

