



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة حسيبة بن بوعلي – الشلف  
Université Hassiba Ben Bouali – Chlef –  
معهد العلوم الزراعية  
Institut des sciences Agronomiques

*Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister*  
Spécialité : *Hydraulique Agricole*  
Option : *Irrigation et Gestion de l'eau*

## Thème

*Evaluation de la sécheresse météorologique et la  
qualité des eaux du barrage de Sidi Yacoub  
(Bassin versant de l'oued Sly, Chlef)*

Présenté par :

|| M<sup>me</sup>. BELHADJ LARBI Bakhta

Devant le jury :

Président	Dr. BOUTHIBA A.	Maître de conférences A	U.H.B.Chlef
Promoteur	Dr. ACHITE M.	Maître de conférences A	U.H.B.Chlef
Examineurs	Pr. DOUAOUI A.	Professeur	C.U.Khemis Miliana
	Dr. NEDJAI S.	Maître de conférences B	U.H.B.Chlef
	Mr. BRADAÏ A .	Maître assistant A	U.H.B.Chlef

Année universitaire : 2011- 2012



## ***Remerciements***

*Je désire témoigner ici de ma reconnaissance envers tous ceux qui ont suivi, soutenu et guidé cette promotion de magistère. Qu'ils en soient très chaleureusement remerciés.*

*Toute ma reconnaissance et mon respect vont à Monsieur ACHITE MOHAMMED (Maître de conférence à l'université de Chlef), qui a accepté et diriger ce travail de recherche. Je me permets de saluer chez lui sa modestie et son accessibilité. Il m'a fait bénéficier de son savoir, de son expérience et de la clairvoyance de ses opinions. Il a su par ses idées, ses conseils, ses explications, ses critiques et son recul alimenter l'âme de ce travail de recherche.*

*Je tiens également à remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail : BOUTHIBA A.,( Maître de conférence à l'université de Chlef ), DOUAOUI A.,( Professeur au centre universitaire de Khemis Miliana ), NEDJAI S.,(Maître de conférence à l'université de Chlef) et BRADAÏ A .,( Maître Assistant à l'université de Chlef).*

*J'adresse enfin ma reconnaissance la plus profonde à ma Mère, à mon père, mais également à mon mari, à toute ma famille et à mes amis.*

## Résumé

Le bassin versant de l'oued Sly (1400 km<sup>2</sup>) a fait l'objet d'une étude d'évaluation de la sécheresse météorologique et la qualité des eaux du barrage de Sidi Yacoub.

L'étude s'est portée sur sept séries chronologiques de la pluviométrie et ce, sur une période d'observation de 40 ans (1970/71 – 2009/10). Elle a été effectuée à l'aide des tests statistiques et l'analyse en composante principale (ACP).

L'analyse et la caractérisation des événements humides et secs ont été faites par l'indice standardisé de précipitation (ISP). permet d'apparaître ; des périodes à tendance moyennement sèche, dont l'extension a été à peu près généralisée à l'échelle du bassin versant qui sont : 1981, 1989, 1992, 1993, 1999 et 2004.

Des périodes à tendance humide affectent la majorité des stations; qui sont : 1971, 1972, 1976, 1978, 1985 et 2009.

Le suivi de la qualité des eaux du barrage de Sidi yacoub dans le temps a montré l'impact des facteurs climatiques (les précipitations et l'évaporation) sur la minéralisation des eaux.

Les classifications de Richards ont montré la dégradation de la qualité des eaux pour l'irrigation. Les eaux de notre barrage présentent une aptitude permanente entre qualité moyenne à médiocre (C3S1 (60%)), qualité médiocre à mauvaise (C3S2 (16%) –C4S1 (3%)) et une qualité très mauvaise (C4S2 (21%)).

L'urgence d'une meilleure gestion des ressources en eau, du point de vue qualitatif et quantitatif est un impératif pour l'Algérie, qui risque avec l'exode rural et le développement corrélatif du milieu urbain, d'avoir à long terme des ressources insuffisantes.

**Mots clés :** Bassin versant, sécheresse météorologique, qualité des eaux, irrigation, régime pluviométrique.

## **Abstract**

The basin river of the Sly wadi (1400 km<sup>2</sup>) made the object of a study on evaluation of the weather drought and the quality of water of the dam Sidi Yacoub.

The study went on seven time series of pluviometry and this, over one period of 40 years observation (1970/71 - 2009/10). It was carried out using the statistical tests and the analysis in principal component (APC).

The analysis and the characterization of the wet and dry events were made by the standardized index of precipitation (SPI). Allows to appear; periods with fairly dry tendency, whose extension to meadows was little generalized on the scale of the catchment area which are: 1981, 1989, 1992, 1993, 1999 and 2004.

Periods with wet tendency assign the majority of the stations; who are: 1971, 1972, 1976, 1978, 1985 and 2009.

The follow-up of the quality of water of the dam Sidi yacoub in time showed the impact of the climatic factors (precipitations and evaporation) on the mineralisation of water.

Classifications of Richards showed the deterioration of the quality of water for the irrigation. Water of our stopping presents a permanent aptitude between average quality at poor (C3S1 (60%)), poor quality with bad (C3S2 (16%) - C4S1 (3%)) and a very bad quality (C4S2 (21%)).

The urgency of a better stock management out of water, from the qualitative and quantitative point of view is a requirement for Algeria, which risks with the rural migration and the correlative development of the urban environment, to have in the long run insufficient resources.

**Key words:** Basin River, weather drought, quality of water, irrigation, mode pluviometric

## **Introduction générale**

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques qui conditionnent l'état moyen de l'atmosphère en un lieu donnée au cours d'une certaine période (**Aris et Bounadja, 2002**).

Parmi les paramètres météorologiques, la pluviométrie qui reste l'information primordiale dans toutes les études de gestion, d'aménagement, de prévision et de conception. L'optimisation de cette information dans le temps et dans l'espace passe par des analyses statistiques fiables de cette information (**Jebari-Testouri et Slimani, 2001**).

La variabilité du régime pluviométrique n'est pas nécessairement caractérisée par la seule variation des totaux pluviométriques annuels même si le plus souvent celle-ci en reste la manifestation la plus sensible. Cette variabilité peut aussi concerner un changement dans la fréquence des pluies, dans l'arrêt des précipitations pendant les saisons humides, ou encore dans la sévérité des saisons sèches (**Gautier et al., 1998**).

Les conséquences souvent tragiques de la baisse persistante de la pluviométrie sur les économies et les développements des pays justifient l'intérêt constant porté sur l'analyse des changements climatiques. La variabilités climatiques a des conséquences sur la disponibilités des ressources en eau qui peuvent fluctuer d'une manière plus ou moins importante au cours du temps et suivant les régions. Depuis plus de trois décennies, le nord ouest Algérien ainsi que le centre subit des déficits pluviométriques importants qui se traduisent par des sécheresses sévères. Ceci affecte sérieusement les ressources en eau du point de vue qualitatif et quantitatif.

Sous le triple choc de la sécheresse, des pollutions, de la croissance spectaculaire des besoins consécutifs à l'augmentation de la population et la croissance urbaine, la ressource naturelle que l'on croyait inépuisable, devient un bien économique rare.

Nous signalons que nos barrages souffre de deux contraintes, une humaines (activité agricole et industrielle) et d'autre climatiques (baisse de la pluviométrie, augmentation de la température et la sécheresse).

L'objectif de notre travail, est l'étude de l'évaluation de la sécheresse météorologique et la qualité des eaux du barrage de Sidi Yacoub, implanté dans le bassin versant de l'Oued Sly. Il s'agit donc, de faire une analyse hydroclimatique de la région d'étude, variabilité spatio-temporelle du régime pluviométrique par les tests statistiques et l'application de l'Analyse en Composantes Principales (ACP), caractérisation de la sécheresse

météorologique par l'indice standardisé de précipitation (SPI) et étude la qualité physico-chimique des eaux du barrage et la détermination de leur aptitude à l'irrigation.

Ce mémoire s'articule autour de cinq chapitres :

Un premier chapitre constituant un aperçu bibliographique où figurent les différentes définitions de sécheresse et la qualité des eaux de surface ainsi qu'une synthèse des nombreux travaux réalisés par les différentes méthodes d'analyse de la sécheresse ;

Un deuxième décrivant le cadre physique de la zone d'étude ;

Un troisième chapitre détaillant la variabilité spatio-temporelle de précipitation du bassin versant de l'oued Sly;

Un quatrième chapitre traite les démarches de calcul du SPI en vue de déterminer l'évolution spatiale et temporelle des épisodes secs et humides ;

Un dernier chapitre regroupant les principaux résultats obtenus ainsi qu'une interprétation à la base de données de la qualité des eaux du barrage de Sidi Yacoub;

Enfin, nous terminerons par une conclusion générale et des recommandations pour la mobilisation et la gestion qualitative et quantitative de la ressource en eau dans le bassin versant de l'oued Sly.

# **CHAPITRE I**

## **Aperçu bibliographique**

### **1. Sécheresse**

#### **Introduction**

Beaucoup de phénomènes météorologiques sont soudains et éphémères, tandis que la sécheresse est plus insidieuse, car elle frappe progressivement une région et maintient son emprise au fil du temps. Dans les cas graves, elle peut durer de nombreuses années, envahir une grande partie d'un continent, anéantir l'agriculture et engendrer la famine.

La sécheresse peut détruire les récoltes (partiellement ou totalement) et tuer les animaux d'élevage, et parfois sauvages. Elle devient alors un facteur de famine régionale et d'exode, souvent accompagnés de troubles sociaux puis de conflits armés, notamment dans les régions avec peu de ressources économiques.

Contrairement à une idée répandue (**Jarraud, 2006**), la sécheresse n'est pas simplement synonyme de faibles précipitations. La pluie n'est pas équitablement répartie sur la planète, et certaines régions seront toujours moins arrosées que d'autres. Les déserts, par définition, enregistrent une faible pluviométrie. Les régions tropicales ont une saison sèche et une saison des pluies, et ne reçoivent presque pas de pluie pendant la saison sèche. La sécheresse est donc un terme relatif, fondé sur la pluviométrie moyenne pour une zone donnée à un moment de l'année. Les périodes de sécheresse peuvent être accentuées du fait de l'activité humaine, mais ce sont des phénomènes naturels auxquels il faut toujours s'attendre. Les définitions précises de la sécheresse varient énormément d'un pays à l'autre. Aux États-Unis, le terme est utilisé quand une zone étendue reçoit 30 % ou moins de précipitation, qu'en temps normal sur un minimum de vingt et un jours.

#### **1.1. Définitions et concepts de la sécheresse**

La sécheresse est un phénomène récurrent du climat. Elle diffère des autres fluctuations climatiques par le fait qu'elle s'installe lentement et se développe au cours des mois voire même des années. Elle peut affecter des espaces assez larges. Cependant, ses caractéristiques varient d'une région à une autre. Néanmoins, il ne faut pas confondre la sécheresse et l'aridité. La sécheresse peut être comprise comme une situation temporaire caractérisée par un manque de précipitations par rapport aux valeurs normales. L'aridité,

par contre, est une caractéristique climatique d'une zone donnée ; c'est la situation permanente de faibles précipitations annuelles ou saisonnières (**Lain, 2005**).

La sécheresse est parmi les catastrophes naturelles les plus complexes. Son début, sa fin et sa sévérité sont souvent difficiles à prévoir. Comme pour les autres catastrophes, les impacts de la sécheresse touchent différents secteurs, économiques, sociaux et environnementaux. L'impact de la sécheresse comprend une composante naturelle et une autre sociale. Dans chaque région, le risque qui lui est associé est le produit de l'intensité de l'évènement, de l'exposition à l'aléa et de la vulnérabilité de la société à l'évènement.

Les sécheresses peuvent être différentes en intensité, en durée et en ampleur spatiale. Elles sont généralement mesurées par la déviation d'un indice par rapport à une norme critique préétablie. La sécheresse (ou sècheresse) est l'état (normal ou passager) du sol et/ou d'un environnement, correspondant à un manque d'eau, sur une période significativement longue pour qu'elle affecte sur la flore naturelle ou cultivée, et les sociétés.

La durée requise pour l'installation de la sécheresse est souvent d'au moins deux à trois jours et peut durer une période de plusieurs mois ou années. La surface affectée par une sécheresse sévère évolue graduellement et les régions touchées par une intensité maximale peuvent changer d'une saison à une autre. Par ailleurs, la sécheresse affecte tout aussi les zones urbaines que rurales.

La sécheresse se produit dans toutes les zones climatiques du globe terrestre. Dans certaines régions, les conditions de la sécheresse peuvent être fortement influencées par certains mécanismes. Parmi ces mécanismes, on peut citer une augmentation de la surface et de la persistance des poches de fortes pressions sub-tropicales, les changements des circulations des moussons d'été, les plus basses températures océaniques et le déplacement des voies des orages de moyenne-altitude. Des humidités relatives basses, des hautes températures et vents forts sont également des facteurs pouvant amplifier les effets de la sécheresse et de son intensité. La sécheresse n'a pas de définition universelle. Il y a autant de définitions que de domaines d'utilisation de l'eau. (**Wilhite et Glantz, 1985**) ont évalué à plus de 150 le nombre de définitions publiées. Mais d'une façon générale, 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.



## **1.2. Des sécheresses différentes mais interdépendantes**

La sécheresse, qui commence comme un événement climatique, s'étend progressivement à tous les domaines où l'eau intervient. C'est ainsi que l'on distingue généralement quatre types de sécheresse, météorologique, agricole, hydrologique et socio-économique. Ces sécheresses peuvent ne pas se manifester en même temps. Cependant, la sécheresse météorologique reste l'élément moteur des autres.

### **1.2.1. Les types de sécheresse**

Une période sèche peut se définir comme le nombre de jours consécutifs sans précipitations enregistrées. On parle souvent de "sécheresse" pour désigner les périodes sèches prolongées. Il existe plusieurs types de sécheresse qui peuvent survenir séparément ou simultanément.

Une sécheresse météorologique se définit en fonction de l'absence de précipitations importantes par rapport à la normale pendant une période prolongée. On considère habituellement qu'une période de trois mois sans précipitations est la période la plus brève d'une sécheresse. Les sécheresses agricoles établissent un lien entre les caractéristiques des sécheresses météorologiques et les répercussions sur le bétail et la croissance des cultures. Une sécheresse hydrologique a trait aux effets de l'absence de précipitations sur les ressources hydriques d'une région. Comme il faut plus de temps avant d'observer les effets de l'absence de précipitations, les sécheresses hydrologiques s'accompagnent normalement de sécheresses météorologiques et agricoles et aussi il y a une sécheresse socio-économique qui associe l'offre et la demande de certains bien économique avec des éléments hydrologiques et agricoles.

#### **1.2.1.1. Sécheresse météorologique**

La sécheresse météorologique quand il y a une période prolongée de précipitations en dessous de la moyenne. (khaledi, 2005).

La sécheresse météorologique se réfère à une situation comportant une réduction des chutes de pluies durant un période spécifique (jour, mois, saison ou année), descendant en dessous d'une certaine quantité spécifiée: en général est définie par un pourcentage de la moyenne à long terme pour la période spécifiée. La définition implique des statistiques portant uniquement sur les précipitations.

### **1.2.1.2. La sécheresse agricole**

La sécheresse agricole est définie comme un déficit marqué et soutenu des précipitations qui réduit significativement les productions agricoles par rapport à la normale ou les valeurs attendues pour une région de grande étendue.

Une bonne définition de la sécheresse agricole devrait être en mesure de rendre compte de la susceptibilité variable des cultures pendant les différentes phases de développement des cultures, de l'émergence à la maturité. Insuffisantes humidité du sol arable à la plantation sont susceptibles d'entraver la germination, conduisant à des populations de plantes à faible à l'hectare et une réduction de finale rendement. Toutefois, si l'humidité est suffisante pour la couche arable besoins de croissance rapide, les carences en humidité des sols, à ce stade précoce peut ne pas affecter le rendement final si l'humidité du sous-sol est reconstitué que la saison avance, ou si les précipitations se réunit l'eau de la plante a besoin.

### **1.2.1.3. Sécheresse hydrologique**

La sécheresse hydrologique est un type de sécheresse qui survient lorsqu'une longue sécheresse météorologique provoque une brusque diminution du niveau des eaux souterraines, des rivières, des fleuves et des lacs, accompagné d'une évaporation massive. (**Mokssit, 1996**).

Cette diminution peut arriver même si les précipitations sont normales ou au-dessus de la moyenne lorsqu'une consommation plus élevée d'eau fait diminuer les réserves.

La distinction entre ces deux types de sécheresses (météorologique et hydrologique) s'estompe souvent, car les sécheresses hydrologiques peuvent être causées par une réduction des précipitations n'importe où dans le bassin hydrologique des rivières ou du système aquifère.

Toutes les nappes ne présentent pas la même « sensibilité » à la sécheresse:

Les moins sensibles sont principalement les nappes captives (qui ne sont pas directement alimentées par les précipitations) et les nappes de faible étendue dont les niveaux sont soutenues par des plans d'eau ou des cours d'eau. (**khaledi, 2005**).

Les plus sensibles sont les nappes libres alimentées par les précipitations et de faible réserve (aquifères minces et peu capacitifs). Leur recharge est comparable d'une année sur l'autre. Elles présentent des fluctuations dites « annuelles ». Les nappes libres de grande

extension, puissantes, peu drainées par les cours d'eau sont sensibles à des sécheresses pluriannuelles. Leur fluctuation suit des cycles pluriannuels.

Ce sont, en définitive les plus petites nappes, superficielles et peu profondes, qui sont les plus sensibles à la sécheresse.

**1.2.1.4. La sécheresse socio-économique**

Définitions socio-économiques de la sécheresse associer l'offre et la demande de certains bien économique avec des éléments, hydrologiques et agricoles et météorologique. (Beran; Rodier, 1987) Il diffère des types susmentionnés de la sécheresse en raison de sa présence dépend du temps et de processus de l'espace de l'offre et la demande pour identifier ou classer les sécheresses. La fourniture de nombreux biens économiques, tels que l'eau, de fourrage, céréales, poissons, et l'énergie hydroélectrique, dépend des conditions météorologiques. En raison de la variabilité naturelle du climat, l'approvisionnement en eau est abondant dans quelques années, mais incapable de répondre à des besoins humains et environnementaux dans les autres années.

La sécheresse socio-économique se produit lorsque la demande d'un bien économique supérieure à l'offre en raison d'un manque à gagner liés à temps à l'approvisionnement en eau.

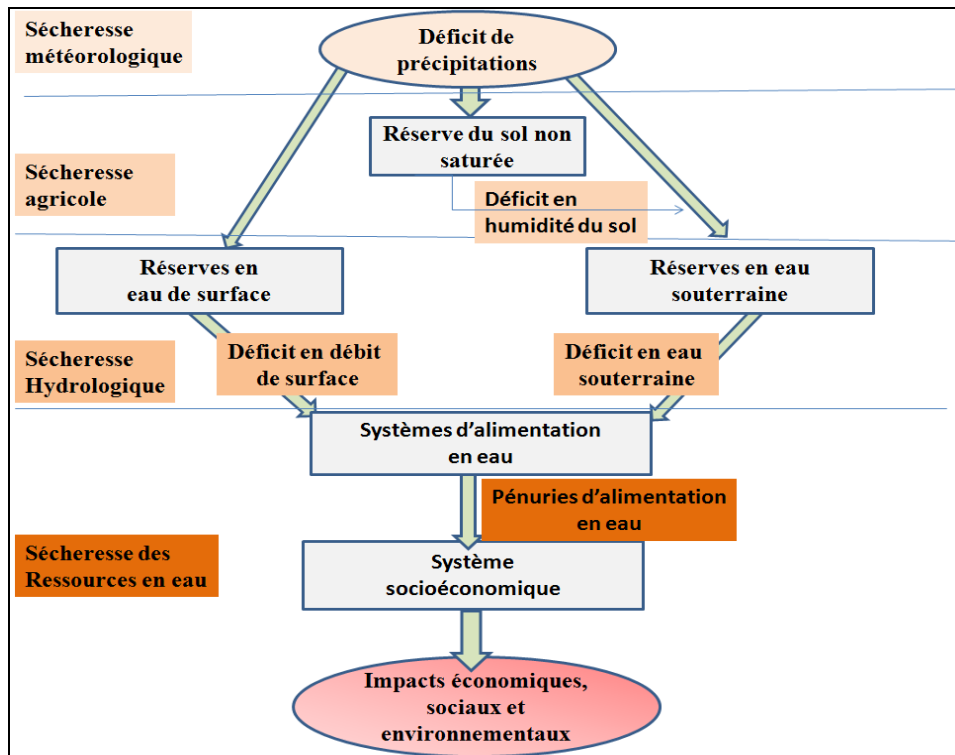


Figure (I-1): Le phénomène de la sécheresse et le rôle des mesures d'atténuation de la sécheresse.

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

Ces différents types de sécheresse sont évidemment intimement liés. Pour autant leurs relations sont complexes. Tout d'abord, les sécheresses agricoles et hydrologiques 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, le secteur agricole étant le premier à être affecté du fait de sa dépendance directe à l'humidité du sol, facilement épuisable. Il faut cependant souvent plusieurs semaines de déficit avant que les cultures et les pâturages soient atteints. 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.

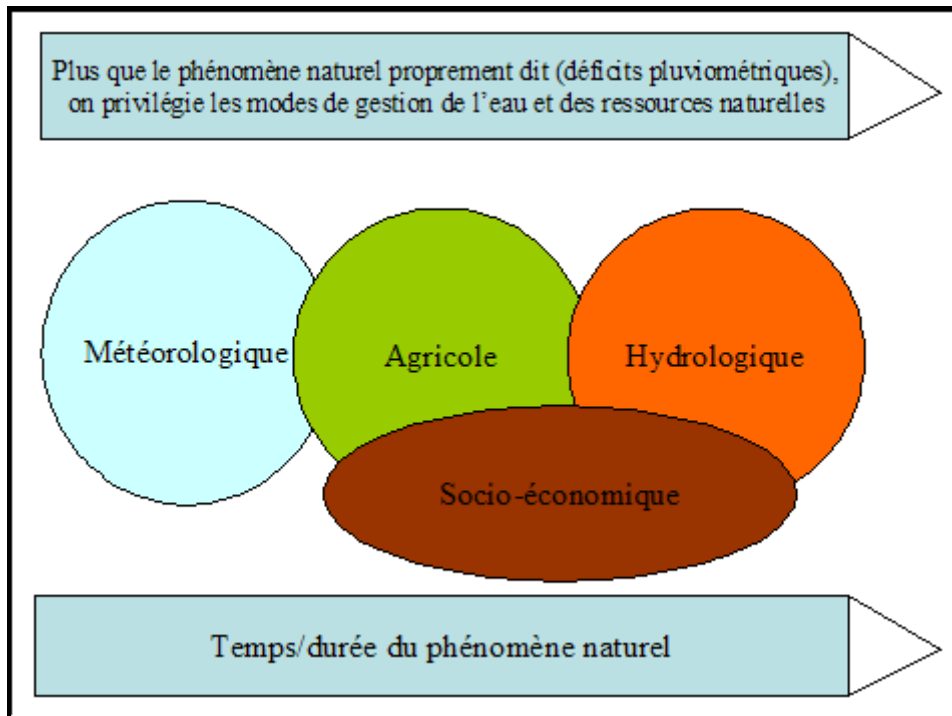


Figure (I-2): Relations entre les différents types de sécheresse.

### 1.3. Indices de sécheresse

Il existe une grande variété d'indices climatiques dont la finalité est de quantifier la sécheresse météorologique. C'est d'ailleurs sans doute un des thèmes les plus abordés par les indices. La plupart des indices de sécheresse, ont été élaborés par et pour les États-Unis, mais sont régulièrement employés sur les autres continents.

Vu la complexité du phénomène il est difficile de faire une analyse exhaustive de la sécheresse dans toutes ses composantes. Beaucoup d'auteurs se sont penchés sur la possibilité de mettre au point des indices permettant d'identifier la sécheresse et mettre en évidence les fluctuations temporelles des précipitations. On peut citer entre autres :

#### 1.3.1. Indice de l'écart à la moyenne (Em)

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

$$Em = Pi - Pm \quad (\text{I- 1})$$

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

### **1.3.2. Indice de pluviosité (Ip)**

C'est le rapport de la hauteur de précipitation annuelle (**Pi**) à la hauteur moyenne annuelle de précipitation (**Pm**).

$$I_p = P_i / P_m \quad (\text{I- 2})$$

Une année est qualifiée d'humide si ce rapport est supérieur à 1 et de sèche s'il est inférieur à 1.

Pour situer une pluviométrie dans une longue série de relevés pluviométriques, on utilise l'écart proportionnel à la moyenne (**Ipm**) qui diffère de l'indice de pluviosité (**Ip**) en soustrayant 1 de cet indice.

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

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

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

### **1.3.3. Rapport à la normale des précipitations (RN)**

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

$$RN (\%) = (P_i / P_n) * 100 \quad (\text{I- 4})$$

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

Pi : précipitation annuelle (en mm).

Pn : précipitation normale (en mm).

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

## **1.4. Indices de sévérité de la sécheresse**

En plus de l'identification des séquences sèches et de leur caractérisation par le calcul de ces indices, il est possible de déterminer l'ampleur de la sécheresse en termes de sévérité. Nous présentons quelques méthodes à titre indicatif.

### **1.4.1. Indice de sévérité de la sécheresse de Palmer**

Le PDSI (Palmer Drought Severity Index) est un indice de sécheresse météorologique mécaniste élaboré par Wayne Palmer dès 1965 qui est basé sur la construction d'un bilan hydrologique de mois en mois (Palmer, 1965). C'est sans doute l'indice toujours le plus utilisé à l'heure actuelle.

Le PDSI étant basé sur un bilan hydrique réalisé à partir des précipitations, des températures (permettant d'obtenir l'évapotranspiration potentielle à l'aide de la formule de Thornthwaite) et de la réserve utile en eau du sol, il est possible de connaître les valeurs de toutes les variables intervenant dans ce bilan hydrique, à savoir principalement le ruissellement, le taux de recharge, et l'évapotranspiration réelle. Cela constitue un avantage certain pour des applications hydrologiques. Enfin, on peut également déterminer la probabilité qu'un événement en cours s'estompe ou perdure, information très utile pour effectuer du suivi en temps réel.

### **1.4.2. Indice standardisé de précipitation**

Le SPI, quant à lui, est un indice statistique de type probabiliste. Il a été mis au point par l'université du Colorado au début des années 90 (McKee et al., 1993).

L'objectif de McKee et de ses collaborateurs fut de mettre au point un indice de sécheresse météorologique uniquement basé sur les précipitations, qui ait une signification statistique. Ainsi, ils ont eu l'idée d'appliquer une standardisation aux précipitations moyennées sur une échelle temporelle définie par l'utilisateur. Très souvent, la standardisation consiste à soustraire la moyenne aux données et à diviser le résultat par l'écart-type de la série. Cependant, cette méthode simple s'applique mal aux précipitations qui ne suivent pas ou très rarement une distribution normale. Il s'agit donc d'utiliser une conversion appropriée. Le SPI correspond à la transformation de la série temporelle des précipitations en une distribution normale standardisée de moyenne nulle et d'écart-type unitaire, également appelée z-distribution, distribution normale ou distribution gaussienne.

Le SPI est obtenu en ajustant une densité de probabilité appropriée à la distribution de fréquences des précipitations moyennées sur une échelle temporelle définie.

Traditionnellement, les échelles temporelles les plus souvent utilisées sont 3, 6, 9, 12 et 24 mois en fonction du type de sécheresse étudié. L’ajustement se fait séparément pour les 12 mois de l’année afin de conserver la saisonnalité. Ensuite, chaque densité de probabilité cumulée est transformée en une distribution normale standardisée en appliquant la loi normale inverse de moyenne nulle et d’écart-type unitaire. En d’autres mots, le SPI pour un total de précipitations de  $x$  (mm) est le quantile gaussien ( $Q$ ) de la valeur de la fonction de répartition de la loi statistique ( $F$ ) s’ajustant aux données, prise en  $x$  [équation (I-5)].

$$SPI(x) = Q_{\sigma}[F(x)] \tag{I-5}$$

Enfin, chaque valeur du SPI est reliée à un degré de sévérité repris dans le tableau (I-1), dans lequel figurent également les probabilités d’occurrence.

Le calcul du SPI peut être réalisé au départ de n’importe quelle distribution statistique, pour autant qu’elle s’ajuste bien aux données. C’est Guttman (1998) qui a, pour la première fois, comparé les performances d’un grand nombre de distributions, et en est venu à la conclusion que la fonction de Pearson III suivie de la gamma à deux paramètres sont, globalement, les meilleures distributions pour modéliser les précipitations. Guttman a également transcrit pour la première fois le calcul du SPI en Fortran 77, généralisant ainsi l’utilisation du SPI dans le monde. Cependant, nous n’avons pas utilisé cette version du calculateur qui emploie la Pearson III, mais une version améliorée mise au point par l’université du Colorado qui utilise la distribution gamma.

Notons que la distribution gamma est souvent préférée car elle est plus simple et mène à des résultats quasiment identiques.

Tableau (I-1): SPI et classes de sévérité associées (McKee et al., 1993).

Classes	Valeurs du SPI	Probabilité (%)
Extrêmement humide (EH)	>2	2,3
Sévèrement humide (SH)	1.5 a 1.99	4,4
Modérément humide (MH)	1 a 1.49	9,2
Proche de la normale (N)	-0.99 a 0.99	34,1
Modérément sèche (MS)	-1.49 a -1	9,2
Sévèrement sèche (SS)	-1.99 a -1.5	4,4
Extrêmement sèche (ES)	<-2	2,3



La densité de probabilité de la distribution gamma s'écrit, pour  $x > 0$  :

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{(I-6)}$$

Où  $\alpha$  est le paramètre de forme,  $\beta$  est le paramètre d'échelle, et  $x$  est la quantité de précipitations.  $\Gamma(\alpha)$  est la fonction gamma, qui se définit comme :

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad \text{(I-7)}$$

L'ajustement de la distribution gamma aux données requiert donc de déterminer  $\alpha$  et  $\beta$ . Ils peuvent être estimés de la sorte (**Thom, 1958**) :

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad \text{(I-8)}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad \text{(I-9)}$$

Où, pour  $n$  observations :

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad \text{(I-10)}$$

En intégrant la fonction densité de probabilité sur  $x$ , en injectant les valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$  estimées respectivement dans les équations (I-8) et (I-9), on obtient une expression de la probabilité cumulée  $G(x)$  qui détermine la probabilité d'observer telle quantité de précipitations ou une quantité inférieure pour un mois et une échelle temporelle donnés :

$$G(x) = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad \text{(I-11)}$$

La distribution gamma n'étant pas définie pour  $x = 0$ , et le cas où le total des précipitations est nul sur l'échelle temporelle définie pouvant se produire, la probabilité cumulée devient :

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad \text{(I-12)}$$

Où  $q = P(x = 0) > 0$  est la probabilité d'obtenir des précipitations nulles.

H(X) est ensuite transformée en une distribution normale standardisée qui correspond à la valeur du SPI. Cette conversion peut être approximée en utilisant la formule suivante élaborée par (Abramowitz, 1965) :

$$\begin{cases} Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1t + c_2t^2}{1 + d_1t + d_2t^2 + d_3t^3}\right) \text{ pour } 0 < H(x) \leq 0,5 \\ Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1t + c_2t^2}{1 + d_1t + d_2t^2 + d_3t^3}\right) \text{ pour } 0,5 < H(x) < 1 \end{cases} \quad \text{(I-13)}$$

Où

$$\begin{cases} t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(H(x))^2}\right]} \text{ pour } 0 < H(x) \leq 0,5 \\ t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(1-H(x))^2}\right]} \text{ pour } 0,5 < H(x) < 1 \end{cases} \quad \text{(I-14)}$$

Et  $c_0 = 2,515517$   $c_2 = 0,802853$   $c_3 = 0,010328$

$d_1 = 1,432788$   $d_2 = 0,189269$   $d_3 = 0,001308$

### **1.5. Sécheresse et aridité**

Un climat aride est caractérisé par la faiblesse des précipitations moyennes annuelles et par le fort déficit de celles-ci par rapport à l'évapotranspiration potentielle, opposé à un climat humide.

L'aridité ne doit pas être confondue avec la sécheresse. L'aridité est un phénomène permanent alors que la sécheresse est un évènement temporaire. L'aridité se manifeste surtout par ses conséquences :

**Édaphiques** : extrême dénuement de la végétation, raréfaction des êtres vivants ;

**Hydrologiques**: faiblesse et irrégularité extrême des écoulements, dégradation fonctionnelle des réseaux hydrographiques ;

**Géomorphologiques** : processus d'érosion et pauvreté des sols...etc.

#### **1.5.1. Les indices de l'aridité**

Les climatologues et les géographes ont élaboré de très nombreux indices d'aridité. Les plus récents utilisent le bilan énergétique calculé à partir de l'insolation théorique qui varie selon la durée d'insolation et l'incidence des rayons solaires. L'énergie reçue au sol doit tenir compte des pertes par diffusion au niveau des nuages et par réflexion à partir du sol. On peut citer, entre autre, l'indice radiatif (radiation nette / précipitations, et l'indice de xéricité (radiation globale/évapotranspiration potentielle) (Khaldi, 2005). Le dryness ratio

(rapport d'aridité) indique combien de fois la moyenne annuelle de la radiation nette est capable d'évaporer la moyenne annuelle de pluie. Il est de l'ordre de 2 à 7 en région semi-aride, de 7 en région aride et va jusqu'à 20 en régions hyperarides.

D'autres indices tiennent compte de la valeur des éléments du climat prépondérant comme la pluie et la température parmi les quels l'indice de Emmanuel Martonne, qui proposa en 1923, un indice d'aridité I ; cet indice est calculé par la formule suivante :

$$I = P/T+10 \quad \text{(I-15)}$$

Où ;

P : est la hauteur moyenne des précipitations annuelles.

T : la moyenne des températures annuelles.

Plus la valeur de (I) est faible, et plus la station climatique considérée est aride. En fonction de cet indice, il est possible de distinguer trois types de régions :

- Dans les régions hyperarides, l'indice d'aridité est inférieur à 5.
- Les régions arides sont celles où les valeurs de (I) sont comprises entre 5 et 10.
- Les régions semi-arides ont des valeurs de (I) oscillant entre 10 et 20, sont des espaces de transition entre les régions arides et les régions subhumides voisines.

## **Conclusion**

L'une des menaces graves qui pèse sur les pays arides et semi-arides, et qui risque de compromettre leur avenir alimentaire sous le coup d'une constante aggravation de l'érosion et de la déforestation, est la sournoise perturbation de leurs ressources en eau par le phénomène sécheresse.

La sécheresse est un caractère de temps sec, qui influe directement sur les termes du bilan besoin - ressource et engendre les dégâts économiques. Elle peut se produire à n'importe quelle période et à différentes échelles.

Une période de sécheresse prolongée peut avoir des effets catastrophiques. Autrement l'assèchement des sources d'eau provoquant une réduction dans la qualité de l'eau; plus que ça la pénurie d'eau va décimer les cultures et le bétail, mettant ainsi en péril la survie économique des agriculteurs. La couche arable altère et devient poussiéreuse, et la végétation inflammable, ce qui crée les conditions parfaites pour déclencher des tempêtes

de sable et des incendies. Dans les pays en développement, la sécheresse est parfois encore plus grave et entraîne la famine. Le caractère cyclique de la sécheresse se conjugue souvent avec ses effets, surtout dans les régions arides et semi-arides.

## **2. Quelques exemples de travaux réalisés dans le monde et en 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.

### **2.1. Dans le monde**

#### **2.1.1. AU MEXIQUE :**

-**ALFONSO MUNOZ 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 obtenu des résultats à partir de la comparaison du SPI-12 et PPN (pourcentage par rapport à la normale), remarquables dans ce bassin.

-**NUNEZ LOPEZ et al. (2006)** : Les auteurs ont tenté de décrire les principales caractéristiques des épisodes de sécheresse dans l'Etat de Chihuahua. Durant la période comprise entre 1910 et 2000. Ils ont utilisé les valeurs de l'indice Standardisé des Précipitations, calculées pour trois échelles de temps différentes (courte de -trois mois, moyenne -douze mois et longue -vingt Quatre mois).

En conclusion, ils ont constaté que pour l'échelle de temps courte, les épisodes de sécheresse identifiés dans les trois régions climatiques du Chihuahua sont caractérisés par leur grande fréquence et leurs courtes durées, alors qu'aux échelles de temps moyenne et longue, les périodes de sécheresse ont été moins fréquentes mais plus prolongées.

#### **2.1.2. EN INDE**

-**MISHRA et DESAI, (2005)** : ces auteurs ont étudié les variations spatio-temporelles 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 (36 ans). 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 total du bassin et de classer l'étendue en fonction de l'intensité et la durée de la sécheresse.

**-PANDAY et al., (2010)** : L'analyse des données de précipitations annuelles et saisonnières pour la période allant de 1901-2007 a révélé que le bassin de Sonar en Inde a subi des conditions de sécheresse avec une fréquence moyenne de retour d'une fois tous les 5 ans. Les auteurs ont estimé un déficit pluviométrique annuel de -35% et -43% pour les années 2006 et 2007, avec des valeurs du SPI de -1,14 et -1,24 respectivement.

De ce fait, ces auteures ont tenté de présenter une méthode pour la représentation spatiale de la vulnérabilité à la sécheresse en utilisant différents indicateurs qui sont , les caractéristiques topographiques, utilisation et type des sols, la disponibilité relative de l'eau de surface et souterraine, la demande en eau et la déviation des précipitations par rapport à leur moyenne sur la période d'étude. Les informations données par ces indicateurs sont groupées en sous classes et utilisées par un système d'information géographique pour créer des cartes de vulnérabilité à la sécheresse dans l'ensemble de bassin.

### **2.1.3. EN TURQUIE**

**-SIRDAS et SEN, (2003)** : l'analyse de la sécheresse a été faite par ces auteurs en utilisant 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.

**-YILDIZ, (2009)** : Par l'application de l'indice standardisé des précipitations dans le bassin versant du barrage Hirfanli, situé dans une région semi aride en Turquie, l'auteur a pu déterminer la sévérité, l'extension géographique et les périodes éventuelles de retour des sécheresses dans ce bassin versant.

**2.1.4. EN ESPAGNE**

-**VICENTE-SERRANO et al., (2004)** : Pour caractériser la sécheresse dans la région Valence en Espagne, entre 1951 et 2000, les auteurs ont utilisé l'Indice Standardisé des Précipitations calculé pour des données pluviométriques mensuelles et ils ont tenté de déterminer l'évolution générale du phénomène par une analyse en composantes principales.

Au terme de leur étude, les chercheurs ont constaté des différences dans la fréquence, la durée et l'intensité de la sécheresse entre des zones à l'intérieur de la région d'étude et ils ont conclu qu'elle augmente de manière significative de centre vers le nord, alors que dans le reste de la région la répartition spatiale est plus complexe. Ils ont avancé également, que cette variabilité régionale est due à des facteurs locaux.

-**BEAUDIN, (2006)** : cet auteur a étudié 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 (ICV) et de l'indice de la condition thermique (ICT). Ces indices permettent la caractérisation des situations de sécheresse calculée pour des aires de 11 km<sup>2</sup>. Les résultats ont été comparés 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.

**2.1.5. EN SERBIE**

-**STRICEVIC et al., (2011)** : Les auteurs ont proposé un algorithme, basé sur des valeurs du SPI calculées pour un grand nombre de stations météorologiques réparties dans la région de Vojvodina, située dans le nord de la Serbie. Selon les auteurs, cette méthodologie automatisée peut être d'une très grande importance dans la prise des décisions, concernant la gestion des ressources en eaux dans les régions susceptibles d'être touchées par la sécheresse.

**2.1.6. EN ETHIOPIE**

- **GEBREHIWOT et al., (2010)** : A partir des données de précipitations et d'images de télédétection, les auteurs ont essayé d'évaluer la variabilité spatiale et temporelle de la sécheresse météorologique et végétative par l'utilisation de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) et l'indice de la condition de la végétation (ICV) et ce dans le TIGRAY, au nord de l'Ethiopie. Les résultats de l'analyse SPI et ICV révèlent que les zones orientales et méridionales de la région d'étude ont subi un cycle récurrent de sécheresse au cours de la dernière décennie; et des Résultats supplémentaires montrent qu'il ya un décalage entre la période de pointe de l'ICV et les valeurs de précipitation obtenues dans les stations météorologiques à travers la zone d'étude.

**2.1.7. EN ITALIE**

- **ISABELLA et al., (2001)** : Les auteurs ont tenté de caractériser la sécheresse en Italie, pendant les cinquante dernières années, par l'utilisation de l'Indice Standardisé des Précipitations calculé à différentes échelles de temps. Selon ces auteures, cette nouvelle application à donnée des résultats intéressants et montre que l'indice considéré est un outil, dont l'utilisation peut être généralisée pour le suivi des conditions de la sécheresse en Italie.

- **BONACCORSO et al., (2003)** : Les auteurs ont tenté d'analyser la sécheresse en Sicile pour la période allant de 1926 à 1996. La caractérisation du phénomène est faite au moyen de l'Indice Standardisé des Précipitations et sa variabilité à long terme est démontrée par une Analyse en Composantes Principales appliquée aux valeurs du SPI.

D'après les résultats obtenus, les auteures suggèrent que l'île entière est caractérisée par une variabilité de la sécheresse avec une fluctuation de plusieurs années et une tendance vers les périodes plus sèches depuis les années soixante-dix.

**2.1.8. EN TUNISIE**

-**BERGAOUI et ALOUINI, (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. 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, voir 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.

- **ELLOUZE et ABIDA, (2008)** : Pour analyser la dépendance entre les séries de précipitations annuelles et mensuelles, enregistrées au Sud de la Tunisie, les principales caractéristiques des épisodes secs, durant la période comprise entre 1898 et 2003 ont été utilisées. Les auteurs ont basé leur étude sur les valeurs de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI), calculé pour le court, moyen et long terme (3, 12 et 24 mois respectivement). Les résultats obtenus montrent une grande variabilité des valeurs du SPI pour le court terme avec des épisodes de sécheresse caractérisés par une grande fréquence et une courte durée. Cependant, pour les deux autres échelles de temps, les valeurs se stabilisent et révèlent des séquences sèches moins fréquentes mais plus prolongées. La période de sécheresse la plus importante en intensité, durée et extension est apparue surtout à la fin de l'année 1976.

-**BENZARTI et HABAIEB, (2010)** : 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 de 22 postes pluviométriques constitués des observations allant de 1909 à 1996. Ces postes ont été sélectionné 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 Tunisie.

### **2.1.9. AU MAROC**

**-EL BOUQDAOUI 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 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.

**-SEBBAR et al., (2011)** : SEBBAR et al ont tenté d'étudier l'évolution récente du régime pluviométrique entre 1935 et 2004 et d'évaluer son impact sur l'extension spatio-temporelle de la sécheresse au Maroc septentrional, et pour se faire en premier lieu, les auteurs ont utilisé des tests statistiques pour détecter d'éventuelles ruptures dans le régime pluviométrique, et par la suite et dans le but de diagnostiquer les années sèches et non sèches ils ont appliqué l'Indice Pluviométrique Standardisé (IPS).

Par l'application des tests statistiques, les auteurs ont conclu que la période de rupture se situe entre 1968 et 1984. Et en analysant les valeurs de l'indice pluviométrique standardisé, ils ont constaté l'installation d'une phase déficitaire avant 1956, une phase normale à excédentaire jusqu'en 1970. Au-delà de cette date, la sécheresse s'est installée d'une manière significative dans toute la région.

### **2.2. EN ALGERIE**

**KETTAB et al., (2004)** : les auteurs ont étudiés le phénomènes de la sécheresse dans les régions littorales de l'Algérie par intermédiaire de 08 stations météorologiques (Ghazaouat, Oran, Arzew, Alger, Chlef, Skikda 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 (1987-2001).

**-ACHITE et TOUAIBIA, (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 hydrologique, sur une période d'étude de 30 ans (allant 1970/71 à 1990/00). Les résultats ainsi obtenus sur le comportement de la pluie moyenne sur la première composante principale mettent en évidence une période excédentaire allant 1970/71 à 1980/81, puis une période déficitaire de 1981/82.

**-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 statistique (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 sécheresse 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.

**-ACHITE et al., (2011)** : Pour une caractérisation spatio-temporelle de la sécheresse dans le bassin versant de l'oued Sly, situé dans une région semi-aride de Nord Ouest de l'Algérie, les auteurs ont utilisé l'Indice Standardisé des Précipitations calculé pour des cumuls mensuels, recueillis dans 7 stations météorologiques, sur la période de mesure allant de 1970 à 2009.

Achite et al., (2011) ont constaté que le bassin versant de l'oued Sly avait été touché par des sécheresses très sévères pendant les années 1981/1982, 1989/1990, 1999/2000, et 2006/2007. Ils ont constaté également que le sud du bassin été exposé à des sécheresses plus sévères et plus longues que le centre et le Nord.

### **3. Qualité des eaux**

#### **3.1. Qualité des eaux de surface**

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents

##### **3.1.1. Origine**

Elles peuvent être stocker en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échange eau atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable.

##### **3.1.2. Caractéristique générale des eaux de surface**

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains.

Par échange à la surface eau-atmosphère, ces eaux se chargent en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique). Il faut noter :

- Présence quasi-générale de gaz dissous, en particulier l'oxygène,
- Concentration importante en matières en suspension, tout au moins pour les eaux courantes. Ces matières en suspension sont très diverses, allant des particules colloïdales aux éléments entraînés par les rivières en cas d'augmentation importante du débit.

- Présence de matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière et qui se décomposent après leur mort (végétaux, animaux...),

- Présence de plancton : les eaux de surface sont le siège d'un développement important de phytoplancton (algues) et de zooplancton. Dans certaines conditions, une vie aquatique intense peut se développer : développement de végétaux macrophytes de poissons.

- Variations journalières (différence de température, d'ensoleillement) ou saisonnières : variations climatiques (température, fonte des neiges), de végétation (chute des feuilles). Elles peuvent être aléatoires : pluies soudaines, orages, pollutions accidentelles. Dans les retenues d'eau de surface, la qualité de l'eau varie de la surface de l'eau jusqu'au fond de la retenue (O<sub>2</sub>, Fe, Mn, oxydabilité, plancton). Le profil de chacun de ces paramètres varie lui-même en fonction des périodes de l'année,

- Pollution organique conduisant souvent à l'eutrophisation des eaux.

Tableau (I-2): Grille de qualité générale des eaux de surface (A.N.R.H, 2000).

Classe	Paramètre	C1	C2	C3	C4
<b>Altération Physique</b>					
Ph		6,5<>8,5	6,5<>8,5	<6,5>5,5 - >8,5<9	>9 - <5,5
M.E.S	mg/L	≤30	>30 ≤70	>70 ≤100	>100
Temp Eau	°C	≤25	>25 ≤30	>30 ≤35	>35
<b>Altération Minérale</b>					
R.Sec	mg/L	≤300	>300 ≤1200	>1200 ≤1600	>1600
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	≤100	>100 ≤200	>200 ≤300	>300
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	≤30	>30 ≤100	>100 ≤150	>150
Na <sup>+</sup>	mg/L	≤100	>100 ≤200	>200 ≤500	>500
Cl <sup>-</sup>	mg/L	≤150	>150 ≤300	>300 ≤500	>500
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	≤200	>200 ≤300	>300 ≤400	>400
<b>Altération Organique</b>					
O <sub>2</sub>	%	>90	≤90 ≥50	<50 ≥30	<30
DCO	mg/L	≤20	≥20 ≤40	>40 ≤50	>50
DBO <sub>5</sub>	mg/L	≤5	≥5 ≤10	>10 ≤15	>15
M.Organiques	mg/L	≤5	≥5 ≤10	>10 ≤15	>15
<b>Altération Azotée</b>					
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	≤0,01	≥0,01 ≤0,1	>0,1 ≤3	>3
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	≤0,01	≥0,01 ≤0,1	>0,1 ≤3	>3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	≤10	≥10 ≤20	>20 ≤40	>40
<b>Altération Phosphatée</b>					
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	≤0,01	>0,01 ≤0,1	>0,1 ≤3	>3

(Source : ANRH de Blida, (2000))

### 3.1.3. Pollution des eaux de surface

L'eau est un élément indispensable pour la vie et pour le développement socio-économique réel et durable d'un pays. Les facteurs climatiques (extension des sécheresse, augmentation des températures, etc...), la croissance démographique, l'augmentation des besoins et l'extension des pollutions feront que les hommes auront de moins en moins d'eau pure à partager.

Une eau est polluée lorsque, sous l'effet de l'activité humaine, elle devient impropre à satisfaire la demande d'utilisation où elle présente un danger pour l'environnement (Castany, 1982). Les pollutions d'origine anthropique sont liées à l'activité agricole, industrielle ou bien aux diverses utilisations domestiques de l'eau.

- **Pollution urbaine** : la population active, délaissant les campagnes, s'est rapprochée et développée autour des centres industriels, créant ainsi de grandes villes dont les habitants déversent quotidiennement leurs flux polluants dans un milieu récepteur pouvant être un lac, une rivière ou une mer (Gaid, 1984).

La ville engendre une pollution par les eaux usées domestiques et les eaux pluviales. La production d'eau domestique, conditionnée par le degré de consommation d'eau est proportionnelle à la densité du tissu urbain. Le volume d'eau usée rejeté par habitant et par jour, généralement, croît avec la taille de l'agglomération. Il varie aussi suivant les régions et leur niveau de développement (**Grosclaude, 1999**).

- **Pollution industrielle** : l'industrie constitue une deuxième source de pollution des eaux de surface. La contribution importante des industries à la pollution des eaux s'effectue de plusieurs manières : par rejet des effluents dans le réseau d'assainissement avec ou sans épuration avant le retour au milieu naturel ou bien par le rejet direct dans le milieu naturel avec ou sans prétraitement des eaux résiduaires.

- **Pollution agricole** : la pollution par l'activité agricole est due à l'utilisation des engrais, des pesticides, des produits phytosanitaires et à moindres degrés l'élevage.

L'épandage des engrais utilisés en agriculture apporte des nitrates, des nitrites, des phosphores, des sulfates et voire même des chlorures. En effet, les eaux de pluie, d'arrosage ou d'irrigation entraînent une partie des engrais non dégradables dans les cours d'eau.

### **3.2. Eutrophisation des lacs de Barrages**

Le terme « eutrophe » a d'abord été proposé pour caractériser la fertilité des sols puis fut introduit en limnologie en 1913 et 1919 par Thienemann et Neumann pour différencier des lacs productifs et non productifs de différents milieux (**Anneville et al., 2001**). Par la suite on a pu comprendre qu'au cours de son évolution, un lac tend naturellement à passer d'un état oligotrophe à un état eutrophe d'où l'origine selon les mêmes auteurs du terme « eutrophisation ». Le vieillissement accéléré des lacs se révéla un véritable problème dans la mesure où des forts développements algaux qui s'en suivent posent des entraves à l'utilisation des ressources en eaux. L'importance des besoins en eaux pour de multiples usages et l'augmentation des nuisances liées à l'eutrophisation accélérée ont poussé à intensifier les recherches sur les causes de ces efflorescences algales :

- Rôle des facteurs ascendants (hydrodynamiques et nutriments).
- Rôle des facteurs descendants (structure du réseau trophique et ses conséquences à travers la prédation et le broutage par le zooplancton) (**Pinnel-Alloul et al., 1998**).

L'apport d'éléments nutritifs peut entraîner des risques accrus pour la santé humaine suite à la contamination des eaux dues à la prolifération d'algues. Élément clef du

métabolisme cellulaire, le phosphore est naturellement rare en milieu aquatique, à la différence de l'azote et du carbone qui disposent d'une source quasi inépuisable (l'atmosphère et les processus biologiques de régulation que sont le couple fixation/dénitritification et photosynthèse/respiration) (**Barroin., 1999**).

Dans la cellule algale le rapport N/P est approximativement compris entre 7 et 10. Toute eau définie par  $N/P > 10$  fait du phosphore le facteur limitant, alors que si  $N/P < 7$  c'est l'azote qui limite. Les effets majeurs de l'enrichissement des eaux en nutriments définissent le phénomène de l'eutrophisation (**Jacquet., 2005**). Parmi les effets majeurs:

- Accroissement de la biomasse phytoplanctonique
- Changement de la composition en espèces vers taxons pouvant être plus toxiques.
- Diminution de la richesse spécifique.
- Accroissement des fleurs d'eau visibles.
- Réduction de transparence de l'eau.
- L'élévation du pH et la diminution de l'oxygène dissous dans la colonne d'eau suite à une forte demande en oxygène par les bactéries qui décomposent la biomasse morte produite en abondance.

D'autre part, selon (**Bouchrai., 1992**), l'eutrophisation complique la filière et l'exploitation des installations de potabilisation des eaux par :

- Élévation de la consommation d'agents oxydations et de floculations ainsi que la formation d'haloformes nuisibles.
- Développement de goût et d'odeurs dans l'eau distribuée suite à la présence d'algues indésirables notamment les Cyanophycées.
- Risque d'apparition de toxines.
- Surconsommation de chlore.
- Colmatage prématuré des filtres ayant pour effet d'augmenter la fréquence de lavage de ces derniers.
- Accroissement des frais d'investissement et de fonctionnement des stations de potabilisation.

### **3.3. Qualité de l'eau d'irrigation**

L'agriculture irriguée est tributaire d'un bon approvisionnement en eau. Dans un temps passé, elle était abondante et d'une qualité appréciable qui ne posait pas de problème. Mais vu le changement climatique qui touche la planète, surtout dans les zones arides et semi-arides d'une part, et l'exploitation irrationnelle et intensive des ressources en eau d'autre part, La qualité des eaux d'irrigation est devenue l'un des problèmes qui s'impose au développement de l'agriculture irriguée (Ayers et Westcot., 1988). (Marlet et Job., 2006). En théorie, la qualité de l'eau se mesure aux caractéristiques qui la rendent plus ou moins apte à l'utilisation (Ghérina., 2008).

#### **3.3.1. Problèmes liés à la qualité des eaux en agriculture irriguée**

Parmi ces problèmes on trouve : la salinité et ou l'alcalinité, la vitesse d'infiltration de la toxicité et divers aspects liés aux phénomènes de dissolution et de précipitation de ses éléments. La (FAO., 1996), et suite aux travaux de Ayers et Westcot, a mis des directives permettent d'évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Elles constituent une première étape pour détecter les restrictions dues à une eau d'irrigation. Elles mettent l'accent sur l'influence, à long terme, de la qualité de l'eau d'irrigation sur la dégradation des sols et la production des cultures.

##### **3.3.1.1. Les normes d'une eau d'irrigation**

Le tableau (I-3) montre les normes fixées par la (FAO., 1996) pour l'utilisation des eaux d'irrigation.

Tableau (I-3): Les normes des eaux d'irrigation (FAO., 1996).

Paramètre de l'eau	Symbole	Unit	Valeur maximale admissible
Conductivité électrique	CE	dS/m	3
Total des sels dissous	TDS	Mg/l	2000
Calcium	Ca <sup>++</sup>	Mg/l	20
Magnésium	Mg <sup>++</sup>	Mg/l	4,98
Sodium	Na <sup>++</sup>	Mg/l	40
Carbonates	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mg/l	3
Bicarbonates	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mg/l	10
Chlore	Cl <sup>-</sup>	Mg/l	30
Sulfates	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Mg/l	20
Nitrates	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mg/l	0,16
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Mg/l	5
Phosphate	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Mg/l	2
Potassium	K <sup>+</sup>	Mg/l	2
Acidité	pH		6 – 8,5
Coefficient d'absorption du sodium	SAR	Méq/	15
Bor	B <sup>+</sup>	Mg/l	2

(Source : FAO, 1996)

**3.3.1.2. Classification des eaux d'irrigation**

Plusieurs classifications ont été proposées pour classer les eaux par rapport à leur qualité pour l'irrigation, la plupart de ces classifications se basent sur le calcul de deux facteurs essentiels, à savoir la salinité représentée par la conductivité électrique « CE » et le taux d'absorption du sodium nommé « **SAR** » (Sodium Absorption ratio) qui est Calculé par la formule de (Richards., 1954) comme suit:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \tag{I-16}$$

La concentration de Na+, Ca++ et Mg++ est exprimée en milliéquivalent par litre.

Des exemples typiques de classifications de la salinité suggérées par différents auteurs sont présentés dans le tableau (I-4).



Tableau (I-4): Évaluation du danger de salinité selon plusieurs sources.

Classe de salinité	Riverside (1954)	Thorn et Peterson (1954)	Carter (1969)	Ayers et Westcot (1984)
	CE (dS/m)	CE (dS/m)	CE (dS/m)	CE (dS/m)
<b>C1</b>	0,1 – 0,25	< 0,25	< 0,4	< 0,75
<b>C2</b>	0,25 – 0,75	0,25 – 0,75	0,4 – 1,2	0,75 - 1
<b>C3</b>	0,75 – 2,25	0,75 – 2,25	1,2 – 2,25	1,5 – 3,0
<b>C4</b>	> 2,25	2,5 – 4,0	2,5 – 4,0	> 3,0
<b>C5</b>		4,0 – 6,0		

C1: Satisfaisante pour toutes les cultures exceptées les cultures très sensibles.

C2: Généralement satisfaisante bien que quelques cultures sensibles seront affectées.

C3: Satisfaisante pour la plupart des grandes cultures, mais des conditions de salinité vont se développer si le lessivage et le drainage ne sont pas adéquats.

C4: Normalement non recommandée sauf si des cultures tolérantes sont cultivées. Le lessivage et le drainage sont impératifs.

### **3.3.1.3. La classification des eaux par Riverside (1954)**

Cette classification se base sur les effets directs des eaux d'irrigation par apport aux sels et au sodium. L'impact de ce dernier est exprimé par le SAR. La classification préconise des domaines de qualité des eaux pour prédire les effets de ces eaux d'irrigation.

Le tableau (I-5) montre les différentes classes représentant les risques croissants de l'alcalinité des eaux d'irrigation en fonction du SAR.

Tableau (I-5): Les classes de SAR et leurs interprétations (Durand., 1982).

Nomination	Classe	Internationale
Classe1 (S1)	$0 < SAR \leq 10$ bas taux de sodium	Eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.
Classe 2 (S2)	$10 < SAR \leq 18$ taux moyen de sodium	Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à textures fine et à forte capacité d'échange, surtout dans la condition de faible lessivage. Eau utilisable sur les sols de texture grossière, ou sur les sols organiques ayant une bonne perméabilité.
Classe 3 (S3)	$18 < SAR \leq 26$ haut taux de sodium	Eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, à l'exception des sols pauvres en argile. Emploi exigent la mise en œuvre d'un aménagement spécial assurant un bon drainage et fort lessivage. L'addition de matière organique, d'amendements chimiques est souvent nécessaire.
Classe 4 (S4)	$SAR > 26$ très haut taux de sodium	Eaux souvent inutilisables pour l'irrigation, présentant un fort danger d'alcalinisation. Ces eaux sont utilisée pour l'irrigation, seulement si leur salinité permet l'addition de calcium ou si le sol en contient suffisamment.

(Source : DURAND, 1982)

La classification de Riverside combine entre les valeurs de la CE et celles du SAR pour évaluer la qualité des eaux d'irrigation comme montre le diagramme de la figure (I-3).

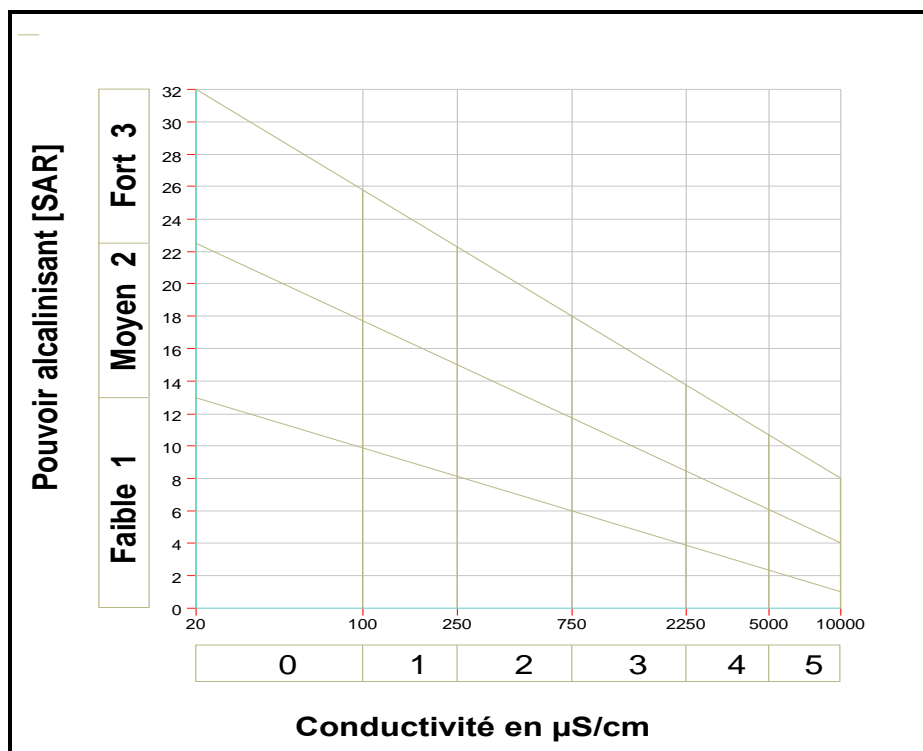


Figure (I-3): Diagramme de Richards (1954).

Le tableau (I-6) qui complète le diagramme de Richards est consacré à l'interprétation des classes d'eau issues du diagramme de Richards (1954) vis-à-vis de la qualité des eaux destinées à l'irrigation.

Tableau (I-6): Interprétation des classes issues de diagramme de Richards selon (Durand; 1982)

Classe	Interprétation
C1S1	Eau présentant une bonne qualité pour l'irrigation, utilisable avec précautions pour les plantes sensibles.
C1S2, C2S1	Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles
C1S3, C2S2 et C3S1	Qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.
C1S4, C2S3, C3S2 et C4S1	Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.
C2S4, C4S2 et C3S3	Eau de qualité très mauvaise utilisée que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse.
C3S4, C4S3	Qualité très mauvaise a n'utilisé que pour les circonstances exceptionnelles.
C4S4, C5S3 et C5S4	Eau déconseillée pour l'irrigation.

(Source : DURAND, 1982)

## CHAPITRE II

### Cadre physique de l'étude

Dans ce chapitre, nous allons étudier d'une part, le bassin versant de l'Oued Sly (Nord ouest de l'Algérie), pour l'évaluation de la sécheresse météorologique et d'autre part, le bassin versant de Sidi Yacoub pour voir la qualité des eaux du barrage de Sidi Yacoub et leur adaptation à l'irrigation.

#### 1. Situation géographique

Le bassin versant de l'oued Sly est situé dans le massif de l'ouarsenis qui appartient à l'Atlas Telléen. Il constitue un important chaînon montagneux comparais entre la pleine du Cheliff; au nord et la parallèle de Tiaret au sud. Il présente des ensembles naturels très varies.

Le bassin versant de l'oued Sly est situé dans le bassin versant du Cheliff (Figure (II.1)), c'est un sous bassin de moyen Cheliff, son point culminant est à 1661m. Par contre le plus bas est à 160m d'altitude.

La zone de notre étude est limitée au Nord par l'oued Cheliff, au Sud par le bassin versant de Teguiquest et Nahr Ouassel , à l'Est par le bassin versant de Oued Fodda et à l'Ouest par le bassin versant de Oued – Rhiou.

Oued Sly est parmi les plus grand affluent de Cheliff, il est alimenté à son tour par une série d'affluent dont les plus important sont : Oued El Ardjem ; Oued Melah; Oued Lagh et Oued Djouza, (**Khelifi., 1998**).

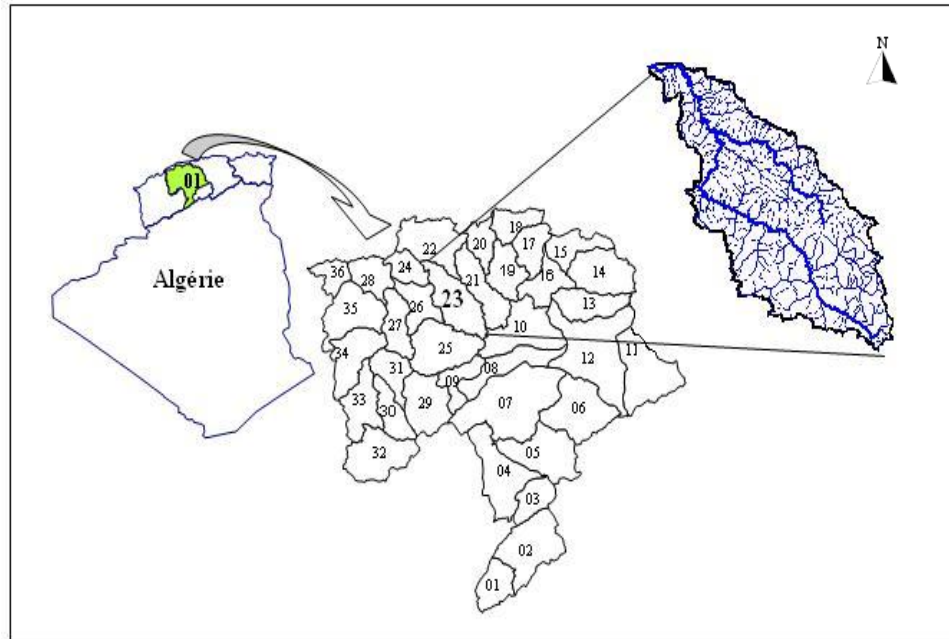


Figure (II-1) : Localisation du bassin versant de l'Oued Sly.

## 1.2. L'étude géologique de la région

L'étude géologique nous permet de déterminer la structure du sol du bassin versant de l'oued Sly de savoir son degré d'érodabilité et de classer ce sol selon sa plus ou moins grande perméabilité.

### 1.2.1. La géologie

L'étude géologique, que nous présentons ici est la synthèse des travaux effectués par **Gentil, 1918 ; Caire et Mattauer, 1953 ; Caire, 1957 ; Perrodon, 1957 ; Polvêche, 1960 ; Scet-Agri (1), 1985 ; Tecult, 2005** et bien d'autres, ainsi que les données des forages profonds, qui vont nous permettre de préciser la nature lithologique des différentes formations et leurs successions stratigraphiques.

Le fait que notre région d'étude, celle de oued Sly se situe au Nord-Ouest de l'Algérie où la structure lithologique est comme suite.

C'est un bassin assez grand de structure géologique très compliquée, l'ensemble des caractéristiques géologiques rencontrées dans le bassin étudié est :

- Les terrains néogènes et quaternaires.
- Les substratums essentiellement secondaires sur les bordures du bassin (les monts de dahra au Nord).

- Les terrains allochtones mis en place lors des différentes phases tectoniques alpines.
- Pour les terrains néogène on distingue le cycle miocène aux bordures Nord du bassin affleurant surtout le flanc Sud des monts de Dahra.
- Les principaux affleurements du miocène sont :
  - Les marnes bleues avec une phase détritique.
  - Les tripolis et marnes à tripolis.
  - Les gypses et les marnes gypseuses.

Au Nord d'ouled fares la phase du miocène est représentée par une formation continentale, à laquelle succèdent les grés et les marnes sableuses.

Le cycle pliocène qui affleure le long de la bordure Sud du bassin du Dahra depuis la région de chlef à l'Ouest jusqu'à la confluence du Chelif-Mina.

A l'Ouest ou il forme les collines qui limitent la plaine du Chelif au Nord, et occupe les aires synclinales de Ain- merane son épaisseur atteint 200m à 300m.

Les séries anciennes très localisées (Barremo-Aptien) sont constituées de terrain dont la nature lithologique ne permet pas d'infiltration que dans les niveaux superficiels altérés, les eaux ne pourront s'infiltrer dans le sol qu'à la faveur des discontinuités tectonique qui sont très vite colmatées par les produits d'altérations. C'est pourquoi nous considérons ces terrains anciens comme imperméables et ces terrains représentent 12% de la superficie des bassins soit 168 km<sup>2</sup>.

La série stratigraphique de la région d'étude est extrêmement variée où elle englobe des terrains appartenant au Trias, au Jurassique, au Crétacé, au paléogène, au Néogène et au quaternaire.

### **1.2.2. Lithostratigraphie**

La lithologie de la région est caractérisée par différents faciès de tout âge, dont les plus répandues sont les marnes et les calcaires du crétacé, ainsi que les grés de l'oligocène.

1. **Le Trias** représenté par des formations gypseuses, calcaires et dolomie.
2. **Le Jurassique** caractérisé par des calcaires compacts fins et souvent riches en débris d'organismes, la partie supérieure est dolomitique. Cette série est bien litée en bancs.
3. **Le Crétacé inférieur** (Albo-aptien) représenté par des argileux et des schistes argilo-marneuses.

4. Les sédiments **Crétacé supérieur** sont prépondérant, fréquent dans la partie centrale et occidentale de l'oued Sly et sont représentés par des marnes, calcaires, alternance de marnes, calcaires et argiles feuilletées.

Les sédiments Crétacé sont des roches de faible cohérence et facilement susceptibles à la dénudation. Ce sont pour la plupart des flysch, des faciès marneux et marno-sableux source de matériaux évaporitiques, base des processus pedogenitiques.

La couverture delluvio-colluviale dépend de la dénudation. Le colluvium est entièrement lié au faciès numidien et en partie au flysch.

Les formations éluviales en tant que produits de l'évaporation, sont développées sur place. On les observe sur des fragments de surfaces dénudées et structurées. Les complexes rocheux les plus récents appartiennent au tertiaire et au quaternaire.

5. **L'éocène** est développé par des marnes, calcaires et marno-calcaires ainsi que **l'oligocène** représente une alternance de marne calcaires et sableuses-faciès numidien.
6. **Le Miocène inférieur** (burdigalien) généralement transgressif sur les différents termes de la série stratigraphique est représenté par une série de marnes bleues. Ce faciès passe latéralement et verticalement à des grès marneux marins ou conglomérats ou continentaux.
7. **Le Quaternaire** comporte d'une part des éléments fins, limoneux de teinte gris bleu ou des argiles rougeâtres ; d'autre part, des matériaux d'origine fluviatile ou éolienne comprenant entre autre des matériaux de pente ou de glacis.

Les eaux de pluies auront beaucoup plus tendance à ruisseler qu'à s'infiltrer ces terrains représentent 25,47% soit 356,58 km<sup>2</sup> de la superficie du bassin mis à part les formations carbonatés qui peuvent représenter les meilleurs capacité d'infiltrations ainsi que l'inclinaisons des différentes formations et des fouilles souvent verticales parfois très importantes et qui représentent 70% de la superficie du bassin soit 980 km<sup>2</sup>.

Les affleurements sont pratiquement imperméable et détermine un ruissellement important.

Donc, dans le bassin du grand Cheliff, la grande partie de ses sous bassins versant sont pratiquement imperméable après bien sur saturation des terrains mis à part le bassin de Ras (44,52%) de sa superficie est perméable, l'imperméabilité des autres bassins varient entre 85-95% ceci explique en quelque sorte la rapidité des ruissellements après les précipitations et surtout la formation des crues en aval des bassins.

Ceci dit que notre région d'étude est constitué de matériaux tendre sensibles a l'érosion et produisant des matériaux fins facilement mis en suspension. La présence de Trias gypseux est un élément favorable à la salure des eaux.

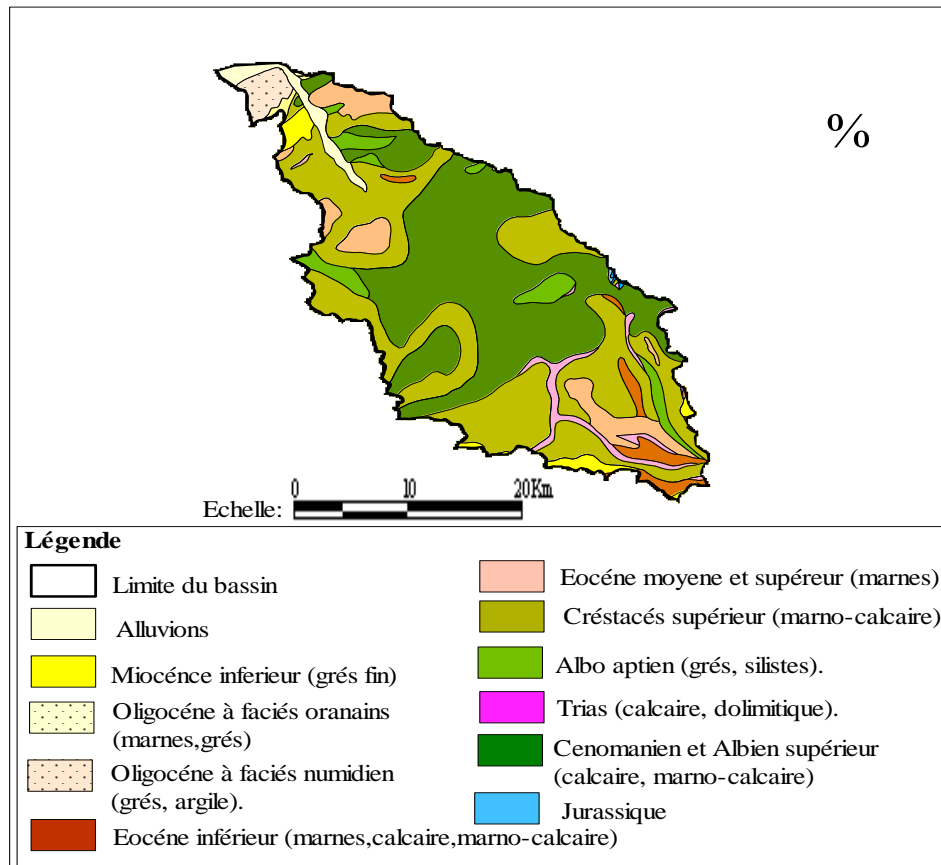


Figure (II-2) : Carte géologique du bassin versant de l'oued Sly (ABH-CZ, 2005).

### 1.3. Le Relief

L'importance de son étude est de caractériser la répartition altimétrique de la courbe hypsométrique résidant au niveau du régime d'écoulement des eaux, car le relief peut modifier la répartition entre l'infiltration et le ruissellement (Figure (II-3)).

Le relief a une forte influence sur l'hydrogramme, une forte pente provoque un écoulement plus rapide, donc un temps de concentration plus court d'oit une montée plus rapide de crue.



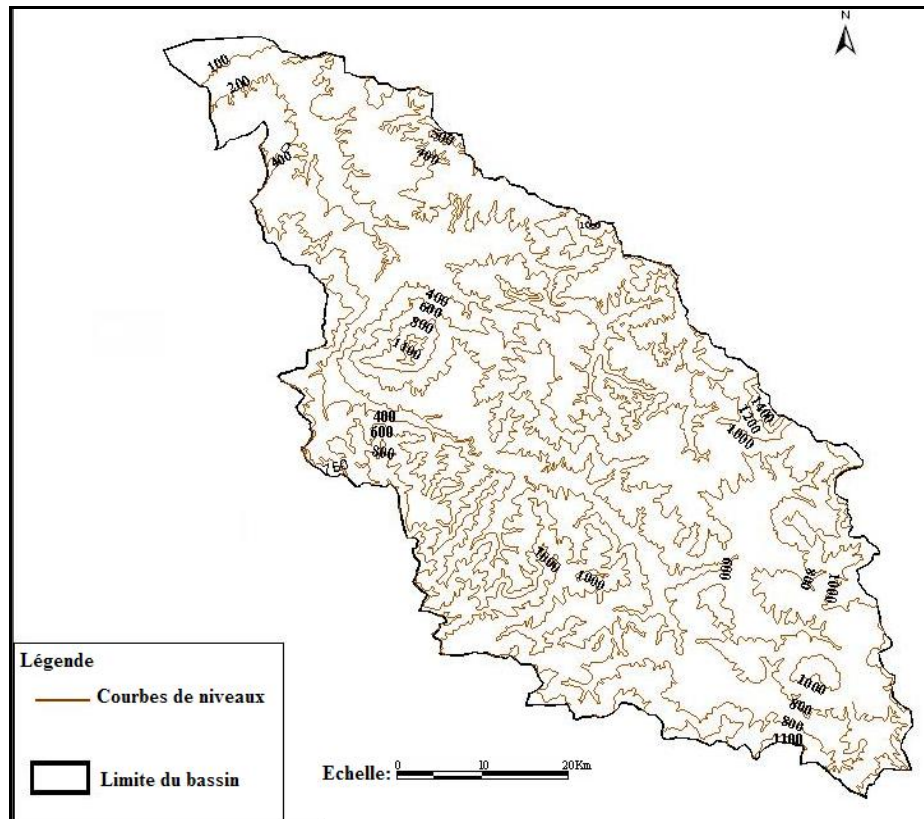


Figure (II-3) : Carte topographique du bassin versant de l'Oued Sly (ABH-CZ, 2005).

#### 1.4. Le Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est caractérisé par les paramètres suivants :

La longueur du thalweg principale  $I_{th}$  ; Rapport de confluence  $R_c$  ; Rapport de longueur  $RL$  ; Densité de drainage  $D_d$  ; Coefficient de torrentialité  $C_t$  ; Temps de concentrations  $T$  (Figure (II-4)).

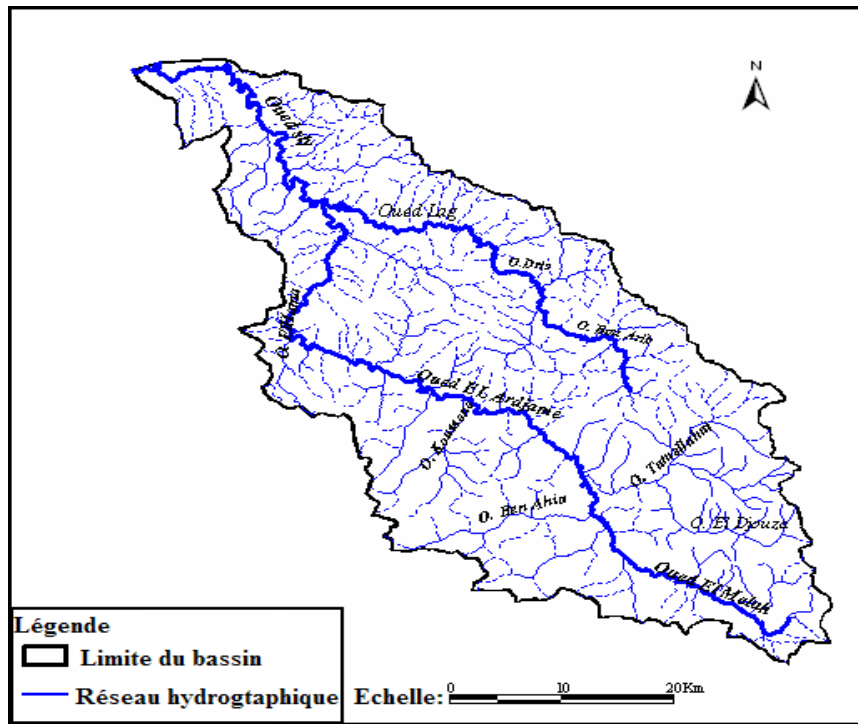


Figure (II-4) : Carte de réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Sly (ABH-CZ, 2005).

### 1.5. Le Couvert Végétal

Les forêts sont disposées dans la partie montagneuse et occupent la moitié de la surface, mais dans la partie basse, les forêts occupent 4/5 de la surface, les terrains dénudés sont peu mais sont reliés aux terres labourées à cause de l'avancement de la nappe.

Les caractéristiques morphologique et hydrographique du bassin versant de l'Oued Sly sont résumées dans le tableau (II-1)

Tableau (II-1) : Caractéristiques morphologique et hydrographique du bassin versant de l'Oued Sly

Caractéristiques	Type de paramètres	Unité	Symboles	Valeurs
<b>Morphologie du bassin versant</b>	Superficie du bassin versant	Km <sup>2</sup>	A	1400
	Périmètre du bassin versant	Km	P	221,6
	Indice de compacité Gravillus	/	Kc	1,66
	Longueur de rectangle équivalent	Km	L	84,67
	Largeur du rectangle équivalent	Km	I	26,13
<b>Relief</b>	Altitude maximale	m	H <sub>max</sub>	1661
	Altitude minimale	m	H <sub>min</sub>	160
	Altitude moyenne	m	H <sub>moy</sub>	717
	Indice de pente de roche	%	IP	0,48
	Indice de pente globale	m/km	IG	9,81
	Pente moyenne	m/km	I <sub>moy</sub>	14,17
<b>Réseau hydrographique</b>	Longueur DU Thalwegs principal	Km	L	564
	Densité de drainage	Km/km <sup>2</sup>	Dd	351,49
	Coefficient de torrencialité	/	Ct	0,58
	Temps de concentration	H	Tc	14
	Coefficient de sinuosité	/	Ks	0,79
	Rapport de confluence	/	RC	2,08
	Rapport de longueur	/	RL	1,08

(Source : HENNIA, 2006)

## 2. Description du bassin versant du barrage de Sidi Yacoub

### 2.1. Situation géographique

Le bassin à l'étude est localisé en Algérie du Nord entre les 35<sup>ième</sup> et 36<sup>ième</sup> parallèles Nord et les méridiens 1°15' et 1°45' Est (Figure (II.5)). L'oued El Ardjem est le cours d'eau qui draine le bassin depuis les versants Nord du massif de l'Ouarsenis dans l'Atlas Tellien jusqu'au réservoir du barrage de SidiYacoub. Plusieurs villes et villages d'importance significative sont situés dans le bassin versant tel que Ramka, Bordj Bounaama, Lardjem et Ain Dalia.

**Remarque:** L'ensemble des figures utilisées, sont des images regroupant plusieurs couches issues de la digitalisation par un logiciel de SIG (**Mapinfo professional 7.5**) des cartes (Géologique, de réseau hydrographique, du couvert végétale et d'occupation du sol) du bassin versant du barrage de Sidi Yacoub. Les cartes supports ont été Réalisées par l'ANBT (Agence Nationale des Barrages et Transferts).

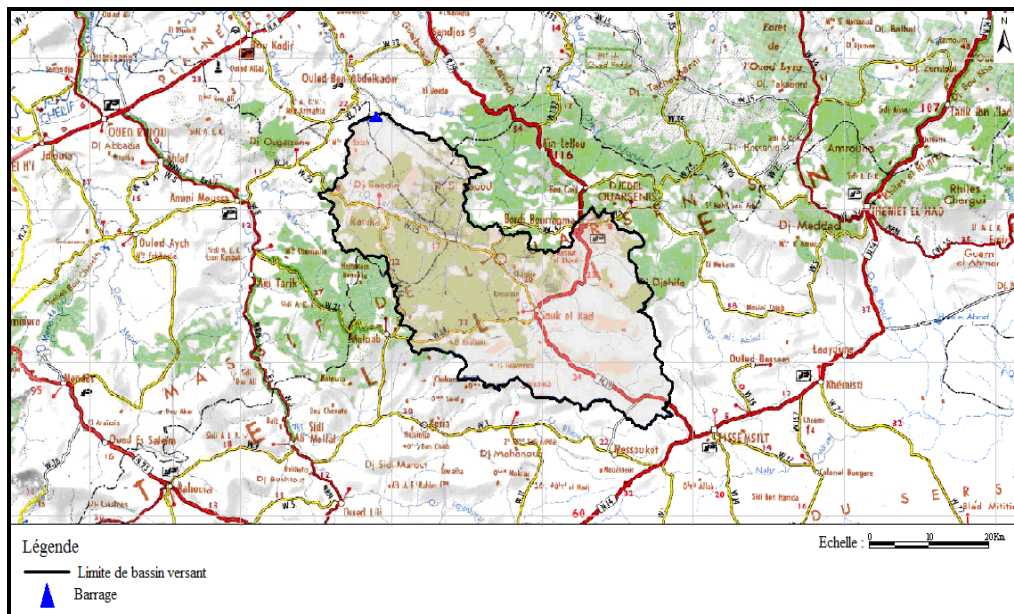


Figure (II-5) : Localisation du bassin versant de Sidi Yacoub.

Les caractéristiques morphologiques du barrage de Sidi Yacoub sont reportées dans le tableau (II-2).

## 2.2. Réseau hydrographique

Le site du barrage est situé sur l'oued El Ardjem près de la ville El Aédjail. la figure localise le barrage et son bassin versant. Les coordonnées géographiques du barrage sont :

E : 1°18'49"      N : 35°58'34"

Le bassin versant du barrage de Sidi Yacoub est compris dans le bassin régional 01, soit le chelif, de la région hydrographique 2 Chlef-Zahrez. L'oued principal a une pente moyenne de 6,39 m/km. La densité de drainage du réseau hydrographique est de 3,68 km/km<sup>2</sup>. La figure (II-6) présente le réseau hydrographique du bassin versant.

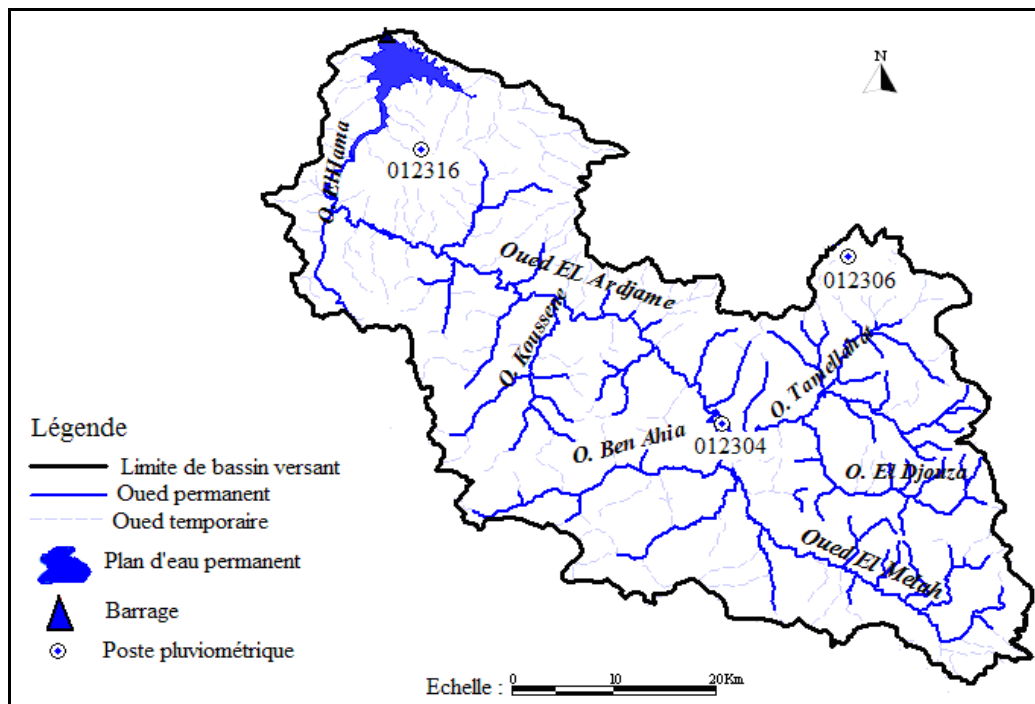


Figure (II-6) : Carte de réseau hydrographique du bassin versant de Sidi Yacoub.

### 2.3. Hydrologie

L'apport moyen annuel de l'oued Larjem est de  $31,34 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Depuis la mise en marche du barrage, l'apport annuel maximum enregistré a été de  $72 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 1986/1987 alors que l'apport minimal enregistré était de  $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 1992/1993. La plus forte crue enregistrée a été en date du 23/02/1987 (estimée à  $9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) (ABH., 2005).

Du fait de l'érosion du bassin versant, le barrage accumule chaque année des volumes de vase entraînant une réduction progressive de sa capacité totale. D'après l'ANBT (1985), les mesures hydrologiques indiquent une érosion spécifique de 2349 tonnes/km/an et une concentration de 18g/l.

### 2.4. Topographie et paramètres physiographiques

Le bassin versant du barrage de Sidi yacoub couvre une superficie de  $926 \text{ km}^2$  qui s'étend en forme de croissant avec un périmètre totalisant 201 km. Et un indice de compacité de Gravélius de 1,86. Le tableau (II-2) qui suit résume les principales caractéristiques physiographiques du bassin versant.

Tableau (II-2) : Principales caractéristiques physiographiques du bassin versant du barrage de Sidi Yacoub

Paramètres	Valeurs
Superficie du bassin versant	926 km <sup>2</sup>
Périmètre du bassin versant	201 km
Longueur du rectangle équivalent	90,1 m
Indice de compacité de Gravelius	1,86
Dénivelée moyenne (Fournier)	484 m
Dénivelée spécifique (H <sub>5%</sub> -H <sub>95%</sub> )	634 m
Pente moyenne du bassin	20,45 m/km
Indice global de pente	7,04
Largeur du rectangle équivalent	10,4 m
Pente moyenne de l'oued principal	6,39 m/km
Densité de drainage	3,68 km/km <sup>2</sup>

(Source : TECSULT, 2005)

Le bassin du barrage de Sidi Yacoub comporte deux grandes unités de paysages, soit, une région montagneuse au Sud et Est et une région relativement plane au Nord. Malgré son caractère montagneux, la première région présente quelques replats, tandis que la seconde région s'avère parsemée de quelques montagnes et collines isolées et qui s'étendent suivant une orientation du sud-ouest au nord-est. Le dénivelé de ces montagnes isolées varie de 600 à 800 m et leur relief se caractérise par plusieurs zones en pente escarpée. Le dénivelé maximal du bassin atteint 1159 m, en débutant à environs 261 m à l'embouchure, pour culminer à 1820 m sur la limite Sud-Est du bassin (Tecsult., 2005).

## 2.5. Géologie et géomorphologie

Le bassin versant du barrage de Sidi-Yacoub se situe au nord-ouest de l'Algérie dans le domaine de l'Atlas tellien. L'ensemble du bassin versant présente un relief en général accidenté. L'oued El Ardjem constitue le cours d'eau principal du bassin versant. Il prend sa source dans les montagnes de l'Ouarsenis et se déverse dans l'oued Cheliff, c'est le plus long cours d'eau avec 384 km.

Les roches présentes dans le bassin versant sont d'origines sédimentaires d'âge compris entre le Trias et le Miocène. Les dépôts quaternaires sont localisés le long des oueds ou dans les plaines alluviales. Les dépôts sont généralement caillouteux. Les alluvions récentes sont décrites comme limoneuses **Tecsuit (2005)**.

Les formations répertoriées sont les calcaires marneux (44%), les formations marno-calcaires (17%), les marnes (16%), les grès calcaires ou marneux (9%), le flysch et molasse (8%) les formations marno-gréseuses (3%), les évaporites (2%), les calcaires (<1%) ainsi que les dépôts meubles à texture moyenne (<1%).

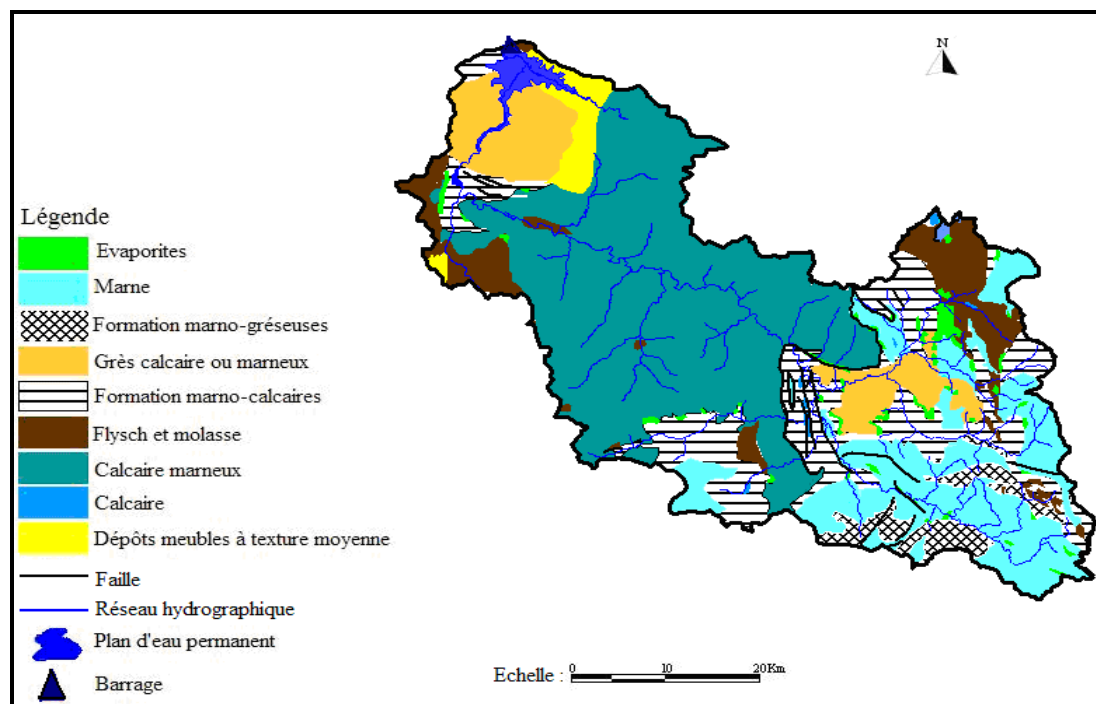


Figure (II-7) : Carte géologique du bassin versant de Sidi Yacoub.

## 2.6. Couvert végétal

Le bassin versant du barrage de Sidi Yacoub est utilisé à environ 30 % pour l'agriculture intensive, en l'occurrence les grandes cultures céréalières et fourragères (figure (II.8)). Cette utilisation reflète clairement la présence de replats dans l'unité de paysage montagneuse, au nord, et l'étendue des grands plateaux au sud. En contrepartie, les zones plus accidentées sont généralement couvertes de forêts (21,1%), de maquis/garrigues (20,8 %) et de matorrals (17 %). Ce sont toutefois les formations de matorrals qui dominent ce groupe, ne laissant habituellement place aux massifs forestiers que sur les sommets les plus élevés.

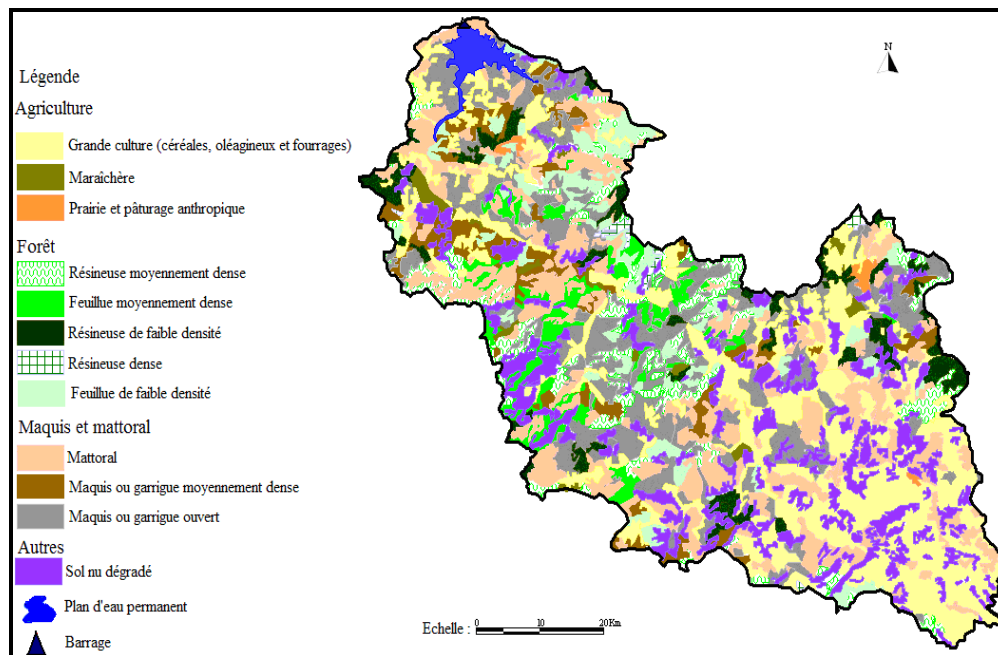


Figure (II-8) : Carte de couvert végétal du bassin versant de Sidi Yacoub.

### 2.7. Caractéristiques sociodémographiques

Le bassin versant du barrage de Sidi Yacoub s'étend sur 926 km<sup>2</sup> répartis sur 17 communes appartenant à quatre wilayas : Tissemsilt, Relizane, Chleff et Tiaret. Cependant, une lecture attentive de sa structure géographique indique que près du ¾ de son territoire se concentrent sur cinq communes (Tableau (II-3)).

Tableau (II-3) : les communes les plus importantes du bassin versant

Wilaya	Commune	% du bassin constitué par la commune
Tissemsilt	Larjam	24,89
Relizane	Ramka	15,95
Tissemsilt	Sidi Abed	14,34
Tissemsilt	Sidi Lantir	11,10
Chlef	Ouled Ben Abdelkader	8,17
Total		74,54

D'après le tableau (II-3), on remarque que plus de la moitié du bassin versant est constitué du territoire des communes de Lardjem, Ramka et Sidi Abed. Cette remarque est surtout importante dans les futures actions participatives pour la préservation du bassin versant surtout dans son volet érosion et donc les conséquences qui vont pour la préservation des ressources hydriques et des ouvrages hydrauliques. Par ailleurs la proximité de la steppe



et l'activité pastorale fait que la population de la partie essentielle du bassin est tournée vers les activités d'élevage.

**2.8. Occupation du sol**

La situation géographique et la configuration géographique confèrent au bassin versant de Sidi-Yacoub une utilisation du sol constituée principalement de milieux naturels et d'activités agricoles. La zone d'étude comprend :

- des chaînes de montagnes et de collines à l'Est et à l'Ouest couvertes de forêts et de maquis ;
- de vastes terres agricoles situées essentiellement dans les vallées des oueds el Melab et Maleh.

Le tableau (II-4) suivant présente les superficies des différentes occupations du sol pour le bassin versant. A l'examen de ces données, il ressort que le milieu naturel domine (73,32%) suivi par les activités agricoles (25,6%).

Tableau (II-4) : Occupation du sol dans le bassin versant de Sidi Yacoub.

Type d'occupation du sol	Superficie (km2)	%
Milieu naturel	678,2	73,32
Zone agricole	237	25,6
Pâturage	8,1	0,9

(Source : TECSULT, 2005)

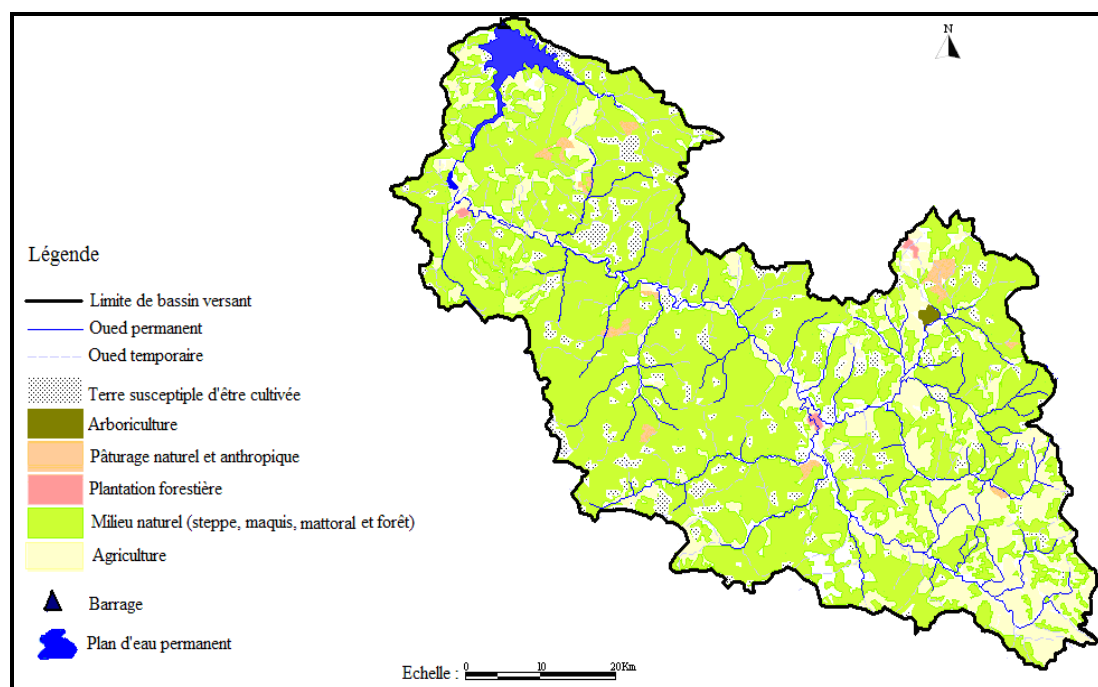


Figure (II-9) : Carte d'occupation du sol du bassin versant de Sidi Yacoub.

### 3. Etude climatique du bassin versant de l'Oued Sly

Le bassin versant de Oued Sly est l'un des sous bassin du grand bassin versant du moyen-Cheliff qui se subie a un climat semi-aride, froid en hiver et chaud en été avec une pluviométrie moyenne annuelle faible, de se faite l'étude de ces composantes (pluviométrie, Température, humidité relative, vitesse du vent... etc.) est une nécessité.

#### 3.1. Pluviométrie

Le bassin versant de l'Oued Sly est équipé par 08 postes pluviométriques, un poste géré par l'ONM et les 07 autres sont jugés par l'ANRH (Tableau (II-5)).

Pour l'étude climatique celle des précipitations, nous allons utiliser que les données de poste géré par l'O.N.M.

Tableau (II-5) : Les stations pluviométriques retenues et leurs caractéristiques.

Station	Code pluvio	Code wilaya	X (Km)	Y(Km)	Z(m)	Période d'observation
Sidi Yacoub (ONM)	-	02	371,69	303,89	272	1999 - 2010
Souk EL Haad	012304	38	395,85	272,7	550	1970 - 2009
Bordj Bou Naâma	012306	38	402,6	284,1	900	1970 - 2009
Ain Loulou	012307	38	397,4	293,6	240	1970 - 2009
Ouled Ben Abdelkader	012308	02	373,4	302,85	95	1970 - 2009
Oued Sly	012309	02	365,2	312,7	882	1970 - 2009
Saâdia	012316	48	377,2	289,65	1000	1970 - 2009
Sidi Yacoub BGE	012318	02	375	298,3	272	1970 - 2009

(Source : ABH-CZ)

##### 3.1.1. Variation mensuelle

Les précipitations mensuelles enregistrées à Sidi Yacoub sont très variables d'un mois à un autre (Figure (II-10)). La distribution des hauteurs moyennes mensuelles suit un climat de type méditerranéen: précipitations d'automne et d'hiver suivies d'une sécheresse d'été. La moyenne mensuelle calculée au cours de la période d'observation 1999-2010 à Sidi Yacoub est de 23,86 mm/mois. A côté de quelques pluies exceptionnelles, les périodes sèches sont malheureusement assez fréquentes (Tableau (II-6)).

D'une façon générale, les mois différent les uns des autres en ce qui concerne la façon dont les pluies se répartissent.

Tableau (II-6): Précipitations moyennes mensuelles et leur contribution à la pluie moyenne annuelle (1999-2010).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	23,25	23,38	41,58	45,26	30,38	34,8	24,72	27,92	18,63	2,47	8,37	5,58
Contribution (%)	8,12	8,17	14,52	15,81	10,61	12,15	8,63	9,75	6,51	0,86	2,92	1,95

(Source : ONM-Chlef)

Les histogrammes de la figure (II-10), représentent la variation des précipitations moyennes mensuelles de la station de Sidi yacoub relative à la période 1999/2010.

L'observation de ces histogrammes montre que les mois les plus pluvieux de l'année sont les mois de Novembre – Décembre et les mois les plus secs sont ceux de Juin – Août.

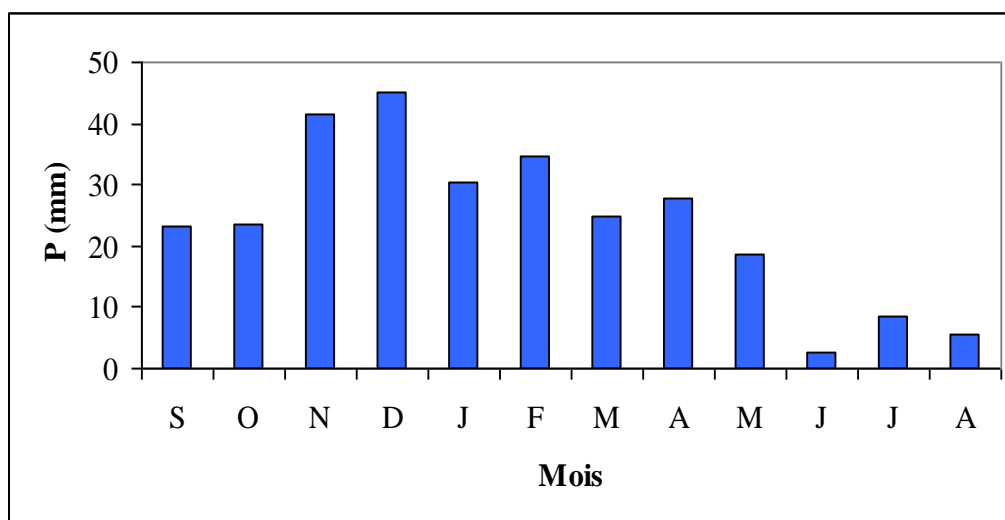


Figure (II-10) : Précipitations moyennes mensuelles à la station Sidi Yacoub (1999-2010).

### 3.1.2. Variation saisonnière

Le tableau (II-7) rassemble les données des précipitations saisonnières de station Sidi Yacoub pour la période (1999/2010).

Tableau (II-7) : Précipitations moyennes saisonnières et leur contribution à la pluie moyenne annuelle (1999-2010).

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Eté
P (mm)	88,21	110,14	71,27	16,42
Contribution %	30,81	38,57	24,86	5,73

L'étude de la variation saisonnière de la pluviosité montre que malgré la grande variabilité des précipitations, on remarque que l'hivers est la saison pendant laquelle sont enregistrées les plus grandes quantités de pluie avec un pourcentage de 38,57% et l'été est la saison la moins pluvieuse, période pendant laquelle le pourcentage de pluies atteint 5,73%.

Quant aux saisons de l'automne et le printemps, la variabilité est plus grande (figure (II-11))

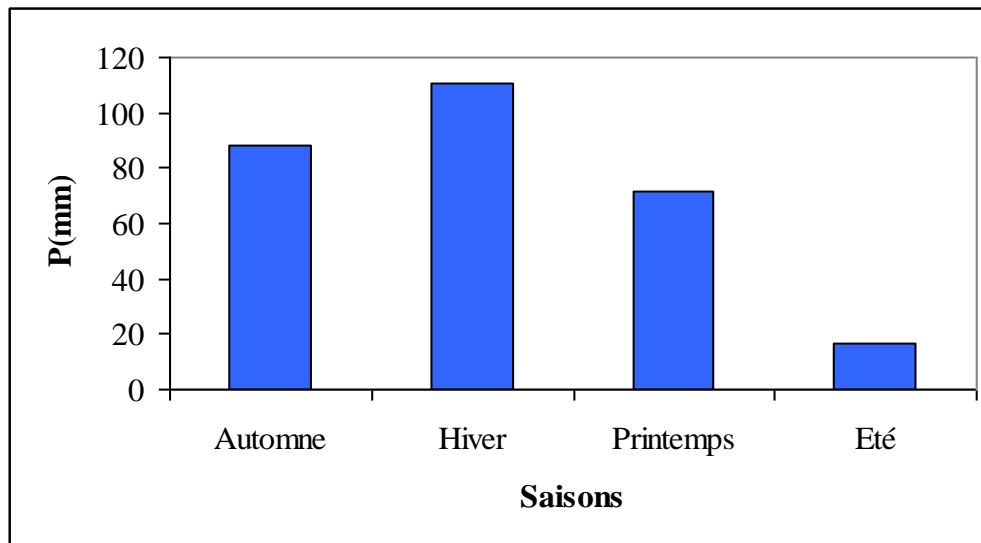


Figure (II-11) : Précipitations moyennes saisonnières de la station Sidi Yacoub (1999-2010).

### 3.1.3. Variation annuelle

Une très grande irrégularité et variabilité inter-annuelle caractérisent les précipitations.

Les valeurs moyennes annuelles de pluviosité révèlent un module calculé sur une période de 12 ans de l'ordre de 266,34 mm à la station Sidi Yacoub.

L'examen des précipitations annuelles (Figure (II-12)) montre que l'année la plus humide sur les 12 années est l'année 2009 avec une pluviométrie de 408,8 mm correspondant à un excès pluviométrique. Et l'année 2002 est la plus sèche avec 129 mm.

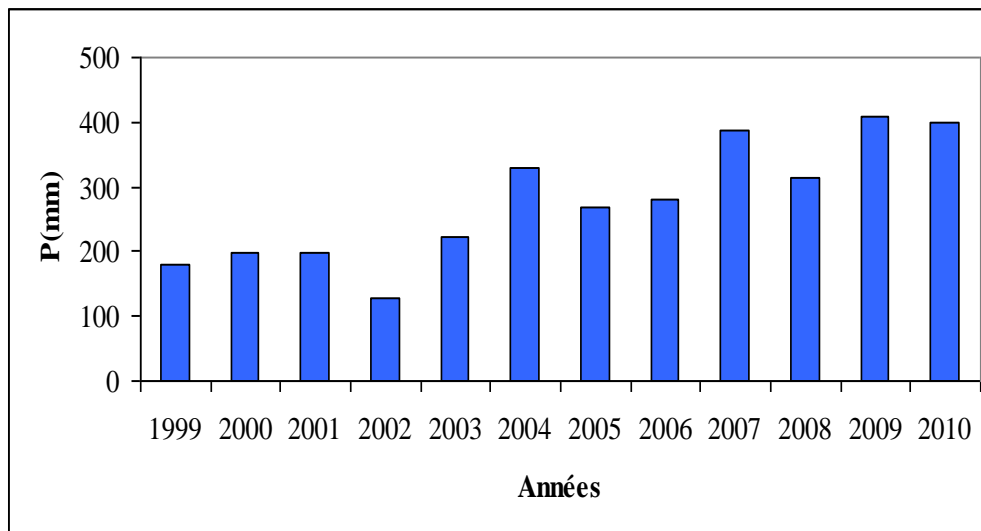


Figure (II-12) : Précipitations annuelles de la station Sidi Yacoub (1999-2010)

### 3.2. Température

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique.

Le tableau ci-dessous présente les températures minimales, maximales et moyennes mensuelles enregistrées à la station de Sidi Yacoub sur la période (1999-2010).

Tableau (II-8) : Températures mensuelles de la station de Sidi Yacoub (1999-2010).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T°C min	18,5	14,5	9,48	7,2	3,9	4,5	8,7	10,01	13	18,8	21,9	21,8
T°C max	34,1	30,4	26,4	19,5	16,8	19,5	23,7	26,1	31,8	37,8	40,7	39,6
T°C moy	26,3	22,5	17,94	13,35	10,35	12	16,2	18,06	22,4	28,3	31,3	30,7

(Source : ONM-Chlef)

Le tableau ci-dessus, montre que la température moyenne minimale s'observe au mois de Janvier, elle est de 3,9°C tandis que la température moyenne maximale qui s'observe au mois de Juillet est de 40,7°C. Quant à la température moyenne annuelle, elle est de 20,78°C pour la période (1999-2010).

La saison chaude s'étend de Mai à Octobre, mois pendant lesquels la température mensuelle est supérieure à la moyenne annuelle, alors que la saison froide correspond à la période allant de Novembre à Avril.

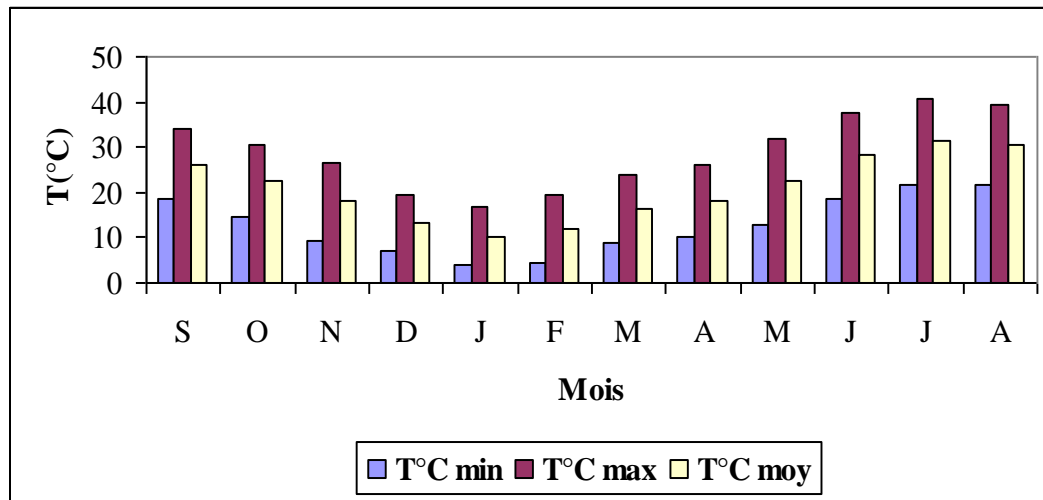


Figure (II.13): Températures mensuelles de la station de Sidi Yacoub (1999-2010).

### 3.3. Humidité relative

L'humidité relative est le rapport de la tension de vapeur à la tension maximum correspondant à la température mesurée au thermomètre sec, exprimée en %. A la station de Sidi Yacoub (1999-2010), les moyennes mensuelles varient de 66,43% en hiver au mois de Décembre à 38,41% en été au mois d'Août. La moyenne annuelle étant de 53,87% (Tableau (II-9)).

Tableau (II-9) : Humidité relative moyenne mensuelle à la station de Sidi Yacoub (1999-2010).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidité (%)	51,13	53,31	62,59	66,43	65,72	62,85	59,13	53,22	51,60	41,77	40,32	38,41

(Source : ONM-Chlef)

### 3.4. Le Vent

Il représente l'un des facteurs les plus déterminants du régime pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. Sur la région d'étude dominant des vents dont la force est assez constante, au cours de l'année et oscillent entre 2,56 et 3,23 m/s (tableau (II-10)).

Tableau (II-10) : vitesse moyenne mensuelle du vent à la station de Sidi Yacoub (1999-2010).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vent (m/s)	2,88	2,56	2,58	2,69	2,58	2,73	2,85	3,01	3,22	3,23	2,92	2,88

(Source : ONM-Chlef)

### 3.5. Evaporation

L'évaporation peut être définie comme étant l'ensemble des phénomènes physiques qui transforment l'eau à l'état liquide ou solide des surfaces libres en vapeur. Le taux d'évaporation en un lieu donné dépend de plusieurs facteurs à savoir la température de l'air, la force du vent, l'insolation et la saturation du sous-sol.

L'évaporation est élevée et varie entre 295.19 mm au mois de Juillet et 49,25 mm au mois de Janvier. (Tableau (II-11)).

Tableau (II-11) : Évaporations moyennes mensuelles dans la station de Sidi Yacoub (1999-2010).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
EV (mm)	186,63	223,36	80,12	56,47	49,25	60,21	89,38	106,44	172,33	249,68	295,19	264,62

(Source : ONM-Chlef)

## 4. Etude des indices climatiques

L'étude du climat portera sur les données de la station de Sidi Yacoub pour la période (1999 – 2010).

### 4.1. Diagramme Ombrothermique

Pour Gaussen et Bagnouls, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimées en mm est inférieur au double de la température moyenne exprimée en °C; le diagramme pluviométrique établit grâce à cette relation montrant l'importance des saisons sèches et humides en durée et en intensité: quand la courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations il s'agit d'un mois sec, dans le cas contraire il s'agit d'un mois humide.

L'analyse du diagramme ombrothermique de la station de Sidi Yacoub (figure (II-14)) montre l'existence de deux périodes, une période d'aridité qui dure sept mois, elle s'étale du mois de mars jusqu'au mois de Novembre et une période pluviale qui couvre le reste des mois de l'année.

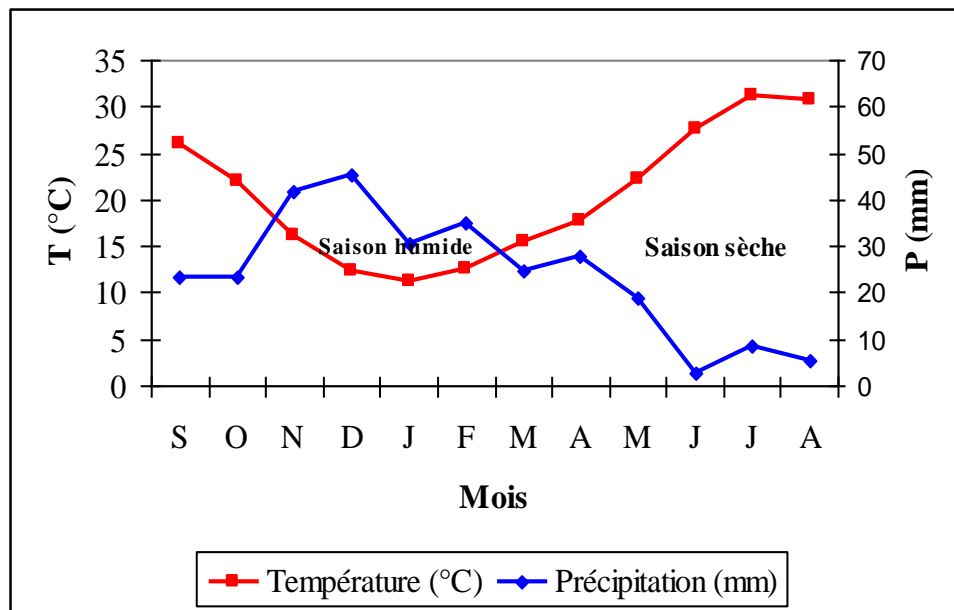


Figure (II-14) : Diagramme Ombrothermique de la station de Sidi Yacoub (1999-2010).

## 4.2. Indices climatiques

### 4.2.1. Indice d'aridité annuelle de DE MARTONNE

Cet indice est calculé à partir de la formule suivante:

$$I = P / (T + 10) \quad (\text{II-1})$$

Avec: P : est la précipitation annuelle  $P = 366,34$  mm/an;

T : est la température moyenne annuelle  $T = 20,78^\circ\text{C}$

$$I = 366,34 / (20,78 + 10) = 11,90\text{mm}$$

Suivant les valeurs de (I), **DE Martonne** a établi la classification suivante :

$I < 5$  : climat hyperaride

$5 < I < 7,5$  : climat désertique

$7,5 < I < 10$  : climat steppique

$10 < I < 20$ : climat semi-aride

$20 < I < 30$  : climat tempéré

Alors, selon les valeurs de (I) notre région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride.



### 4.2.2. Indice d'aridité mensuelle de DE MARTONNE

Cet indice est utilisé dans le but de préciser les conditions de la 'semi aridité' estivale, il est calculé à partir de la relation suivante:

$$i = 12P / (t + 10) \quad (\text{II-2})$$

Avec: P et t représentent respectivement la précipitation et la température du mois considéré.

Selon les valeurs de i (tableau (II-12)), on peut classer l'année en mois:

- durant les mois de Décembre, un régime tempéré occupe la région de l'Oued Sly ( $20 < i < 30$ ).
- un régime semi aride règne sur la région d'étude pendant les mois suivants : Janvier, Février, Mars, Avril et Novembre ( $10 < i < 20$ ).
- les mois de Septembre, Octobre, mais, Juin, Juillet et Août connaissent un régime hyperaride.

Tableau (II-12) : Indice d'aridité mensuelle de DE MARTONNE

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T°C	26,0	22,1	16,2	12,4	11,2	12,5	15,4	17,7	22,2	27,6	31,1	30,7
P(mm)	23,3	23,38	41,58	45,26	30,38	34,80	24,72	27,92	18,63	2,47	8,37	5,58
i	7,76	8,75	19,07	24,21	17,19	18,54	11,68	12,11	6,94	0,79	2,44	1,65

## 5. Evapotranspiration et déficit d'écoulement

### 5.1. Evapotranspiration

Le phénomène de l'évapotranspiration se compose, d'une part, de l'évaporation directe qui s'effectue à partir des sols humides et des différents plans d'eau, mais aussi de la transpiration des végétaux.

L'évapotranspiration est une des composantes fondamentales du cycle hydrologique et son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant. On distingue :

- Une évapotranspiration potentielle qui correspond à la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant.
- Une évapotranspiration réelle qui est une réponse, en terme de vapeur d'eau, d'un milieu donné à la demande exercée par l'évapotranspiration potentielle, compte tenu de la quantité d'eau disponible.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration, on a utilisé plusieurs formules empiriques et méthode de bilan.

**5.1.1. Évapotranspiration potentielle (ETP)**

Pour estimer l'évapotranspiration potentielle, on a appliqué la formule de Thornthwaite. Les données de température qu'on dispose sont celles de la station de Sidi Yacoub.

L'agronome américain G.W. Thornthwaite proposa en 1948 une expression pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle en tenant compte seulement de la température mensuelle. Le développement de cette expression donne la formule suivante :

$$ETP = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a K \tag{II-3}$$

Avec

$$I = \sum_1^{12} i \tag{II-4}$$

Où

$$i = (T/5)^{1.514} \tag{II-5}$$

$$a = 0.49 + 1.8 \cdot 10^{-2} I - 7.71 \cdot 10^{-5} I^2 + 6.75 \cdot 10^{-7} I^3 \tag{II-6}$$

Avec:

T : température moyenne du mois considéré

I : indice annuel thermique cumulé =  $\sum i$  mensuel

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle en mm

Les valeurs obtenues sont corrigées par un coefficient de correction k qui dépend le mois et la latitude du bassin.

Les résultats obtenus par l'application de cette formule pour la station de Sidi Yacoub sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau (II-13) : Calcul de l'évapotranspiration potentielle de la station de Sidi Yacoub (1999-2010).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T°C	25,98	22,05	16,16	12,43	11,21	12,53	15,40	17,67	22,22	27,55	31,12	30,66
a	0,69	0,65	0,59	0,56	0,55	0,56	0,59	0,61	0,65	0,71	0,75	0,75
i	12,12	9,46	5,91	3,97	3,40	4,02	5,49	6,76	9,56	13,25	15,93	15,57
ETPnc	128,49	87,97	42,91	23,4	18,43	23,84	38,39	52,74	89,55	147,2	195	188,4
K	1,04	0,98	0,8	0,85	0,88	0,86	1,04	1,11	1,22	1,23	1,25	1,17
ETPc	133,63	86,21	34,33	19,89	16,22	20,50	39,93	58,54	109,25	180,99	243,73	220,42

ETPnc : ETP non corrigée      ETPc : ETP corrigée

## 5.2. Le bilan hydrologique

Le bilan de l'eau global a pour but principal d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves.

### 5.2.1. Théorie du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite

La méthode de Thornthwaite est utilisée pour les climats semi-arides, ce qui convient à la région de l'Oued sly, vu les caractéristiques de son climat. Elle est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU) ; celle-ci peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes.

Dans notre cas, la quantité d'eau stockée dans la RFU est maximale lorsqu'elle atteint 100 mm.

On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois P, de l'ETP et de la RFU.

-Si pour un mois  $P \geq ETP$  on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste (P-ETR) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 mm) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

- Si  $P < ETP$ , la valeur de  $ETR = P + RFU$ , jusqu'à égalisation avec ETP. Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole  $Da = ETP - ETR$ , ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

Les résultats du bilan hydrologique calculés par la méthode de Thornthwaite pour la station de Sidi Yacoub sont illustrés dans le tableau (II-14).

Tableau (II-14) : Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	23,25	23,38	41,58	45,26	30,38	34,80	24,72	27,92	18,63	2,47	8,37	5,58
ETP (mm)	133,63	86,21	34,33	19,89	16,22	20,50	39,93	58,54	109,25	180,99	243,73	220,42
ETR (mm)	23,25	23,38	34,33	19,89	16,22	20,50	39,93	58,54	18,63	2,47	8,37	5,58
RFU (mm)	0	0	7,25	32,62	100	100	84,79	54,17	0,00	0,00	0,00	0,00
Da (mm)	110,38	62,83	0	0	0	0	0	0	90,62	178,52	235,36	214,84
Ws (mm)	0	0	7,25	25,37	14,16	14,30	0	0	0	0	0	0
P-ETP	-110,38	-62,83	+7,25	+25,37	+14,16	+14,30	-15,21	-30,62	-90,62	-178,52	-235,36	-214,84

Afin de mieux éclairer les résultats, une représentation graphique des paramètres calculés est établie en figure (II-15).

**5.2.2. Interprétation du bilan hydrologique**

L'observation du graphe du bilan hydrologique nous amène à dire que l'ETP est importante du mois d'Avril jusqu'au mois d'Octobre, avec des valeurs atteignant les 243,73mm au mois de Juillet, rendant ainsi nécessaire l'irrigation. A partir du mois d'Octobre, on assiste à une reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de janvier et mars. Au-delà de cette période, on assiste à une baisse de la RFU, traduisant un épuisement du stock. Tableau (II-14) et figure (II-15).

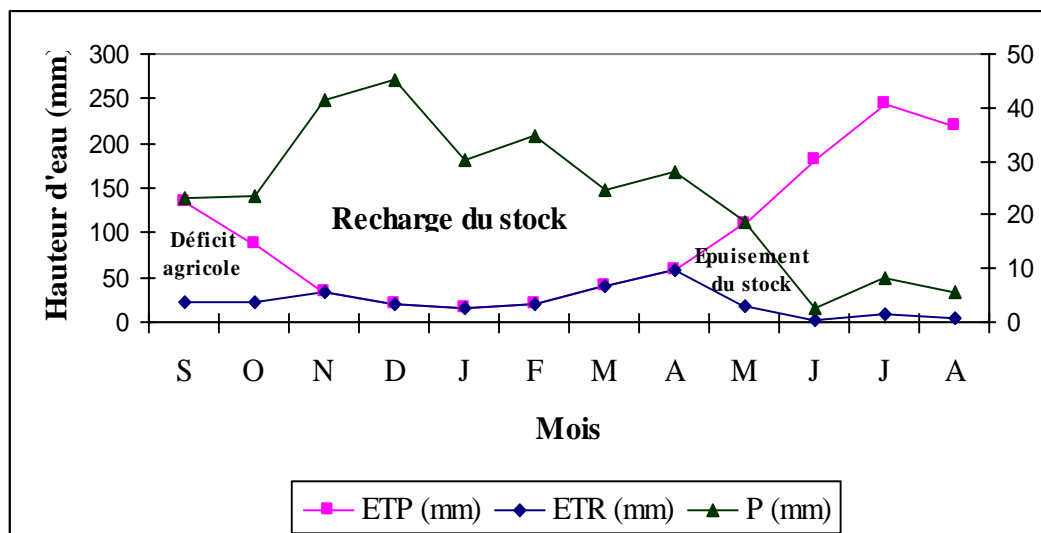


Figure (II-15) : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite.

## 6. Pollution en amont du Bassin versant du barrage Sidi Yakoub

Le bassin versant de Sidi Yakoub occupe une superficie de 926 Km<sup>2</sup> et englobe les communes des deux wilayates : Relizane avec la commune de Ramka et la wilaya de Tissemsilt avec les communes de Lardjem, Bordj Bounaama, Sidi Lantri, Tamalaht et Sidi Abed.

### 6.1. Pollution domestique

Le bassin du barrage reçoit la charge domestique des agglomérations suivantes : Ramka, Ouled Aicha, Lardjem, Laabais, Bordj Bou nâama, Sidi Lantri, Tamallahet, Sidi abed avec une population de 34995 hab en 2020 et les charges de pollution domestique sont citées dans le tableau suivant.

Tableau (II-15): Charge polluante en Eqh des rejets domestiques.

Wilaya	Commune	Agglomération	Charge polluante en 2010 (Eqh)	Charge polluante en 2020 (Eqh)
Tissemsilt	Bordj Bou	Bordj Bou	9 6 32	10725
	Lardjem	Lardjem	9 6 32	10725
		Ouled Aiche	11794	13132
		Laabaies	2178	2425
	Sidi Lantri	Sidi Lantri	1319	1468
	Sidi Abed	Sidi Abed	1587	1766
	Temellahet	Tamellahet	670	745
Relizane	Ramka	Ramka	1502	1671
Total			2875	3063

(Source : ABH-CZ)

## 6.2. Pollution Industrielle

Vu l'importance de ce barrage et la topographie de la région aucune activité industrielle ou de service n'est implantée dans ce bassin.

## 6.3. Pollution agricole

Le bassin versant du barrage Sidi Yacoub reçoit une charge polluante des rejets agricoles qui sont principalement : les abattoirs dans les communes de Bordj Bou nâama et Lardjem avec une charge de 622 400 Eqh d'une quantité abattue de 22 513 T/an.

## 6.4. Pollution des décharges publiques

D'autre part, il existe des sources de pollution comme les décharges publiques dans les communes de Ramka avec une quantité déposée de 952 T/an et la commune de Tamallahet (1T/j) et la commune de Bordj Bou nâama (6 T/j).

## 5.5. Pollution des déchets hospitaliers

Les déchets hospitaliers forment une source un peu négligeable par rapport aux autres sources avec une charge de 237 Eqh par l'existence d'un Hôpital dans la commune de Bordj Bou nâama.

## CHAPITRE III

# Variabilité spatio-temporelle du régime pluviométrique dans le bassin versant de l’oued Sly

### Introduction

Avant de parler de la variabilité pluviométrique, il est important de faire le point sur l’avancée des connaissances concernant les phénomènes à la base du régime pluviométrique. En effet, ces phénomènes influencent grandement la variabilité de la pluie.

Ensuite, nous aborderons les différentes caractéristiques liées aux variabilités spatiale et temporelle de la pluie. Celles-ci dépendent de l’échelle à laquelle on s’intéresse. Il faudra dès lors choisir les échelles spatiale et temporelle adéquates en fonction des objectifs poursuivis. Enfin, nous ferons le point sur les méthodes d’analyse de la variabilité temporelle de la pluviométrie.

### 1. Réseau pluviométrique du bassin versant de l’Oued Sly

Les données étudiées dans ce présent travail ont été fournies par l’agence nationale des ressources hydrique (A.N.R.H) de Blida. Il s’agit des totaux mensuels et annuels de précipitations.

Pour un bon traitement des données recueillies, il est nécessaire et indispensable que la période d’observation soit suffisamment longue, autrement dit l’échantillon doit être suffisamment grand (> 30 ans) (El Ouissi, 2004). Cependant, la réalité est différente à cause des lacunes que nous trouvons souvent dans les séries d’observation de ces stations (Azzaz, 2001). Pour assurer une bonne représentation de notre région, nous avons d’abord travaillé sur 07 stations pluviométriques ayant des périodes aussi longues que possibles et réparties d’une façon plus ou moins uniforme sur toute la zone.

Le tableau (III.1) résume les coordonnées et la période d’étude des différentes stations retenues dans l’étude.

Tableau (III-1): Stations pluviométriques du bassin versant de l’oued Sly.

Stations	Symbole	Code	X (Km)	Y (Km)	Z (m)	Période
Souk EL Haad	S1	012304	395,85	272,7	550	1970/09
Bordj Bou Nâama	S2	012306	402,6	284,1	1050	1970/09
Ain Loulou	S3	012307	397,4	293,6	900	1970/09
Ouled Ben Abdelkader	S4	012308	373,4	302,85	240	1970/09
Oued Sly	S5	012309	365,2	312,7	95	1970/09
Sâadia	S6	012316	377,2	289,65	1000	1970/09
Sidi Yacoub BGE	S7	012318	375	298,3	272	1970/09

(Source : ABH-CZ)

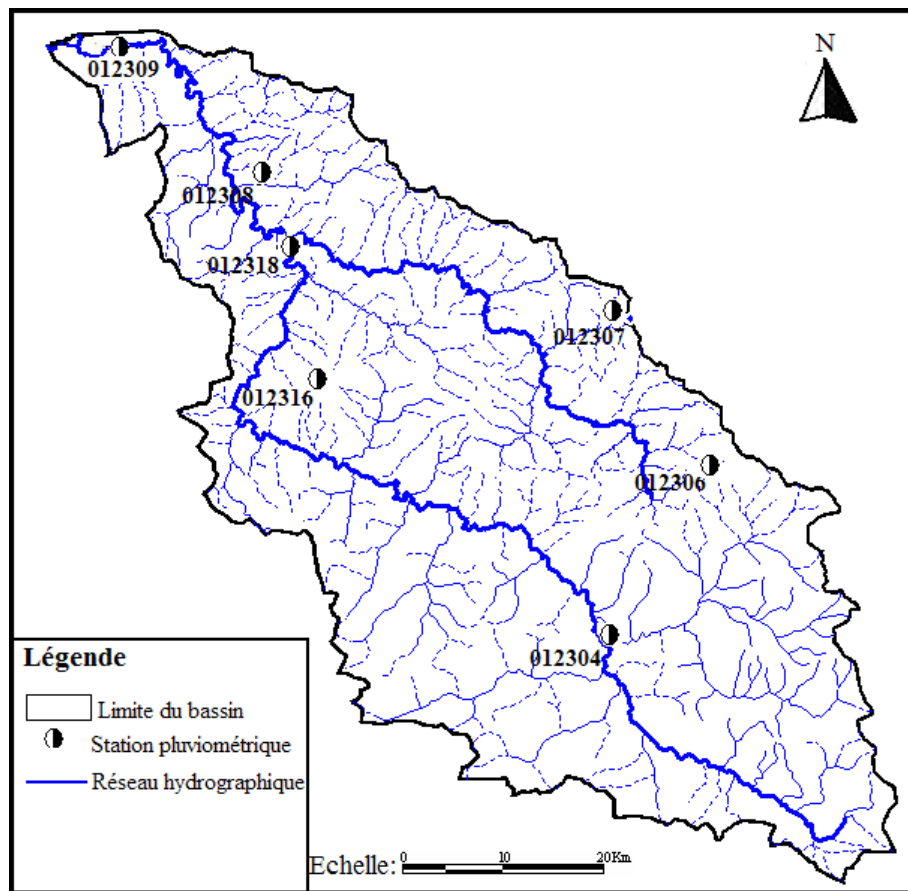


Figure (III-1): Réseau pluviométrique du bassin versant de l’Oued Sly (ABH-CZ).

### 1.1. Estimation des données manquantes

Nous pouvons estimer les données manquantes ou erronées à une station à partir des valeurs provenant des stations voisines soumises aux mêmes conditions climatiques et situées dans la même zone géographique. Trois méthodes sont proposées pour la restitution des données pluviométriques :



- Remplacer la valeur manquante par celle de la station la plus proche ;
- Remplacer la valeur manquante par la moyenne des stations voisines. Cette méthode est utilisée lorsque les précipitations moyennes annuelles de la station à compléter ne diffèrent pas de plus de 10% des précipitations moyennes annuelles aux stations de référence.
- Remplacer la valeur manquante par la méthode de régression. Pour que cette méthode soit efficace, il faut que la régression soit linéaire et que le coefficient de corrélation soit élevé. En ce qui concerne la linéarité, elle peut être vérifiée dès le début à l'aide d'un graphique en portant sur les coordonnées les deux stations à comparer. Ces stations doivent présenter au mois une dizaine de valeurs comme dans une région où les fluctuations d'amplitudes sont très différentes.

## 1.2. Variabilité inter-annuelles des précipitations

L'une des caractéristiques principales de la pluviométrie, dans notre région, est sa grande variabilité inter-annuelle. En effet, d'une année à l'autre le total annuel peut varier fortement. Ceci nous a conduits à une étude détaillée de la variabilité inter-annuelle des précipitations. Le tableau (III-2) caractérise bien cette variabilité inter-annuelle. Au niveau de notre zone d'étude, le coefficient de variation varie entre 24 % et 35 % à la station de Ain Loulou et à la station de bordj Bou Nâama respectivement.

Les moyennes inter-annuelles (tableau (III-2)) des 40 années d'observation révèlent que la pluviosité maximale est enregistrée à Saadia (531 mm) puis la station de Bordj Bou Naama (471 mm). Viennent ensuite les stations : Ain Loulou (432), Ouled Ben Abdelkader (342), Souk EL Haad (339) et Sidi Yacoub BGE (336). La station de Oued Sly, d'altitude basse (95 m) ne totalise que 280mm.

Tableau (III-2) : Paramètres statistiques des précipitations des stations étudiées.

Station	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart type	CV (%)
S1	551	153	339	110	32
S2	770	202	471	163	35
S3	649	232	432	104	24
S4	612	178	342	96	28
S5	466	127	280	90	32
S6	953	330	531	126	24
S7	754	187	336	109	32

### *CHAPITRE III Variabilité spatio-temporelle du régime pluviométrique dans le bassin versant de l'Oued Sly*

Pour une analyse plus détaillée, nous allons caractériser la variabilité inter-annuelle des stations étudiées par des graphes montrant la variabilité temporelle des précipitations. La figure (III-2) représente cette variabilité inter-annuelle des précipitations aux stations étudiées de la période allant de (1970 – 2009).

Ces graphiques confirment une baisse remarquable des précipitations annuelles dans le bassin versant de l'Oued Sly.

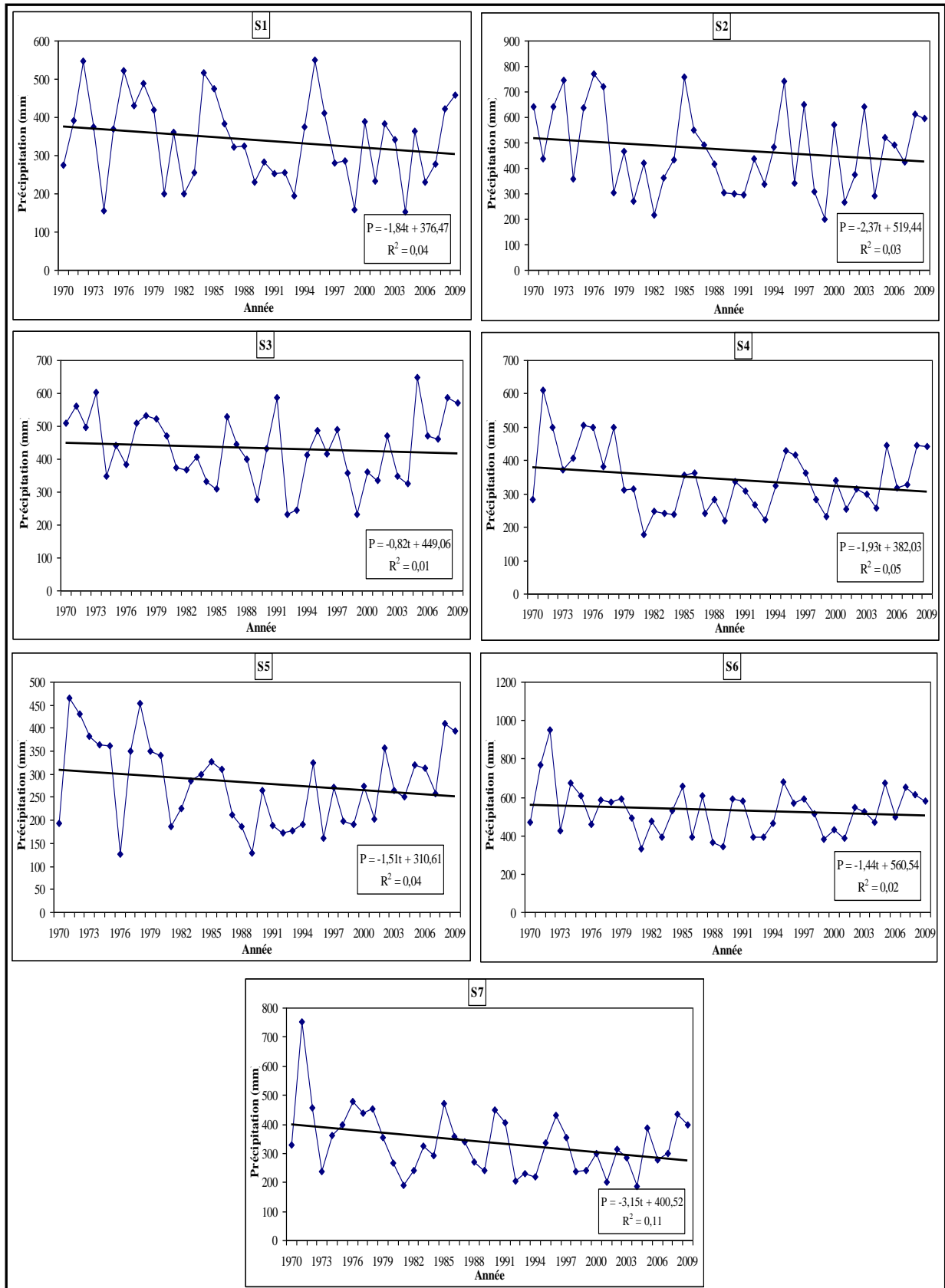


Figure (III-2) : Variabilité temporelle des précipitations annuelles dans le bassin versant de l’Oued Sly.

### 1.3. Variabilité intra-annuelle des précipitations

#### 1.3.1. Précipitations mensuelles

La répartition des précipitations mensuelles sur 40 ans pour les différentes stations étudiées (S1, S2, S3, S4, S5, S6 et S7), montre que pour toutes les stations, le maximum des pluies est atteint durant les mois de décembre, janvier et février. En général, une petite diminution est observée au mois de mars suivi par un deuxième pic au mois d'avril. Le tableau (III-3) et la figure (III-2) montrent cette variabilité intra-annuelle.

Tableau (III-3) : Précipitations moyennes mensuelles des différentes stations (1970/09).

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
S1	13,52	30,09	34,12	<b>48,38</b>	<b>54,44</b>	<b>49,74</b>	39,91	31,90	25,73	3,73	2,02	5,15	339
S2	16,89	38,27	52,99	<b>73,38</b>	<b>57,45</b>	<b>75,42</b>	47,98	<b>54,41</b>	38,62	8,93	0,90	5,66	<b>471</b>
S3	18,67	28,71	48,85	<b>56,52</b>	<b>64,09</b>	<b>67,54</b>	53,89	<b>46,81</b>	34,74	6,29	1,56	3,25	<b>432</b>
S4	16,66	30,12	40,18	43,72	42,92	<b>46,52</b>	46,08	37,62	27,52	5,93	1,14	4,10	342
S5	10,52	24,80	36,40	40,37	36,70	42,25	38,24	25,05	18,47	3,69	1,03	2,11	280
S6	29,48	39,92	67,71	<b>64,26</b>	<b>71,24</b>	<b>61,26</b>	69,65	<b>60,37</b>	47,67	10,44	3,14	4,55	<b>531</b>
S7	15,46	30,42	37,12	37,46	35,77	36,75	34,50	37,54	25,00	4,27	2,30	3,84	336

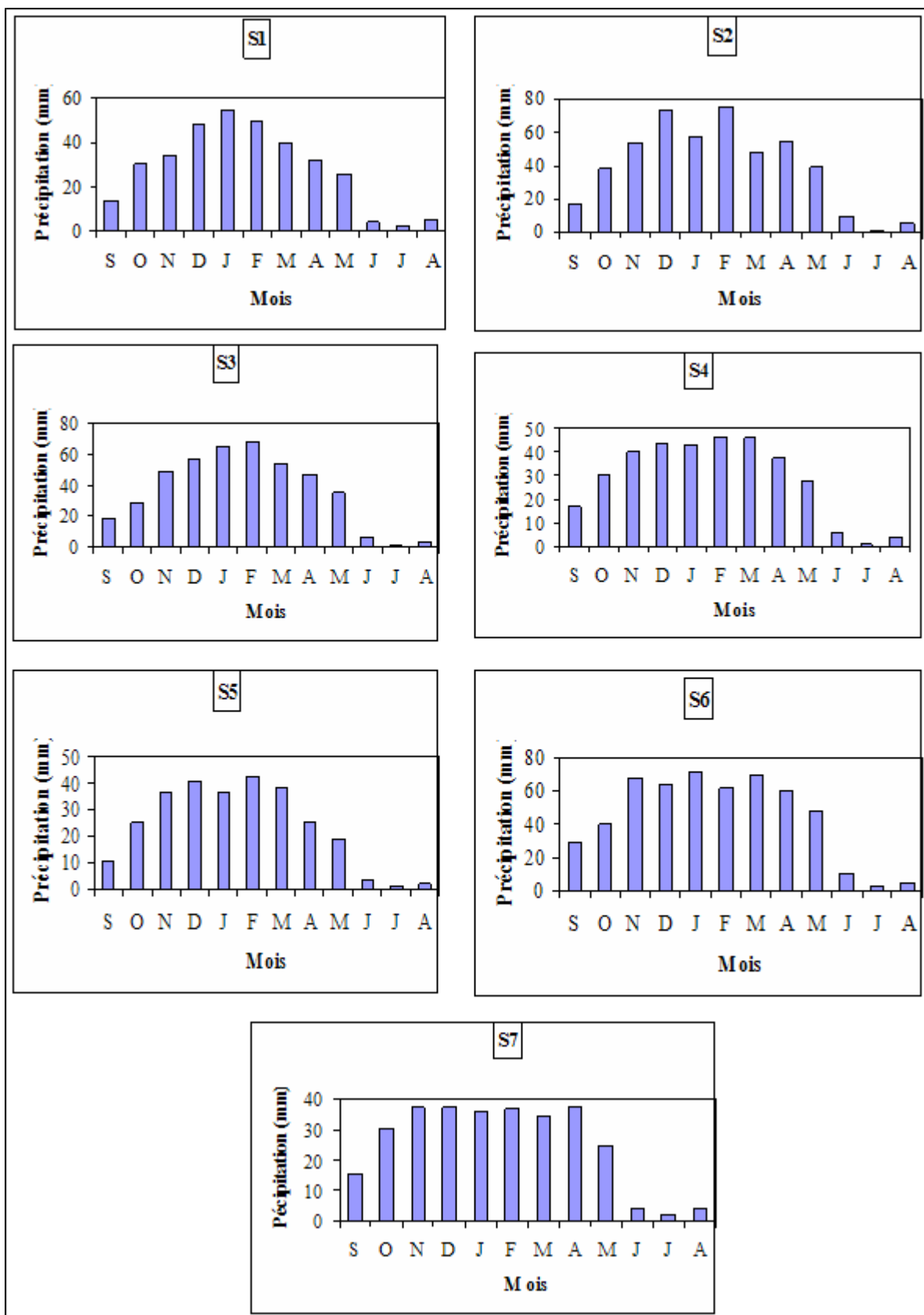


Figure (III-3): Variabilité des précipitations mensuelles dans le bassin versant de l'Oued Sly.

### **1.3.2. Régimes pluviaux saisonniers**

La méthode consiste à grouper les mois trois par trois de sorte que le mois initial de chaque trimestre ou saison, alors il en résulte quatre totaux pluviométrique saisonniers moyens ; ensuite on procède à un arrangement de ces quatre saisons par ordre décroissant de pluviosité ; les quatre initiales des saisons ainsi classées forment ce que l’on appelle «Indicatif saisonnier ». Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau (III-4).

Tableau (III-4) : Régime saisonnier du bassin versant de l’Oued Sly.

Année	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
1970	PHAE	PHAE	PHAE	PHAE	PHAE	HPAE	PHAE
1971	AHPE	APHE	HPAE	PHAE	HPAE	AHPE	PHAE
1972	HAPE	HAPE	HPAE	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE
1973	PHAE	PHAE	PHAE	PHAE	HPAE	PHAE	PHAE
1974	PAHE	APEH	PAHE	PAHE	PAHE	PAHE	PAHE
1975	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE	HAPE	HAPE	HPAE
1976	HAPE	AHPE	AHPE	AHPE	AHEP	HPAE	APHE
1977	HPAE	HPAE	PHAE	PHAE	PHAE	HPAE	PHAE
1978	HAPE	AHPE	HPAE	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE
1979	HAPE	PAHE	PAHE	AHPE	APHE	PAHE	AHPE
1980	HPEA	PHAE	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE
1981	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE	PHAE	HPAE
1982	AHPE	APEH	AHPE	AHPE	HAPE	AHPE	AHPE
1983	HPAE	PHAE	HPAE	HPAE	PHAE	PHAE	HPAE
1984	HAPE	HPAE	HPAE	PAHE	PHAE	PHAE	APHE
1985	HPAE	HPAE	HAPE	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE
1986	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE	HPAE	HAEP
1987	APHE	PAHE	APHE	PAHE	APHE	HAPE	APHE
1988	PHAE	PHAE	PHAE	PHEA	HPAE	HPEA	PHAE
1989	HPAE	HAPE	PAHE	PHAE	PAHE	HPAE	PAHE
1990	HPAE	PHAE	HPAE	PHAE	PHAE	HPAE	PHAE
1991	PAHE	HPAE	HPAE	PAHE	APHE	APHE	PAHE
1992	PHEA	PHAE	PHAE	PHAE	PAHE	PAHE	PHAE
1993	HPAE	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE
1994	AHPE	HPAE	HAPE	AHPE	HAPE	APHE	AHPE
1995	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE	PHAE	PHAE
1996	HPEA	HPAE	PHAE	PHAE	PHAE	HAPE	PHAE
1997	PHAE	APHE	PAHE	APHE	APHE	PAHE	APHE
1998	HPAE	HAPE	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE
1999	AHPE	PAHE	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE
2000	HAPE	HAPE	AHPE	AHPE	AHEP	PAHE	APHE
2001	PAHE	PAHE	APHE	APHE	APHE	PAHE	APHE
2002	HAPE	HAPE	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE
2003	HAPE	HAPE	HPAE	HPAE	HPAE	AHPE	HPAE
2004	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE
2005	HAPE	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE	HPAE
2006	HPAE	PHAE	HPAE	PHAE	HPAE	PHAE	HPAE
2007	PAHE	APHE	APHE	APHE	PAHE	APHE	APHE
2008	HPAE	PAHE	AHPE	HPAE	HPAE	AHPE	PAHE
2009	HPAE	HAPE	HPAE	HAPE	HPAE	HPAE	HAPE

Le régime saisonnier le plus dominant dans la région avec plus de 25% est de type HPAE (tableau (III-5)).

Tableau (III-5) : Pourcentage du régime saisonnier dans le bassin versant de l’Oued Sly.

Station	AHEP	AHPE	APEH	APHE	HAEP	HAPE	HPAE	HPEA	PAHE	PHAE	PHEA	Somme
S1	/	10	/	2,5	/	<u>27,5</u>	<u>32,5</u>	5	10	10	2,5	100
S2	/	5	5	7,5	/	<u>25</u>	<u>25</u>	/	12,5	20	/	100
S3	/	10	/	7,5	/	15	<u>42,5</u>	/	10	15	/	100
S4	/	12,5	/	7,5	/	17,5	<u>27,5</u>	/	10	22,5	2,5	100
S5	5	/	/	12,5	/	22,5	<u>35</u>	/	10	15	/	100
S6	/	10	/	7,5	/	20	<u>30</u>	2,5	15	15	/	100
S7	/	7,5	/	17,5	2,5	15	<u>25</u>	/	10	22,5	/	100

## 2. Analyse en Composantes Principales (ACP)

### 2.1. Principes

L’analyse en composantes principales (A.C.P) est une technique d’analyse des données particulièrement bien adaptée à l’étude des régimes pluviométriques.

C’est une méthode de réduction du nombre de variables permettant des représentations géométriques des observations et des variables. Cette réduction ne sera possible que si les variables initiales ne sont pas indépendantes et ont des coefficients de corrélation non nuls.

L’A.C.P est une méthode factorielle (**Achour., 1997**) car la réduction du nombre des variables ne se fait pas par une simple sélection de certaines d’entre elles, mais par la construction de nouvelles variables fictives obtenues en combinant les variables initiales. C’est une méthode linéaire car il s’agit de combinaisons linéaires.

### 2.2. Application de l’ACP aux données du bassin versant de l’Oued Sly

Soit un ensemble de ( $n_v$ ) variables indicées ( $j$ ) et de ( $n_o$ ) observations indicées  $i$ , sur ces variables les données se présentent sous la forme d’une matrice  $[X]$  avec ( $n_o$ ) lignes et ( $n_v$ ) colonnes.

Nos données de départ se présentent sous la forme d’une matrice à  $N_{obs}$  ((**40**) lignes représentant les observations) et  $N_{var}$  ((**07**) colonnes représentant les variables (stations)). Malheureusement cette matrice comporte des “trous” correspondant aux lacunes d’observations. Le comblement de ces trous est indispensable avant le traitement statistique. Pour cette tâche, nous avons appliqué l’ACP par le logiciel **HYDROLAB** (version 98.2) qui a été développé par J.P. LABORDE et MOUHOUS N., Université de Nice, France, qui comprend une option dite (bouche trous).

### 2.3. Résultats de l'A.C.P

L'analyse en composantes principales effectuée sur des données pluviométrique des 07 stations de bases a donné les résultats du tableau (III-6).

Ces résultats montrent qu'une bonne part de la variance (59%) est expliquée par les deux seules premières composantes et qu'à partir de la troisième, la part expliquée devient très faible, moins de (10%).

Tableau (III-6) : Résultats de l'analyse en composantes principales.

	Valeurs propres	Variances expliquées (%)	Variances cumulées (%)
CP1	4,15	59,22	59,22
CP2	1,00	14,31	73,53
CP3	0,62	8,91	82,44
CP4	0,43	6,14	88,58
CP5	0,34	4,86	93,44
CP6	0,30	4,29	97,73
CP7	0,16	2,27	100

#### a) Première composante principale

La première composante est corrélée positivement avec toutes les variables (tableau (III-7)). Elle représente la répartition temporelle d'ensemble des précipitations annuelles.

Tableau (III-7) : Projection des variables actives.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
S1	0,73	0,52	-0,11	0,07	0,37	0,22	0,02
S2	0,60	0,71	0,10	0,05	-0,31	-0,15	-0,07
S3	0,72	-0,14	0,58	-0,30	-0,03	0,18	0,01
S4	0,90	-0,09	-0,16	-0,15	0,01	-0,23	0,29
S5	0,77	-0,30	0,27	0,40	0,16	-0,22	-0,09
S6	0,80	-0,28	-0,22	0,26	-0,27	0,30	0,04
S7	0,83	-0,20	-0,35	-0,29	0,04	-0,08	-0,25

#### b) Deuxième composante principale

La deuxième composante principale illustre clairement l'opposition Nord-Sud du bassin (figure (III-4)). Par contre, la troisième et la quatrième composante principale n'ont pas de structure spatiale nette. Dans la mesure où elle n'explique qu'une part très faible de la variance, et que son manque de structure spatiale est contradictoire avec le phénomène physique que représente les précipitations annuelles, par conséquent nous



avons considéré que seules les deux premières composantes avaient une signification climatique.

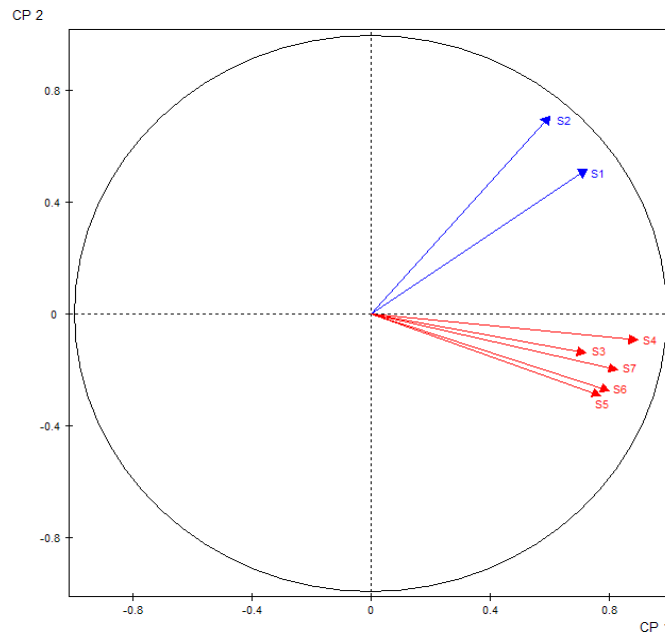


Figure (III-4) : Projection des variables sur le plan (1-2).

Toutefois, cette opposition ne revêt pas un critère déterminant dans le régime pluviométrique du bassin versant de l'Oued Sly. En effet, les stations corrélées de manière faiblement négative se situent dans la partie Nord du bassin, par contre, les stations positives se retrouvent dans la région Sud du bassin.

L'analyse de cercle de corrélation laisse apparaître une régionalisation à l'intérieur de la zone d'étude. Nous avons remarqué que les stations s'organisent en 02 groupes (figure (III-5)), le premier constitue de **S1 et S2**; le second, de **S3, S4, S5, S6 et S7**. L'A.C.P. révèle un découpage suivant la logique. Le premier groupe est représentatif de la partie sud du bassin avec une lame de précipitation moyenne (339 à 471mm). Le second groupe est situé dans la partie Nord, caractérisée par une pluviométrie relativement faible (280 à 432mm).

Afin, de voir l'évolution temporelle des précipitations par l'examen des projections des observations uniquement sur la première composante (**CP1**) (figure (III-5 et III-6)), nous utilisons la méthode de vecteur régional par le logiciel **SPAD**.

L'analyse globale du graphique des projections des observations sur la première composante principale met en évidence deux périodes excédentaires allant respectivement de 1970 -1980, puis une période déficitaire allant de 1980 jusqu'à présent mise à part de quelques années excédentaires (1995 et 2008).

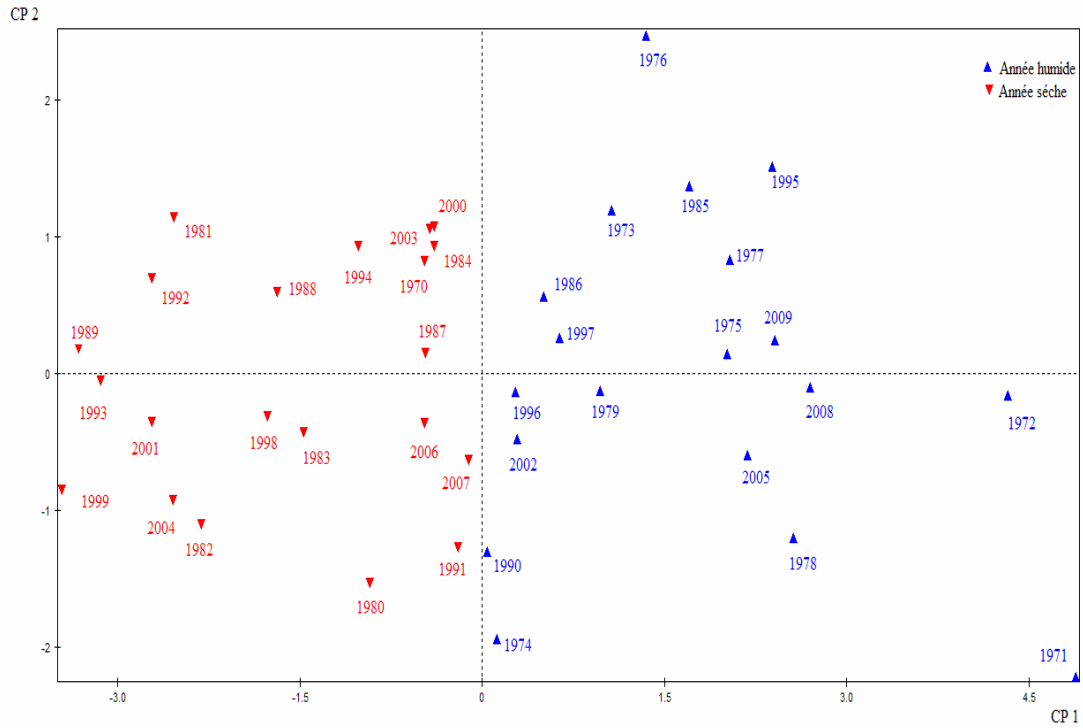


Figure (III-5) : Projections des observations actives sur le plan (1-2).

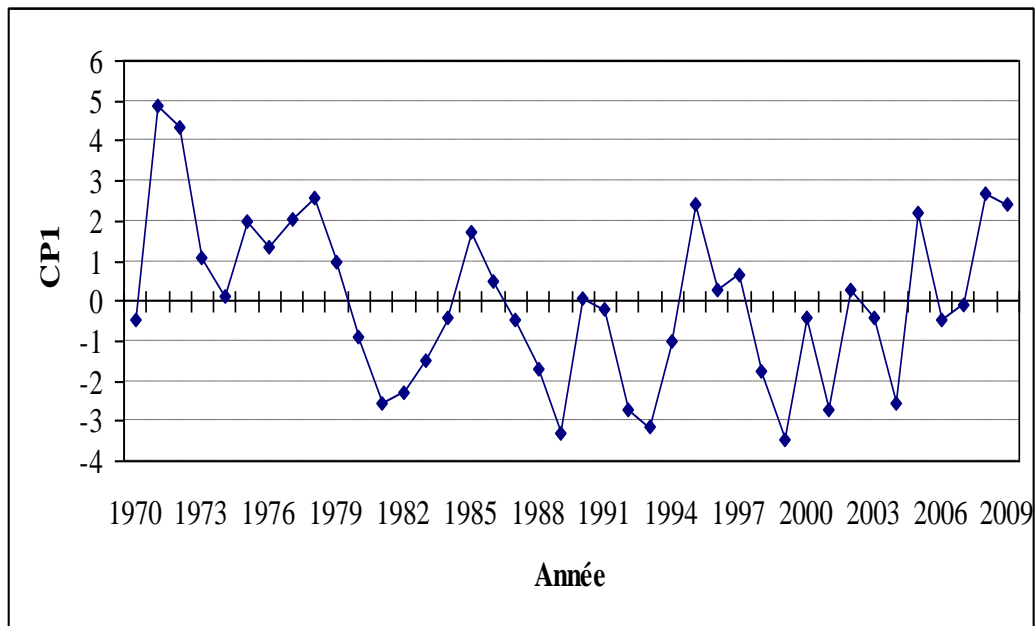


Figure (III-6) : Variabilité temporelle de [CP1].

### 3. Méthodes statistiques de détection des ruptures dans la série chronologique

Les analyses statistiques ont été menées avec le logiciel Khronostat de l'Institut de Recherche et de Développement (IRD).

Selon **H. LUBÈS et al. (1994)**, une "rupture" peut être définie de façon générale par un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un moment donné le plus souvent inconnu. Une telle rupture marque une modification du régime pluviométrique. Il existe plusieurs méthodes de détection des ruptures des séries chronologiques (test de **PETTIT**, statistique de **BUISHAND**, procédure bayésienne de **LEE** et **HEGHINIAN**, segmentation d'**HUBERT**).

Parmi les méthodes présentées précédemment, ont été retenus pour l'étude des séries chronologiques de pluies, les tests suivants pour leurs puissances et leurs robustesses.

- **Test de PETTIT (Pettitt, 1979)**

L'approche de **Pettitt (1979)** est non paramétrique et dérive du test de **Mann-Whitney**. L'absence de rupture dans la série  $(x_i)$  de taille  $N$  constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant  $t$  compris entre 1 et  $N$ , les séries chronologiques

$(x_i)$   $i = 1$  à  $t$  et  $t + 1$  à  $N$  appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable  $U_{t,N}$  définie par :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \quad \text{(III-1)}$$

Où  $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$  avec  $\text{sgn}(x) = 1$  si  $x > 0$ ; 0 si  $x = 0$  et -1 si  $x < 0$ . ( $x = x_i - x_j$ ).

Si l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant  $t$  définissant le maximum en valeur absolue de la variable  $U_{t,N}$ .

- **Procédure de segmentation (Hubert et al, 1989)**

Le principe de cette procédure (**Hubert et al., 1989**) est de « découper » la série en  $m$  segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s). Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne. La segmentation est définie de la façon suivante.

Toute série  $x_i$ ,  $i = i_1, i_2$  avec  $i_1 \geq 1$  et  $i_2 \leq N$  où  $(i_1 < i_2)$  constitue un segment de la série initiale des  $(x_i)$ ,  $i = 1 \dots N$ . Toute partition de la série initiale en  $m$  segments est une segmentation d'ordre  $m$  de cette série. À partir d'une segmentation particulière d'ordre  $m$  pratiquée sur la série initiale, on définit :

$$-i_k, k = 1, 2, \dots, m ;$$

$$-N_k = i_k - i_{k-1} .$$

$$x_k = \frac{\sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} x_i}{N_k} \quad \text{(III-2)}$$

$$D_m = \sum_{k=1}^{k=m} d_k \quad \text{(III-3)}$$

$$d_k = \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} (x_i - \bar{x}_t)^2 \quad \text{(III-4)}$$

La segmentation retenue doit être telle que pour un ordre  $m$  de segmentation donné, l'écart quadratique  $D_m$  soit minimum. Cette condition est nécessaire mais non suffisante pour la détermination de la segmentation optimale. Il faut lui adjoindre la contrainte selon laquelle les moyennes de deux segments contigus doivent être significativement différentes.

Cette contrainte est satisfaite par application du test de Scheffé (Dagnélie, 1970).

- **Méthode bayésienne (LEE et HEGHINIAN, 1977)**

La méthode bayésienne de (Lee et Heginian, 1977) propose une approche paramétrique. Elle nécessite une distribution normale des valeurs de la série. L'absence de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle. Le modèle de base de la procédure est le suivant :

$$X_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i=1, \dots, T \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i=T+1, \dots, N \end{cases} \quad \text{(III-5)}$$

Les  $\varepsilon_i$  sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2$  ;  $\tau$  et  $\delta$  représentent respectivement la position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne. La méthode établit la distribution de probabilité a posteriori de la position dans le temps d'un changement. Lorsque la distribution est unimodale, la date de la rupture est estimée par le mode avec d'autant plus de précision que la dispersion de la distribution est faible.

- **Statistique U de (BUISHAND, 1982-1984)**

La procédure de **(Buishand, 1982 ; 1984)** fait référence au même modèle et aux mêmes hypothèses que l'approche de **Lee et Heghinian**. En supposant une distribution a priori uniforme pour la position du point de rupture  $t$ , la statistique de **Buishand** est définie par :

$$U = \frac{\sum_{K=1}^{N-1} \left( \frac{S_K}{D_K} \right)}{N(N+1)} \quad \text{(III-6)}$$

$$S_K = \sum_{i=1}^K \left( x_i - \bar{x} \right) \quad \text{(III-7)}$$

Pour  $k = 1, \dots, N$ ,  $D_K$  désigne l'écart type de la série. En cas de rejet de l'hypothèse nulle, aucune estimation de la date de rupture n'est proposée par ce test. Outre cette procédure, la construction d'une ellipse de contrôle permet d'analyser l'homogénéité de la série de  $(x_i)$ . La variable  $S_K$ , définie ci-dessus, suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance  $[k(N-k)\sigma^2]/N$ ,  $k = 0, \dots, N$  sous l'hypothèse nulle d'homogénéité de la série des  $(x_i)$ . Il est donc possible de définir une région de confiance dite ellipse de contrôle associée à un seuil de confiance contenant la série des  $S_k$ .

### **3.1. Détection des ruptures dans les séries chronologiques étudiées.**

Pour déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique, nous avons utilisé les tests statistiques. L'application des tests de **Lee et Heghinian**, de **Pettitt** (Tableau (III-9)) a permis de détecter une seule rupture tandis que la segmentation de **Hubert** en a détectée deux ruptures dans les stations Ain loulou et Oued sly. Cette rupture montre que le bassin versant de l'oued Sly s'intègre bien dans la fluctuation générale du régime pluviométrique observée. Les résultats obtenus sur les 07 stations sont regroupés dans le tableau (III-8).

Tableau (III-8) : Résultats des tests de détection de rupture appliqués aux séries pluviométriques annuelles

Stations	Buishand	Pettitt	Lee et heghinian	Hubert				
	H <sub>0</sub>	Année de rupture	Année de rupture	Année de rupture	Avant 1 <sup>ière</sup>	Après 1 <sup>ière</sup>	Après 2 <sup>ième</sup>	%
S1	<b>Acceptée</b>	-	<b>1979</b>	(1970-2009)	397,49	319,16	-	<b>25</b>
S2	<b>Acceptée</b>	-	<b>1977</b>	(1970-1977)	619,275			<b>30</b>
				(1978-2009)		433,83		
S3	<b>Acceptée</b>	-	<b>2004</b>	(1970-1980)	488,827			<b>22</b>
				(1981-2004)		382,27		
				(2005-2009)			547,34	<b>43</b>
S4	<b>Rejetée</b>	<b>1978</b>	<b>1978</b>	(1970-1978)	451,667			<b>31</b>
				(1979-2009)		310,81		
S5	<b>Rejetée</b>	<b>1980</b>	<b>1980</b>	(1970-1986)	321,194			<b>35</b>
				(1987-2001)		210,36		
				(2002-2009)			321,19	<b>53</b>
S6	<b>Acceptée</b>	-	<b>1972</b>	(1970-1972)	731,133		-	<b>30</b>
				(1973-2009)		514,73		
S7	<b>Rejetée</b>	<b>1979</b>	<b>1978</b>	(1970-1971)	541,63			<b>40</b>
				(1972-2009)		325,13		

Il ressort que pour la quasi-totalité des stations, une rupture (diminution de la pluviométrie annuelle) dans les séries étudiées apparaît entre 1971 et 1986 avec un seuil de signification variable d’une station à une autre (Figure III-7). Seuls deux postes enregistrent une rupture située en dehors de ces dates (2001 pour la station de l’oued sly et 2004 pour celle d’ Ain Loulou). Ces résultats confirment l’apparition d’un déficit pluviométrique à partir de 1971, et la poursuite de celui-ci durant la décennie 86-90. Ce phénomène persiste encore actuellement et génère un grave problème d’ordre économique et social, compte tenu de la pression croissante qui s’exerce sur la ressource en eau (alimentation en eau potable, irrigation...), (Meddi et Humbert., 2000).

Les différences entre les moyennes établies avant et après rupture indiquent une diminution des précipitations. Elle est comprise entre 22 et 53 % pour les séries pluviométriques (Tableau (III-8)).

La réduction la plus importante – plus de 30 % – est enregistrée dans la partie Nord du bassin versant de l’oued sly, représentée par les stations de Sidi Yacoub, Oued sly et Ouled ben Abdlkader. Cette région du bassin est moins arrosée, selon leurs altitudes 272m, 95 m et 240m respectivement.

La station de Bordj Bou Nâama accuse une réduction de l'ordre de 30 %, (au Sud du bassin). Une légère réduction de l'ordre de 22 % est enregistrée dans la station d'Ain loulous, (au centre du bassin).

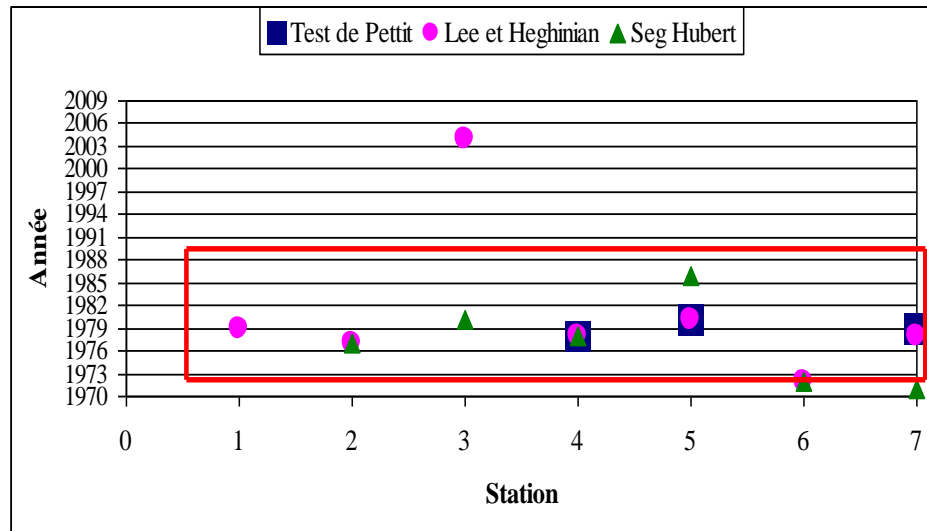


Figure (III-7) : Identification de la période des ruptures entre 1970 et 2009.

#### **4. Ajustement fréquentielle des précipitations à une loi théorique**

L'analyse de la variabilité des précipitations mérite d'être complétée par une étude fréquentielle, c'est à dire, l'estimation des valeurs limites ou dépassées pendant une période donnée.

L'estimation de la probabilité des périodes de retour, suppose une étude fréquentielle de la pluviométrie annuelle et mensuelle dans le bassin. Pour mieux cerner cette irrégularité des précipitations, qui a un rôle essentiel et décisif sur l'écoulement fluvial, et afin de caractériser le régime des précipitations annuelles et mensuelles, nous avons analysé et choisie une loi d'ajustement qui s'adapte au mieux à la distribution des pluies. Elle permet d'arriver à une estimation des paramètres d'ajustement pour la station étudiée.

L'analyse statistique est réalisée sur les précipitations à l'échelle mensuelle et annuelle et porte sur les données de la station Ouled Ben Abdelkader (012308). En général pour un climat semi aride, les précipitations à l'échelle annuelle ainsi qu'à l'échelle mensuelle ne suivent pas une loi normale, le plus souvent, on essaie d'ajuster les précipitations à une loi log –normale qui a la particularité d'être dissymétrique.

### **4.1. Echelle mensuelle**

Afin de mieux distinguer la variation des précipitations à l'échelle mensuelle, nous avons calculé les paramètres statistiques des précipitations de la station étudiée. Nous avons remarqué que les précipitations à l'échelle mensuelle s'ajustent bien à la loi Log-normale. Le tableau (III-9) montre l'ajustement des précipitations mensuelles du mois de septembre à la loi log-normale. Les tableaux des autres mois sont placés en (annexe I). La figure (III-9) illustre les graphes d'ajustement des précipitations mensuelles.

Tableau (III-9) : Ajustement des précipitations mensuelles du mois de septembre à la loi log-normale.

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
0.40	0.40	1	0.01	-2.20	0.40	0.55	0.21	1.05
9.51	0.46	2	0.04	-1.73	0.46	0.99	0.44	1.74
31.10	0.81	3	0.07	-1.48	0.81	1.36	0.66	2.30
6.39	1.15	4	0.10	-1.30	1.15	1.71	0.87	2.81
1.80	1.80	5	0.13	-1.15	1.80	2.06	1.09	3.32
2.50	2.00	6	0.15	-1.02	2.00	2.41	1.32	3.83
17.00	2.50	7	0.18	-0.91	2.50	2.77	1.55	4.35
13.00	4.34	8	0.21	-0.81	4.34	3.15	1.81	4.89
0.46	4.70	9	0.24	-0.72	4.70	3.54	2.07	5.46
5.50	5.50	10	0.26	-0.63	5.50	3.95	2.35	6.06
11.27	6.39	11	0.29	-0.55	6.39	4.38	2.65	6.70
0.81	6.60	12	0.32	-0.47	6.60	4.84	2.97	7.38
9.71	7.19	13	0.35	-0.39	7.19	5.32	3.31	8.11
8.00	8.00	14	0.38	-0.32	8.00	5.84	3.67	8.89
4.34	9.51	15	0.40	-0.25	9.51	6.39	4.05	9.74
16.80	9.71	16	0.43	-0.17	9.71	6.99	4.47	10.67
4.70	11.27	17	0.46	-0.10	11.27	7.63	4.91	11.69
11.50	11.30	18	0.49	-0.03	11.30	8.33	5.39	12.80
15.80	11.50	19	0.51	0.03	11.50	9.09	5.91	14.03
7.19	12.20	20	0.54	0.10	12.20	9.91	6.47	15.40
78.60	13.00	21	0.57	0.17	13.00	10.82	7.09	16.94
31.50	15.80	22	0.60	0.25	15.80	11.83	7.76	18.67
22.09	16.70	23	0.63	0.32	16.70	12.96	8.51	20.64
1.15	16.80	24	0.65	0.39	16.80	14.22	9.33	22.89
19.20	17.00	25	0.68	0.47	17.00	15.65	10.26	25.50
16.70	18.30	26	0.71	0.55	18.30	17.28	11.30	28.55
32.90	19.20	27	0.74	0.63	19.20	19.17	12.49	32.17
12.20	19.80	28	0.76	0.72	19.80	21.39	13.86	36.54
2.00	21.80	29	0.79	0.81	21.80	24.04	15.47	41.91
11.30	22.09	30	0.82	0.91	22.09	27.29	17.40	48.69
6.60	30.20	31	0.85	1.02	30.20	31.38	19.78	57.51
18.30	31.10	32	0.88	1.15	31.10	36.73	22.82	69.54
21.80	31.50	33	0.90	1.30	31.50	44.17	26.93	87.02
19.80	32.90	34	0.93	1.48	32.90	55.51	32.96	115.19
30.20	38.80	35	0.96	1.73	38.80	76.08	43.41	170.27
38.80	78.60	36	0.99	2.20	78.60	136.84	71.86	355.53



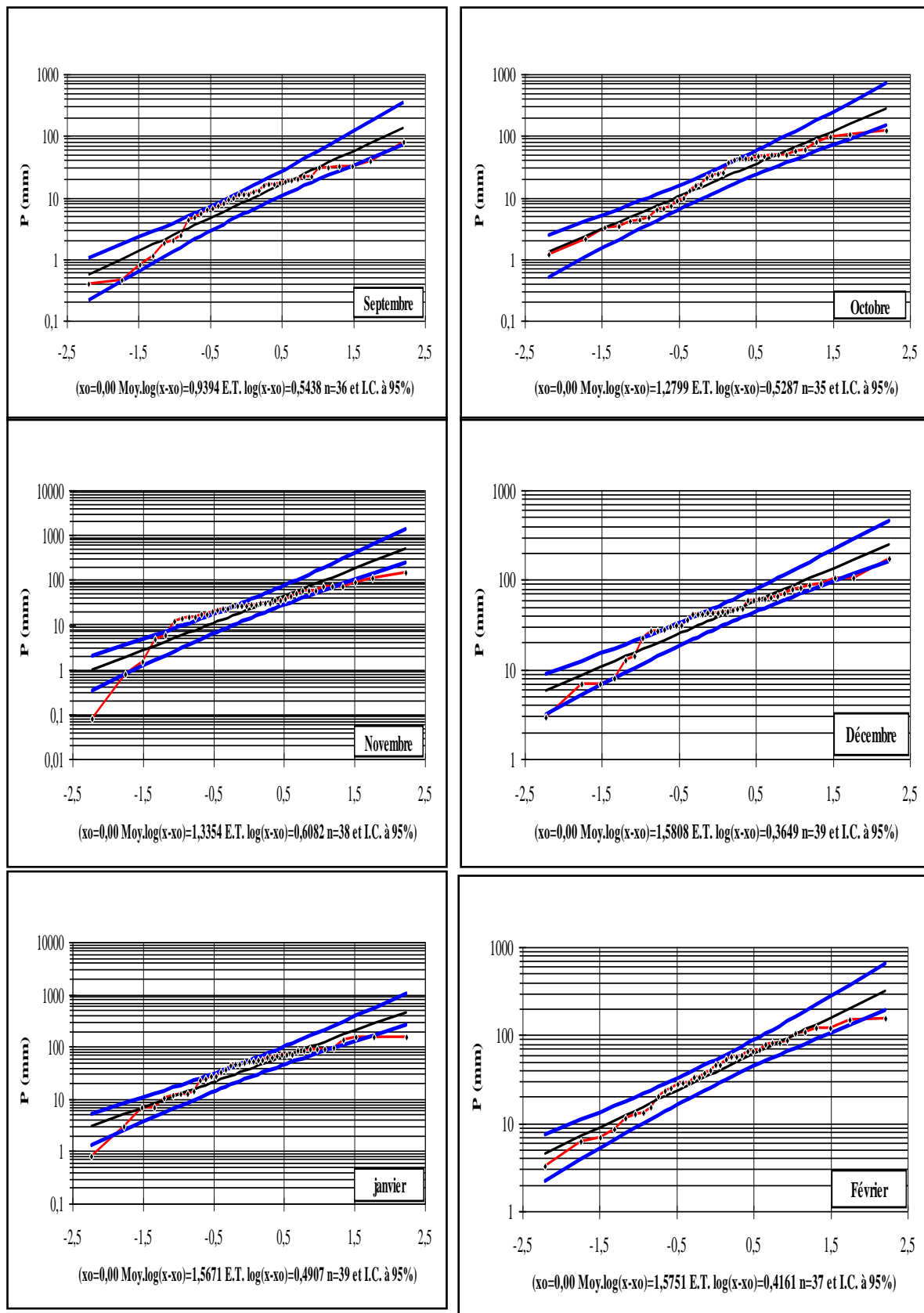


Figure (III-8a) : Ajustement des précipitations mensuelles de la station (012308) à la loi log-normale.

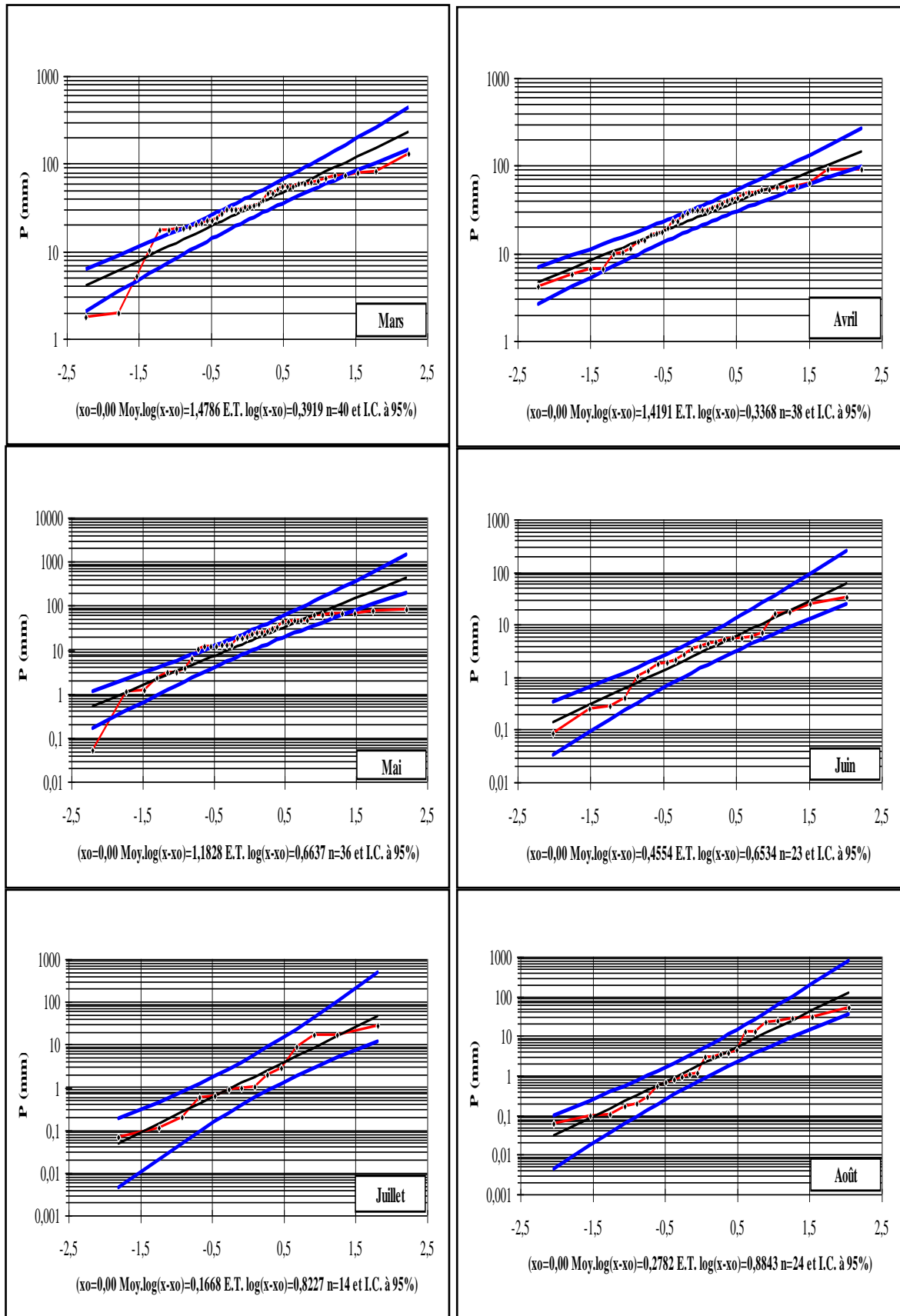


Figure (III-8b) : Ajustement des précipitations mensuelles de la station (012308) à la loi log-normale.

Le tableau (III-10) donne les équations de la droite de Galton pour chaque mois.

Tableau (III-10): Équations d'ajustement mensuel à la loi Log - Normale, à l'échelle mensuelle.

Mois	Équations de la droite de Galton
Septembre	$\text{Log } X_{p\%} = 0,94 + 0,54 U_{p\%}$
Octobre	$\text{Log } X_{p\%} = 1,28 + 0,53 U_{p\%}$
Novembre	$\text{Log } X_{p\%} = 1,34 + 0,61 U_{p\%}$
Décembre	$\text{Log } X_{p\%} = 1,58 + 0,36 U_{p\%}$
Janvier	$\text{Log } X_{p\%} = 1,57 + 0,49 U_{p\%}$
Février	$\text{Log } X_{p\%} = 1,58 + 0,42 U_{p\%}$
Mars	$\text{Log } X_{p\%} = 1,48 + 0,39 U_{p\%}$
Avril	$\text{Log } X_{p\%} = 1,42 + 0,34 U_{p\%}$
Mai	$\text{Log } X_{p\%} = 1,18 + 0,66 U_{p\%}$
Juin	$\text{Log } X_{p\%} = 0,46 + 0,65 U_{p\%}$
Juillet	$\text{Log } X_{p\%} = 0,17 + 0,82 U_{p\%}$
Août	$\text{Log } X_{p\%} = 0,28 + 0,88 U_{p\%}$

Le tableau (III-11) donne les précipitations mensuelles pour différentes périodes de retour de la station (012308).

Tableau (III-11) : Précipitations mensuelles pour différentes périodes de retour.

T(ans)	1-F	P(mm)											
		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
2	0,5	8,7	19	21,6	38,1	36,9	37,6	30,1	26,2	15,2	2,9	1,5	1,9
5	0,8	24,9	53,1	70,3	77,2	95,5	84,2	64,3	50,4	55,1	10,1	7,2	10,5
10	0,9	43,3	90,7	130,3	111,8	157,1	128,3	95,7	70,9	108	19,6	16,6	25,8
20	0,95	68,2	141,1	216,8	151,7	236,8	181,8	132,9	94	188,3	33,9	33,1	54,1
50	0,98	143,9	232,2	384,3	214	376	269	192,2	129,2	351,7	62,7	71,9	124,4

## 4.2. Echelle annuelle

A l'échelle annuelle, nous avons procédé aux mêmes démarches, nous avons remarqué que les précipitations annuelles suivent aussi la loi log normale. Le tableau (III-12) donne l'ajustement des précipitations annuelles de la station (S4) à la loi log normale.

L'équation de la droite de Galton est de type :  $\text{Log } X_{p\%} = 2,52 + 0,13U_{p\%}$

Les précipitations pour différentes périodes de retours sont mentionnées dans le tableau (III-13).

Tableau (III-12) : Ajustement des précipitations annuelles de la station (S4) à la loi log normale.

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de Classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
284,35	177,60	1	0,01	-2,24	177,60	176,22	143,98	202,48
612,40	221,10	2	0,04	-1,78	221,10	200,44	168,87	226,26
500,24	224,20	3	0,06	-1,53	224,20	214,72	183,74	240,31
372,60	231,10	4	0,09	-1,36	231,10	225,67	195,17	251,13
407,00	238,00	5	0,11	-1,21	238,00	234,87	204,81	260,28
507,20	240,90	6	0,14	-1,09	240,90	243,00	213,31	268,42
499,50	243,00	7	0,16	-0,98	243,00	250,40	221,05	275,89
381,50	247,70	8	0,19	-0,89	247,70	257,29	228,23	282,89
500,20	255,30	9	0,21	-0,80	255,30	263,80	234,99	289,56
310,80	259,00	10	0,24	-0,71	259,00	270,03	241,42	296,00
316,20	268,10	11	0,26	-0,64	268,10	276,03	247,61	302,26
177,60	281,60	12	0,29	-0,56	281,60	281,88	253,59	308,40
247,70	284,35	13	0,31	-0,49	284,35	287,60	259,42	314,48
240,90	284,70	14	0,34	-0,42	284,70	293,24	265,13	320,52
238,00	300,40	15	0,36	-0,35	300,40	298,82	270,74	326,56
355,20	308,30	16	0,39	-0,29	308,30	304,38	276,29	332,63
364,20	310,80	17	0,41	-0,22	310,80	309,93	281,79	338,76
243,00	316,20	18	0,44	-0,16	316,20	315,49	287,27	344,97
284,70	316,50	19	0,46	-0,09	316,50	321,10	292,74	351,28
221,10	317,89	20	0,49	-0,03	317,89	326,77	298,22	357,74
337,40	324,20	21	0,51	0,03	324,20	332,53	303,74	364,36
308,30	328,20	22	0,54	0,09	328,20	338,40	309,33	371,19
268,10	337,40	23	0,56	0,16	337,40	344,42	314,99	378,26
224,20	339,40	24	0,59	0,22	339,40	350,60	320,76	385,61
324,20	355,20	25	0,61	0,29	355,20	357,00	326,67	393,29
431,00	362,80	26	0,64	0,35	362,80	363,63	332,74	401,34
418,00	364,20	27	0,66	0,42	364,20	370,55	339,01	409,84
362,80	372,60	28	0,69	0,49	372,60	377,82	345,53	418,86
281,60	381,50	29	0,71	0,56	381,50	385,49	352,33	428,48
231,10	407,00	30	0,74	0,64	407,00	393,65	359,50	438,84
339,40	418,00	31	0,76	0,71	418,00	402,41	367,10	450,08
255,30	431,00	32	0,79	0,80	431,00	411,91	375,26	462,41
316,50	442,00	33	0,81	0,89	442,00	422,33	384,11	476,11
300,40	445,00	34	0,84	0,98	445,00	433,95	393,85	491,57
259,00	445,30	35	0,86	1,09	445,30	447,17	404,82	509,40
445,00	499,50	36	0,89	1,21	499,50	462,65	417,48	530,56
317,89	500,20	37	0,91	1,36	500,20	481,51	432,69	556,74
328,20	500,24	38	0,94	1,53	500,24	506,05	452,17	591,39
445,30	507,20	39	0,96	1,78	507,20	542,11	480,25	643,44
442,00	612,40	40	0,99	2,24	612,40	616,61	536,66	754,70

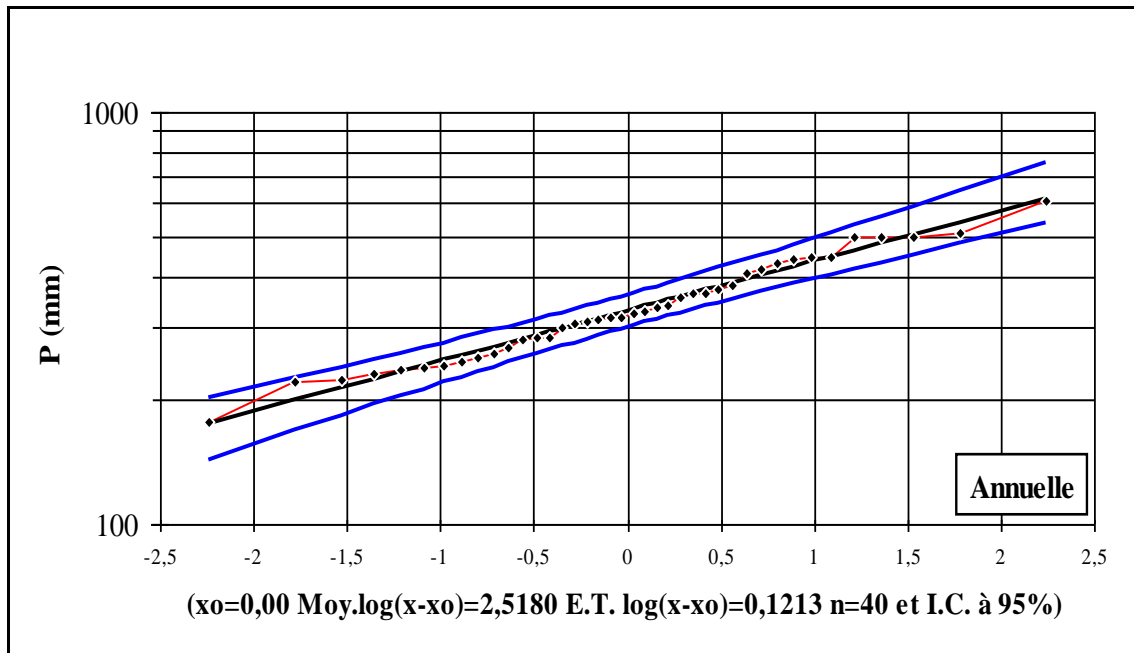


Figure (III-9) : Ajustement des précipitations annuelles de la station (S4) à la loi log normale.

Tableau (III-13) : Précipitations annuelles pour différentes périodes de retour.

Fréquence F (%)	Période de retour T (ans)	Précipitation annuelle (mm)
50	2	329,64
80	5	416,99
90	10	471,56
95	20	521,95
98	50	585,12

## CHAPITRE IV

### Caractérisation de la sécheresse météorologique dans le bassin versant

#### Introduction

À l'origine, un indice climatique est une combinaison d'au moins deux variables décrivant l'état de l'atmosphère pour caractériser le climat d'un lieu (**Beltrando., 1995**). Les variables les plus utilisées sont les précipitations, la température, la pression atmosphérique et l'évapotranspiration. Progressivement, les indices ont incorporé des informations de plus en plus nombreuses et complexes, résultant de traitements antérieurs et provenant même parfois de disciplines connexes. Aujourd'hui, les indices climatiques sont utilisés dans de multiples domaines différents, dont la sécheresse.

On peut distinguer trois types d'indices principaux : (a) les indices d'aridité qui sont les plus anciens et dont la finalité est de classer les différents climats du monde selon des classes d'aridité, (b) les indices agroclimatiques qui mesurent le potentiel climatique d'un lieu donné afin de maximiser les rendements agricoles, et (c) tous les autres indices que l'on pourrait qualifier de thématiques. Cette troisième catégorie englobe les indices les plus récents, notamment les indices de changements climatiques, de sécheresse et autres événements extrêmes.

Dans la littérature, la distinction est souvent faite selon le point de vue envisagé. Si seul le déficit de précipitations est considéré, on parle de sécheresse météorologique. Il serait plus rigoureux de qualifier ce type de sécheresse de climatique puisque résultant de la persistance de conditions météorologiques sèches, à l'échelle du mois ou de l'année. Cependant, cette dénomination étant peu répandue dans la littérature, seul le terme sécheresse météorologique est utilisé dans la suite de nos analyses.

#### **1. Evaluation de la sécheresse météorologique par l'indice standardisé de précipitation (SPI)**

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 rend 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 (**Guttman., 1998**), si non une durée requise minimale de 30 ans (**McKee et al., 1993**). SPI a été mis au point par l'université du Colorado au début des années 90.

Hayes et ses collaborateurs (1999) ont répertorié un certain nombre d'avantages en faveur de l'utilisation SPI, qui sont :

- sa grande simplicité. En effet, il n'est basé que sur les précipitations, les calculs sont rapides et intuitifs ;

- le SPI est versatile : on peut aisément adapter l'échelle temporelle en fonction du type d'évaluation ;

- les résultats sont cohérents dans l'espace en raison des caractéristiques de la loi normale sur laquelle il est basé. Ainsi, une sécheresse extrême à la même probabilité d'occurrence sous nos latitudes que dans les régions arides ou semi-arides ;

- il est efficace tant l'hiver que l'été, et n'est pas affecté par l'effet de la topographie puisqu'il ne prend pas en compte l'eau dans le sol.

Le SPI possède également quelques inconvénients. Le choix de la distribution utilisée pour modéliser les données est fondamental. À cet effet, la distribution gamma est globalement acceptée car elle s'ajuste généralement bien aux données de précipitations. Cela n'est cependant pas toujours le cas au niveau des régions arides et semi-arides. Un autre point délicat concerne la calibration. En effet, il faut disposer d'une série suffisamment longue et de qualité pour réaliser l'ajustement de la distribution et calibrer ainsi le SPI

La distribution des valeurs calculées de SPI durant la période d'observation (SPI annuel), est classée selon la méthode proposée par (**McKee et al., 1993**) (Tableau (IV-1)), pour sept stations représentatives des diverses altitude dans le bassin versant de l'oued Sly, sont représentée dans les tableaux (IV-2), (IV-3) et (IV-4).

Tableau (IV-1) : L'interprétation du SPI par rapport à leur valeur et leur probabilité selon (**McKee et al., 1993**).

Classes	Valeurs du SPI	Probabilité (%)
Extrêmement humide	>2	2,3
Sévèrement humide	1.5 a 1.99	4,4
Modérément humide	1 a 1.49	9,2
Proche de la normale	-0.99 a 0.99	34,1
Modérément sèche	-1.49 a -1	9,2
Sévèrement sèche	-1.99 a -1.5	4,4
Extrêmement sèche	<-2	2,3

A partir de la figure (IV- 1) et les tableaux des durée des périodes humide, normale et sèches (IV-2), (IV-3), (IV-4), on peut distinguer deux classes de stations, où elle est bien indiqué pour toutes les mois de la période étudiée,( Figure (IV- 2)) :

a) stations moyennement sèches par rapport à la normale qui sont les stations de Bordj bou Nâama, Ouled Ben AEK et Sâadia (17,5%).

b) stations moyennement humides par rapport à la normale qui est la station de Bordj bou Nâama (17,5%), En revanche les autres stations, ne présentent aucune tendance dominante (ni humide ni sèche)

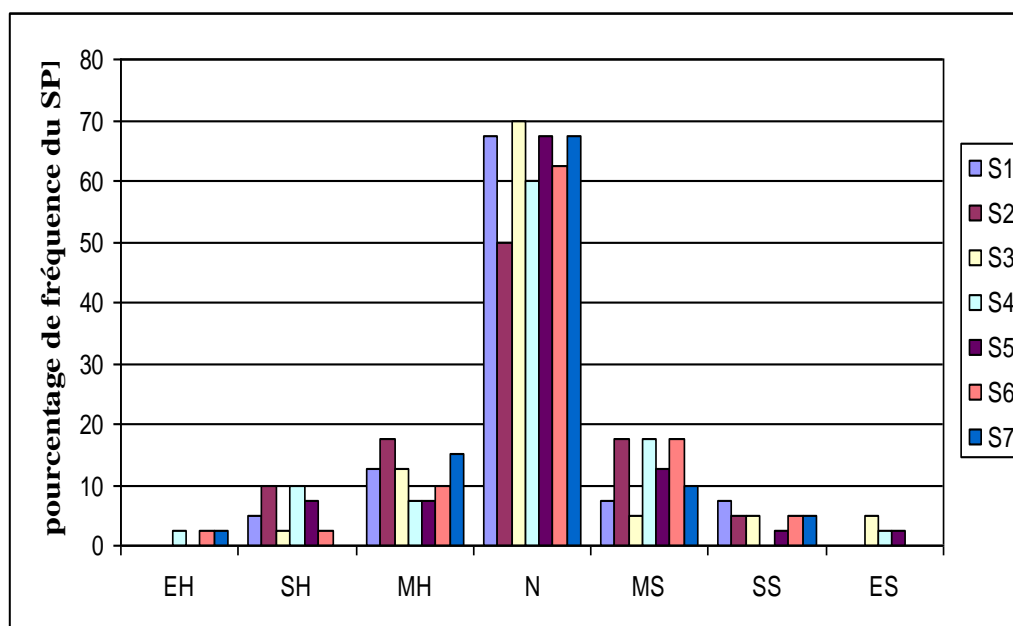


Figure (IV-1): Fréquence des valeurs du SPI (%) pour les sept stations.

Tableau (IV- 2) : Durée des périodes humides dans les différentes stations (1970 -2009).

Stations	Nombre d'année (EH)	Fréquence (%)	Nombre d'année (SH)	Fréquence (%)	Nombre d'année (MH)	Fréquence (%)
Souk el haad	0	0	2	5	5	12,5
Bordj bou nâama	0	0	4	10	7	17,5
Ain Loulou	0	0	1	2,5	5	12,5
Ouled ben AEK	1	2,5	4	10	3	7,5
Oued Sly	0	0	3	7,5	3	7,5
Sâadia	1	2,5	1	2,5	4	10
Sidi Yacoub BGE	1	2,5	0	0	6	15
Moyenne	1	1	2	5	4	12



Tableau (IV- 3): Durée des périodes normale dans les différentes stations (1970 -2009).

Stations	Nombre d'année (N)	Fréquence (%)
Souk el haad	27	67,5
Bordj bou nâama	20	50
Ain Loulou	28	70
Ouled ben AEK	24	60
Oued Sly	27	67,5
Sâadia	25	62,5
Sidi Yacoub BGE	27	67,5
moyenne	25	64

Tableau (IV- 4): Durée des périodes sèches dans les différentes stations (1970 -2009).

Stations	Nombre d'année (MS)	Fréquence (%)	Nombre d'année (SS)	Fréquence (%)	Nombre d'année (ES)	Fréquence (%)
Souk el haad	3	7,5	3	7,5	0	0
Bordj bou nâama	7	17,5	2	5	0	0
Ain Loulou	2	5	2	5	2	5
Ouled ben AEK	7	17,5	0	0	1	2,5
Oued Sly	5	12,5	1	2,5	1	2,5
Sâadia	7	17,5	2	5	0	0
Sidi Yacoub BGE	4	10	2	5	0	0
Moyenne	5	12	2	4	1	2

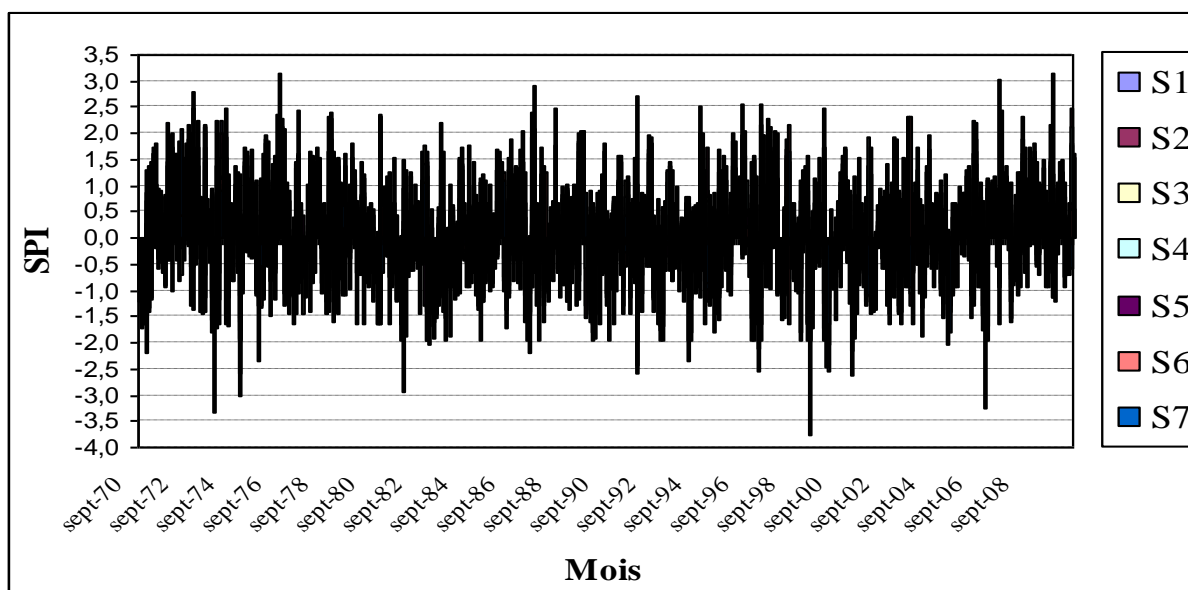


Figure (IV-2): Évolution de l'intensité de la sécheresse mensuelle (SPI) dans les sept stations.

La caractérisation de la sécheresse météorologique par l'indice SPI-annuel (Tableau **(IV-5)**) permet d'apparaître ; des périodes à tendance moyennement sèche, dont l'extension a été à peu près généralisée à l'échelle du bassin versant qui sont : 1981, 1989, 1992, 1993, 1999 et 2004.

Des périodes à tendance humide affectent la majorité des stations; qui sont : 1971, 1972, 1976, 1978, 1985 et 2009.

Des périodes sévèrement sèches sont observées dans le bassin versant de l'Oued Sly. Trois à la station de Souk El Haad durant les années (1974,1999 et 2004); deux à la station de Bordj bou nâama (1982 et 1999); deux à la station de Ain Loulou (1989 et 1993); une à la station de l'oued Sly (1989); deux à la station de Sâadia (1981 et 1989); et deux à la station de Sidi yacoub BGE (1981 et 2004).

La station de l'Ouled Ben AEK ne présente aucune période sévèrement sèche.

Tableau (IV- 5) : Caractérisation de la sécheresse par l'indice (SPI) des différentes stations pluviométriques.

Année	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
1970	N	MH	N	N	N	N	N
1971	N	N	MH	EH	SH	SH	EH
1972	SH	MH	N	SH	SH	EH	MH
1973	N	SH	MH	N	MH	N	N
1974	SS	N	N	N	N	MH	N
1975	N	MH	N	SH	N	N	N
1976	MH	SH	N	SH	ES	N	MH
1977	N	MH	N	N	N	N	MH
1978	MH	MS	N	SH	SH	N	MH
1979	N	N	N	N	N	N	N
1980	MS	MS	N	N	N	N	N
1981	N	N	N	ES	MS	SS	SS
1982	MS	SS	N	MS	N	N	N
1983	N	N	N	MS	N	MS	N
1984	MH	N	N	MS	N	N	N
1985	MH	SH	MS	N	N	MH	MH
1986	N	N	N	N	N	MS	N
1987	N	N	N	MS	N	N	N
1988	N	N	N	N	MS	MS	N
1989	N	MS	SS	MS	SS	SS	N
1990	N	MS	N	N	N	N	MH
1991	N	MS	MH	N	N	N	N
1992	N	N	ES	N	MS	MS	MS
1993	MS	N	SS	MS	MS	MS	MS
1994	N	N	N	N	N	N	MS
1995	SH	SH	N	N	N	MH	N
1996	N	N	N	N	MS	N	N
1997	N	MH	N	N	N	N	N
1998	N	MH	N	N	N	N	N
1999	SS	SS	ES	MS	N	MS	N
2000	N	N	N	N	N	N	N
2001	N	MS	N	N	N	MS	MS
2002	N	N	N	N	N	N	N
2003	N	MH	N	N	N	N	N
2004	SS	MS	MS	N	N	N	SS
2005	N	N	SH	MH	N	MH	N
2006	N	N	N	N	N	N	N
2007	N	N	N	N	N	N	N
2008	N	N	MH	MH	MH	N	N
2009	MH	N	MH	MH	MH	N	N

L'indice SPI montre que la durée maximale sépare les deux sécheresses généralisées enregistrées en 1989 et 1999 est de 10 ans et une durée minimale de quatre (04) ans (Tableau (IV-5)). On peut dire que la sécheresse n'est pas un phénomène homogène. Ce qui explique leur hétérogénéité dans le temps et l'espace.

En suivant l'évolution de l'indice SPI durant la période étudiée, nous avons pu estimer qu'en terme de fréquence cette méthode indique un pourcentage moyen de 18 % d'années sèches dont 12 % représente une sécheresse modérément sèche, contre 18 % d'années humides et 64 % d'années normales (Tableau (IV-6)).

Tableau (IV-6) : Fréquence (%) de l'indice de sécheresse (SPI) à l'échelle du bassin de l'oued Sly.

SPI	EH (> +2)	SH (1,5 à1, 99)	MH (1à1, 49)	N (-0,99 à +0,99)	ME (-1,49à1)	SS (-1,99à -1,5)	ES < -2
Souk EL Haad	0	5	12,5	67,5	7,5	7,5	0
Bordj Bou	0	10	17,5	50	17,5	5	0
Ain Loulou	0	2,5	12,5	70	5	5	5
Ouled Ben Abd k	2,5	10	7,5	60	17,5	0	2,5
Oued Sly	0	7,5	7,5	67,5	12,5	2,5	2,5
Saadia	2,5	2,5	10	62,5	17,5	5	0
Sidi Yakoub	2,5	0	15	67,5	10	5	0
moyenne	1	5	12	64	12	4	2

## **2. Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuelle) à partir des précipitations recueillies dans les sept stations météorologiques**

Ces figures ci-dessous (Figure (III-3,...9)), établie à partir des données recueillies durant 40 ans, montre une distribution dont les valeurs maximales sont situées dans la partie centrale. Elle indique une certaine régularité des précipitations annuelles de part et d'autre de la normale (proche de la normale). Mais, les conditions de sécheresse apparaissent moins de sévérités, voire modérément et sévèrement sèche (supérieur a (-2)). Même elles sont présentées des extrêmes humides.

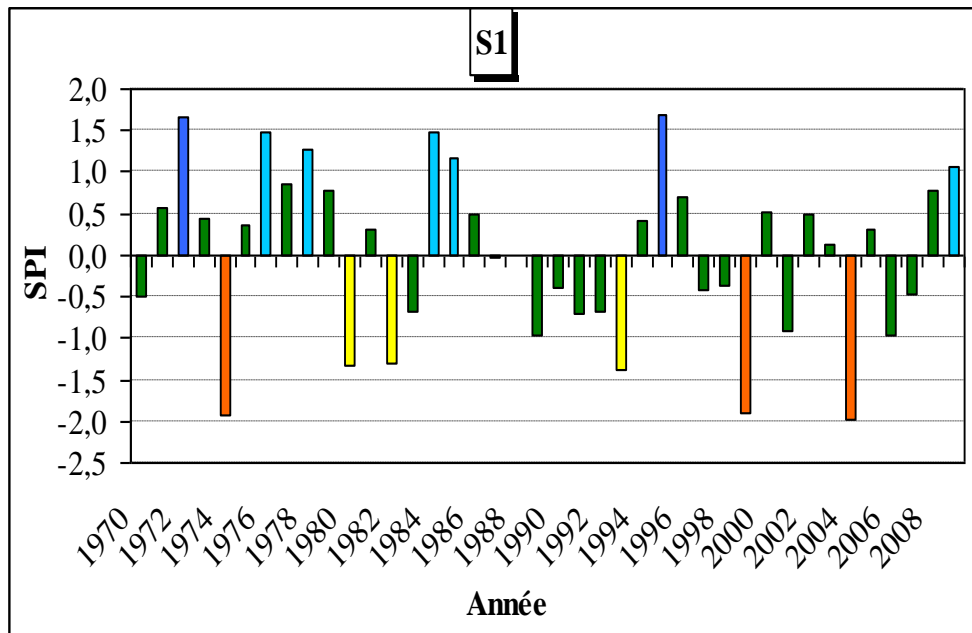


Figure (IV-3): Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuelle) dans la station de (Souk El Haad).

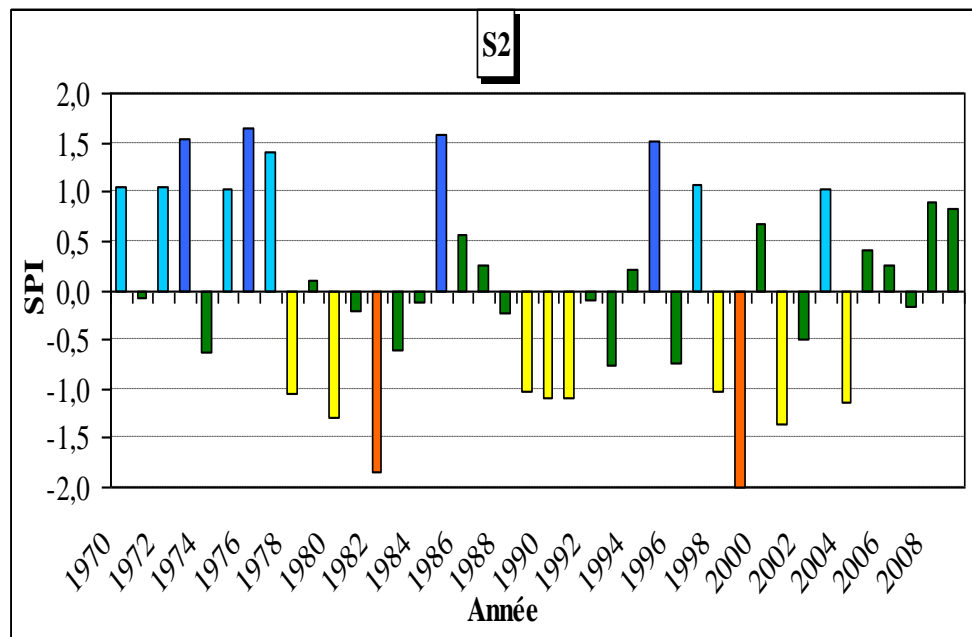


Figure (IV-4): Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuelle) dans la station de (Bordj Bou Nâama).

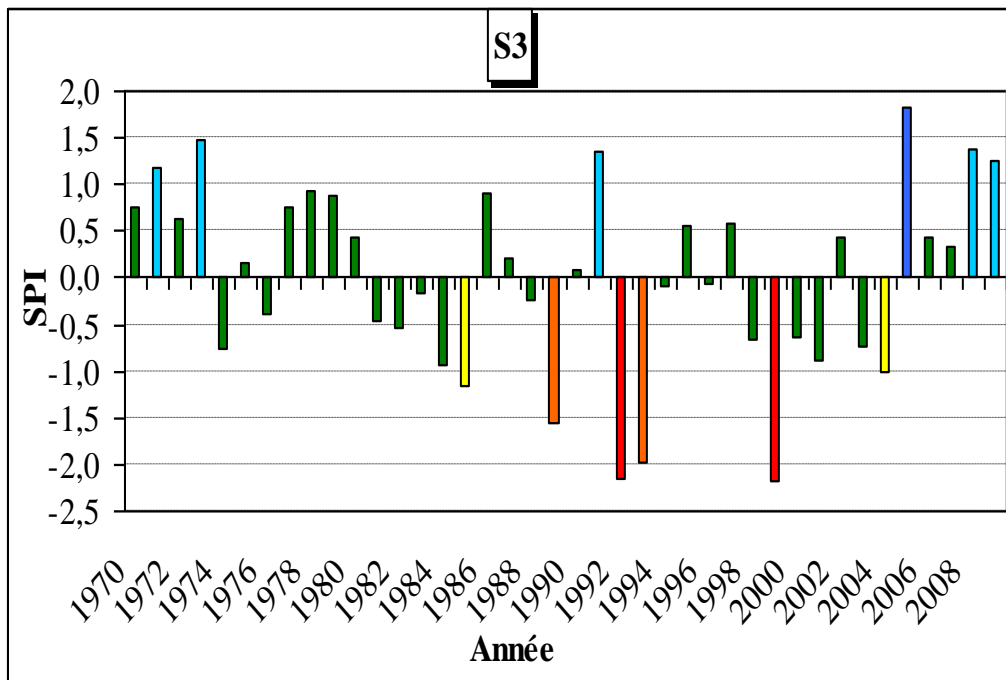


Figure (IV-5): Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuelle) dans la station de (Ain Loulou).

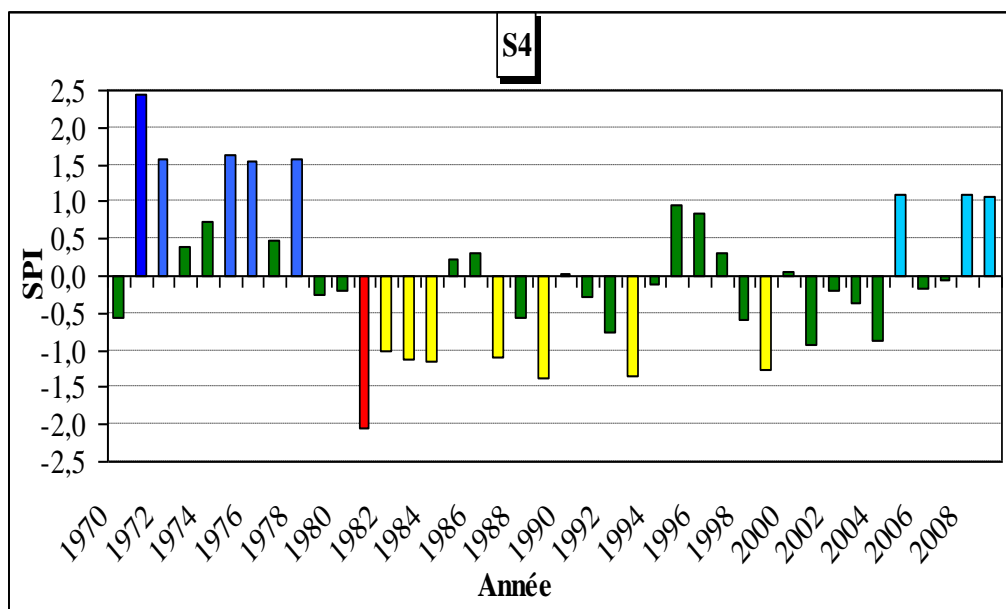


Figure (IV-6): Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuel) dans la station de (Ouled Ben Abdelkader).

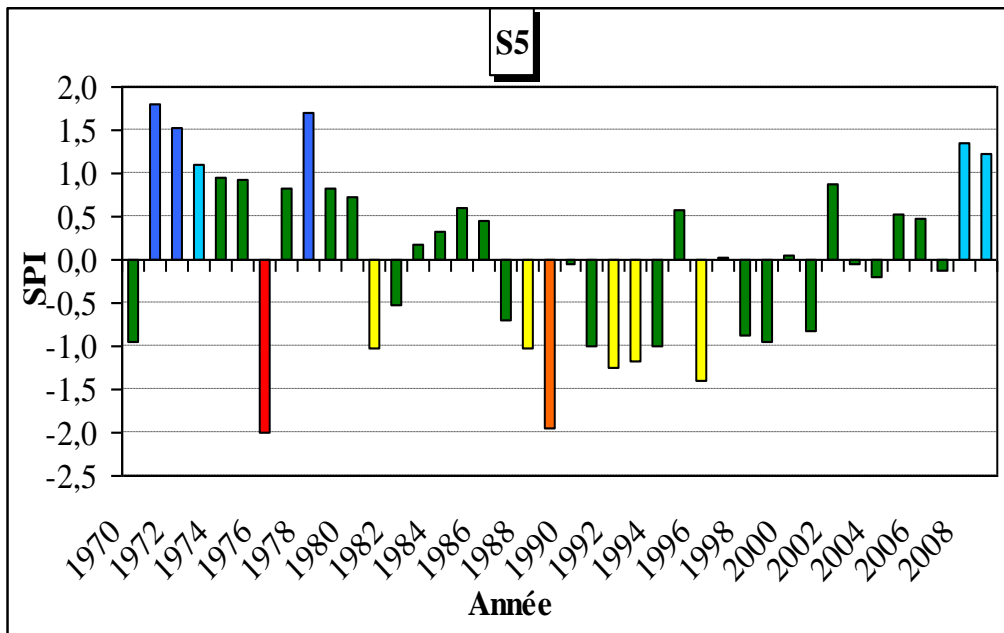


Figure (IV-7): Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuel) dans la station de (l'Oued Sly).

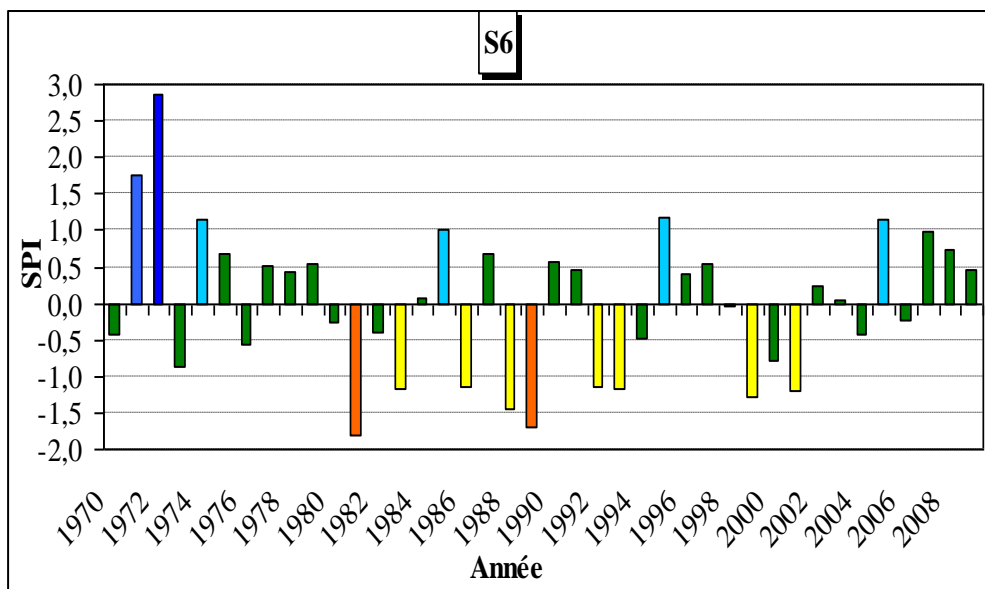


Figure (III-8): Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuelle) dans la station de (Sâadia).

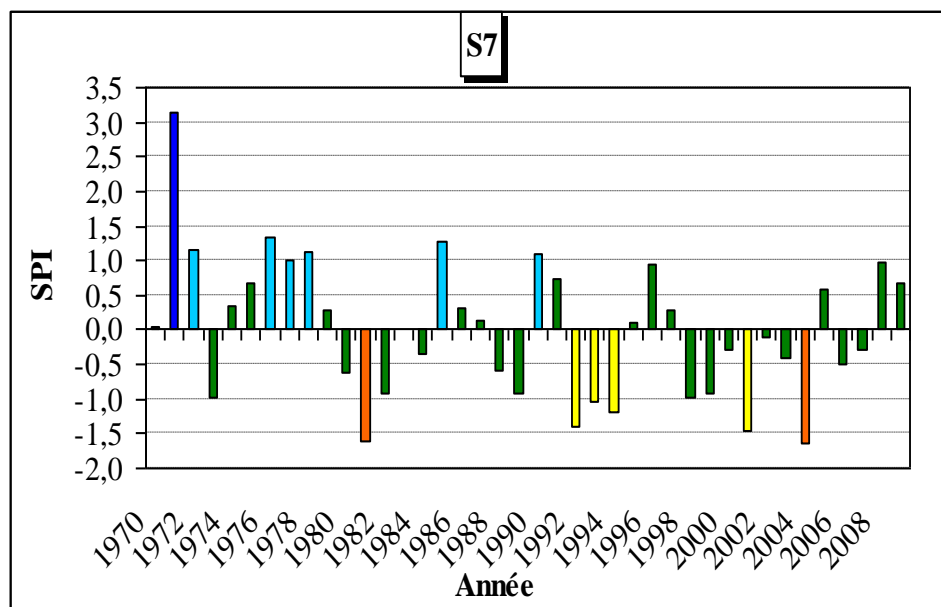


Figure (III-9): Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuelle) dans la station de (Sidi Yacoub).

Une année peut être considérée comme sèche dès lors que les valeurs du SPI atteignent (-1.0), cette méthode a permis le suivi d'une séquence de sécheresse et l'estimation de son intensité et de sa durée. A partir de ces critères et en suivant l'évolution de l'indice SPI annuelle durant la période analysée présentée dans les figures (III- 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9), on a pu estimer l'intensité et la durée de la sécheresse dans les sept stations.

Les phénomènes les plus intenses sont généralement enregistrés dans les stations :  
 D'Ain Loulou avec des valeurs extrêmes atteindre (-2,15 et -2,17) en 1992 et 1999;  
 D'ouled Ben Abdelkader (-2,06) en 1981 et la station d'Oued Sly (-2,01) en 1976.



**CHAPITRE V****Evaluation de la qualité des eaux du barrage de Sidi  
Yacoub****Introduction**

Il est évident que le chimisme des eaux de barrage dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  .....). Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques et l'activité anthropique.

Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physico-chimique des eaux de surfaces. On observe principalement deux types d'influence:

- En agriculture : apports de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4^{3-}$ .
- Rejets des eaux usées : apports de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$

**1. Prélèvement de l'eau**

S'il est bien évident qu'un prélèvement correct soit indispensable à l'obtention des résultats analytiques significatifs, il est tout aussi important de connaître le devenir de l'échantillon entre le prélèvement et son arrivée au laboratoire.

Les opérations, de prélèvements, de transport et des analyses au laboratoire, ont été assurées par le personnel de laboratoire de l'Agence Nationale des ressources hydraulique de la région centre (**A.N.R.H de Blida**) avec une fréquence d'une fois par mois.

Les prélèvements ont été effectués dans des flacons en plastiques (polyéthylène), rincés trois fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord. Les bouchons sont placés de telle façon qu'il n'y aucune bulle d'air pour éviter toute oxydation. Pour la conservation et le transport de l'eau du barrage au laboratoire, les échantillons ont été conservés au frais à 4 °C, dans une glacière et les analyses ont été effectuées le plus tôt possible en raison de l'évolution de certains ions.

**1.1. Moyenne et méthodes d'analyse****1.1.1. Mesures effectuées in-situ**

Les paramètres physico-chimiques effectués in-situ sont : le pH, la conductivité électrique (C.E.), l'oxygène dissous ( $\text{O}_2$  %) et la température ( $T^\circ\text{C}$ ). Le pH a été mesuré à

l'aide d'un pH-mètre, tandis que la conductivité électrique et la température ont été mesurées à l'aide d'un conductimètre. Toutes ces analyses ont été effectuées in-situ après prélèvement de l'échantillon placé dans un bêcher de 1000 ml.

### **1.1.2. Analyses effectuées au laboratoire**

Les données analytiques et les prélèvements sur terrain ont été assurés par la structure régionale de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la région centre (A.N.R.H de Blida).

Les prélèvements des échantillons se font à une profondeur de 0,5 m au dessous de la surface du barrage.

L'A.N.R.H ont procédé à une analyse complète de tous les éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ ). Les polluants résultants des activités agricoles ont été l'objet d'un suivi particulier ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

Les méthodes analytiques utilisées sont reportées dans le tableau (V-1)

Tableau (V-1) : les méthodes d'analyse. (A.N.R.H ,2000).

Paramètres	Méthode
pH	Potentiométrique avec électrode de verre
La turbidité	Néphélométrie à la formazine
M E S	Filtration sur fibre de verre
Oxygène dissous (O2%)	Winkler
D C O	Bichromate de Potassium
D B O <sub>5</sub>	Respirometrique de Sierp
Matière organique (MO)	Oxydabilité au permanganate de Potassium
Ammonium	Réaction de Berthelot
Nitrite	Diazotation à l'acide sulfurique
Nitrate	Dosage colorimétrique par hydrazine.
Phosphores	Dosage colorimétrique par molybdate d'ammonium.
Sulfates	Gravimétrique
Chlorures	Dosage colorimétrique par thiocyanate.
Calcium et Magnésium	Spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme
Potassium et Sodium	Spectrophotométrie d'émission de flamme
La conductivité électrique	Le principe du pont de Wheatstone

(Source : ANRH-Blida, 2010)

Avant le traitement et l'interprétation des analyses des eaux surfaces, il faut analyser la fiabilité des résultats des ces analyses. La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle est électriquement neutre.

De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents chimiques). En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule :

$$BI = \left[ \frac{\sum A - \sum C}{\sum A + \sum C} \right] * 100 \quad (\text{V-1})$$

Avec :  $\sum A$  : la somme des anions en milliéquivalents par litre.

$\sum C$  : la somme des cations en milliéquivalents par litre.

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques. Cependant, les incertitudes sur les résultats, variables selon les techniques d'analyse, peuvent expliquer les erreurs parfois élevées sur les balances ioniques, à cause de la présence éventuelle d'anions organiques non pris en compte dans les calculs. D'une manière générale, des analyses chimiques sont considérées :

- $-1\% < BI < 1\%$  : Fiabilité des résultats d'analyses excellente.
- $-5\% < BI < 5\%$  : Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
- $-10\% < BI < 10\%$  : Fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
- $BI > 10\%$  : Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses.

Les résultats d'analyses en mg/l doivent tout d'abord être convertis en méq/l. Il faut ensuite vérifier la balance ionique : on calcule la somme des concentrations (méq/l) pour les cations ainsi que la somme des concentrations (méq/l) pour les anions.

## **2. Contrôle des résultats obtenus par la méthode du bilan ionique**

Pour vérifier la fiabilité des résultats obtenus, on a procédé au calcul de la balance ionique (formule (V-1)) pour le mois de février et le mois d'août de l'année 2002. Le tableau (V-2) représente les résultats obtenus pour l'année 2002.

Tableau (V-2) : Bilan ionique des eaux du barrage de Sidi Yacoub pour février et août de l'année 2002.

Mois	Cations	C en (mg/l)	fact de conv	C en (méq/l)	ΣC (méq/l)	Anions	C en (mg/l)	fact de conv	C en (méq/l)	ΣA (méq/l)	E (%)
Février-02	Ca <sup>++</sup>	118,8	0,049	5,82	15,89	Cl <sup>-</sup>	223	0,028	6,24	16,44	1,71
	Mg <sup>++</sup>	56,64	0,082	4,64		SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	310	0,021	6,51		
	Na <sup>+</sup>	125	0,043	5,38		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	208,01	0,0163	3,39		
	K <sup>+</sup>	2	0,026	0,05		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3	0,1	0,30		
Août-02	Ca <sup>++</sup>	113,6	0,049	5,57	15,67	Cl <sup>-</sup>	302	0,028	8,46	16,81	3,51
	Mg <sup>++</sup>	38,64	0,082	3,17		SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	305	0,021	6,41		
	Na <sup>+</sup>	160	0,043	6,88		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	113,16	0,0163	1,84		
	K <sup>+</sup>	2	0,026	0,05		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1	0,1	0,10		

Comme on vient de le constater, les pourcentages d'erreurs obtenues pour les mois de février et d'août 2002 et pour le reste de la période d'étude sont inférieurs à 5%, et selon (Rodier, 2005) on peut considérer l'analyse comme acceptable.

### 3. Méthodologie de la classification

Pour établir la classification d'un tronçon ou d'un point de réseau, selon les classes de qualité, un traitement spécifique des données du réseau doit être réalisé. Les valeurs des paramètres analysés sont comparées aux bornes des grilles adoptées au niveau national. Ces paramètres ont été classés suivant la qualité physique, minérale ou organique

#### 3.1. Définition des quatre classes de qualité

- **Classe I:** Eau de bonne qualité, utilisée sans exigence particulière; elle est représentée graphiquement par la couleur bleue.
- **Classe II :** Eau de qualité moyenne, utilisée après un simple traitement. Elle est représentée en vert.
- **Classe III :** Eau de mauvaise qualité, ne peut être utilisée qu'après un traitement très poussé. Elle est représentée en jaune.
- **Classe IV :** Pollution excessive, ne peut être utilisée qu'après traitements spécifiques et très onéreux. Elle est représentée en rouge.

Le tableau (V-3) représente la grille de qualité de l'eau adoptée par l'état algérien.

Tableau (V-3) : Grille de qualité générale des eaux de surface (A.N.R.H, 2000).

Paramètre	Classe	C1	C2	C3	C4
<b>Altération Physique</b>					
pH		6,5<>8,5	6,5<>8,5	<6,5>5,5 - >8,5<9	>9 - <5,5
M.E.S	mg/L	≤30	>30 ≤70	>70 ≤100	>100
Temp Eau	°C	≤25	>25 ≤30	>30 ≤35	>35
<b>Altération Minérale</b>					
R.Sec	mg/L	≤300	>300 ≤1200	>1200 ≤1600	>1600
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	≤100	>100 ≤200	>200 ≤300	>300
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	≤30	<30 ≤100	>100 ≤150	>150
Na <sup>+</sup>	mg/L	≤100	>100 ≤200	>200 ≤500	>500
Cl <sup>-</sup>	mg/L	≤150	>150 ≤300	>300 ≤500	>500
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	≤200	>200 ≤300	>300 ≤400	>400
<b>Altération Organique</b>					
O <sub>2</sub>	%	>90	≤90 ≥50	<50 ≥30	<30
DCO	mg/L	≤20	≥20 ≤40	>40 ≤50	>50
DBO <sub>5</sub>	mg/L	≤5	≥5 ≤10	>10 ≤15	>15
M.Organiques	mg/L	≤5	≥5 ≤10	>10 ≤15	>15
<b>Altération Azotée</b>					
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	≤0,01	≥0,01 ≤0,1	>0,1 ≤3	>3
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	≤0,01	≥0,01 ≤0,1	>0,1 ≤3	>3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	≤10	≥10 ≤20	>20 ≤40	>40
<b>Altération Phosphatée</b>					
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	≤0,01	>0,01 ≤0,1	>0,1 ≤3	>3

(Source : ANRH-Blida, 2000)

## 4. Résultats et interprétations

### 4.1. Description sommaire des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage de Sidi Yacoub

Les résultats d'analyse des variations physico-chimiques des eaux du barrage de Sidi Yacoub, pendant la période d'observation (2002-2010), et leur fréquence selon les normes de l'ANRH, ont été consignés dans les Tableaux (V- 4) et (V- 5).

Tableau (V- 4) : Variation des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage.

Élément	Max	Min	Moy	Ecart type	CV (%)
Ph	8,05	7,34	7,58	0,20	2,63
M.E.S (mg/l)	76,44	21,64	42,98	22,01	51,22
T °C	21,07	19,03	19,73	0,68	3,44
RS (mg/l)	1536,33	986,75	1233,05	216,14	17,53
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	137,05	78,25	112,59	17,44	15,49
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	54,38	30,50	44,01	8,26	18,76
Na <sup>+</sup> (mg/l)	302,92	148,60	209,89	59,07	32,99
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	492,21	224,83	341,17	94,23	27,62
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	398,13	266,83	323,21	40,13	12,41
O <sub>2</sub> (%)	105,00	69,27	86,27	9,53	11,05
DCO (mg/l)	50,53	9,76	33,51	11,78	35,14
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	9,17	0,96	2,73	2,65	97,80
MO (mg/l)	7,55	5,91	6,79	0,56	8,26
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0,06	0,01	0,04	0,02	50,00
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,09	0,00	0,03	0,03	100
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	5,00	0,05	2,36	1,75	74,17

Les coefficients de variation sont très élevés, pour les nitrites (100 %), la demande biochimique en oxygène (97,80 %) et les nitrates (74,17 %) ; ils le sont moins pour les autres paramètres. Pour le pH, la température et l'oxygène dissous, le CV est le plus faible.

Ces coefficients indiquent une variabilité temporelle élevée sur l'ensemble. La source principale des nitrates sont les engrais et les amendements azotés utilisés pour l'agriculture, le CV élevé de DBO<sub>5</sub> est à lié essentiellement aux eaux usées domestiques rejetées directement dans l'oued sans traitement. Ce qui atteste de ses origines anthropiques.

Tableau (V-5) : Fréquences (%) des éléments minéraux selon les normes de l'ANRH pendant la période (2002-2010).

Eléments	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
pH	100	/	/	/
M.E.S (mg/l)	44,44	33,33	22,23	/
T°C	100	/	/	/
R.S (mg/l)	/	55,56	44,44	/
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	22,22	77,78	/	/
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	/	100	/	/
Na <sup>+</sup> (mg/l)	/	55,56	44,44	/
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	/	33,33	66,67	/
SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> (mg/l)	/	33,33	66,67	/
O <sub>2</sub> % (mg/l)	22,22	77,78	/	/
D.C.O (mg/l)	11,11	66,67	11,11	11,11
D.B.O <sub>5</sub> (mg/l)	88,89	11,11	/	/
MO (mg/l)	/	100	/	/
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg)	11,11	88,89	/	/
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	22,22	77,78	/	/
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	100	/	/	/

## 4.2. Interprétation des résultats analytiques

### a- Paramètres organiques

La représentation des paramètres organiques (MO, DBO<sub>5</sub>, DCO et O<sub>2</sub>%) a été suivie pour toute la période d'étude.

La variation des différents paramètres organiques en fonction du temps est présentée dans la figure (V-1).

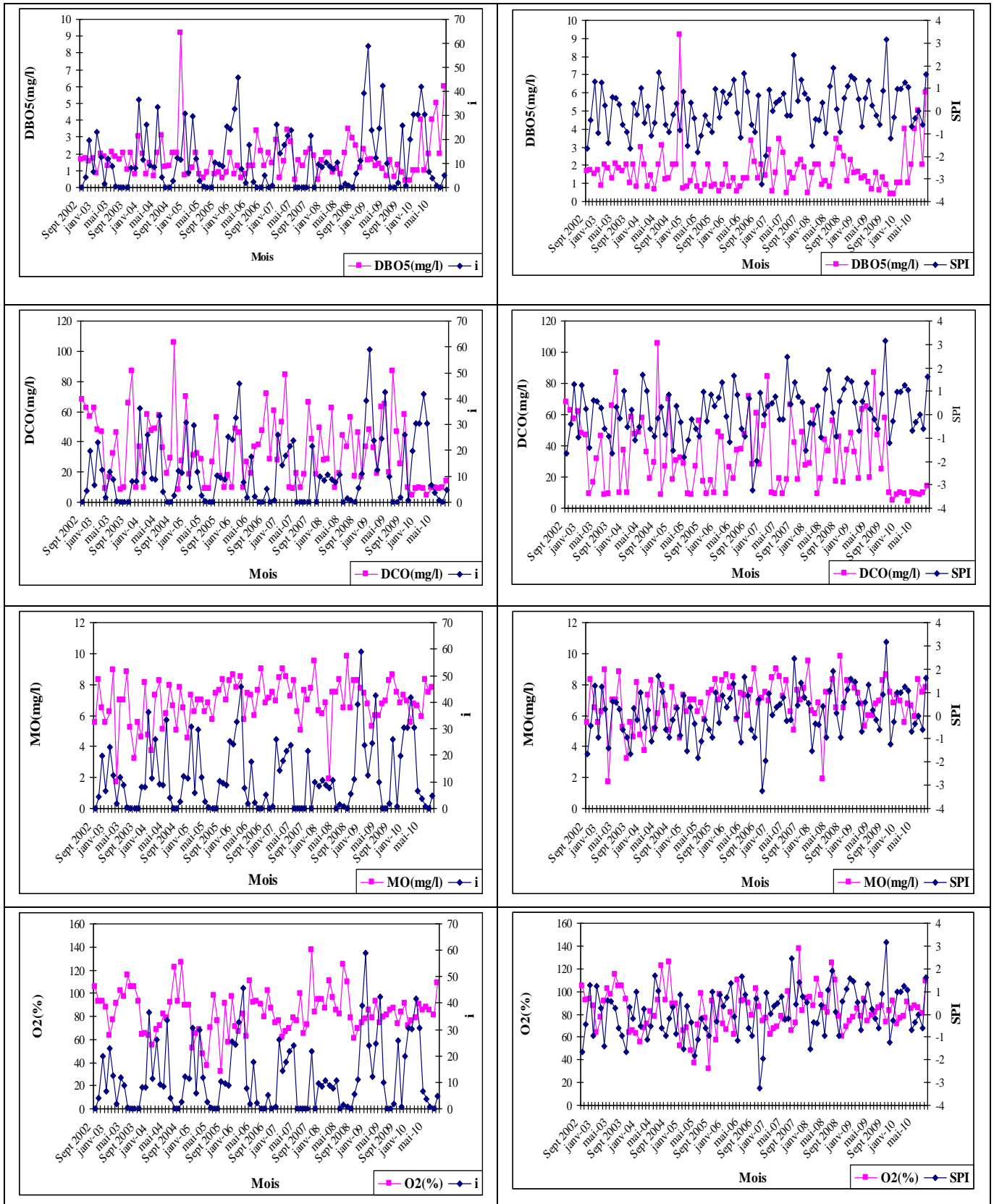


Figure (V-1): Variation mensuelles des paramètres organiques en fonction du temps (2002-2010).



Les eaux de notre barrage étudié se comportent différemment le long des mois et des années concernées par notre étude. La matière organique est l'une des composantes déterminante de la qualité physico-chimique d'une eau. Tous les mois ont une quantité significative de cette dernière.

La quantité de la **matière organique (MO)** durant les années d'observation varie de 5,91 à 7,55 mg/l. Des pics de matière organique ont été enregistrés pour les mois de novembre 2007 (9,5 mg/l), et août 2008 (9,8 mg/l). Ce qui est expliquée par l'élévation du SPI (-0,93) qui montre l'augmentation de l'évaporation et la diminution de précipitation.

La matière organique dans les eaux du barrage revient à deux origines.

- La matière organique pédogénique ramené par lessivage du sol lors des précipitations. Tout le barrage est entouré par des terrains exploités en agriculture, nous avons aussi remarqués que le bassin versant qui draine ces eaux est moyennement ou faiblement reboisés.
- La matière organique aquagénique générée au sein du milieu. En effet, la faune et la flore dans un barrage en se dégradant contribuent à la concentration de la matière organique. Ce phénomène est accentué lorsque les bassins versant ne sont pas reboisés entraînant ainsi par lessivage de certains éléments minéraux (azote, phosphate). Ces éléments contribuent à un boom algal. (Rodier., 1996).

La précipitation durant les années 2002 et 2003 du barrage de Sidi Yacoub n'a même pas atteint la moyenne, elle n'a pas dépassé 250 mm. Les quantités importantes de la matière organique enregistrées dans ces années, reviennent essentiellement à la diminution excessive du volume d'eau du barrage.

La demande biochimique en oxygène (**DBO<sub>5</sub>**) renseigne d'une part sur la partie de la matière organique biodégradable et d'autre part sur l'activité biologique. Les valeurs de la DBO<sub>5</sub> trouvées sont souvent inférieures à une valeur de 5 mg/l, ce qui confère à l'eau le label de la bonne qualité. Certaines valeurs dépassent les 5 mg/l, novembre 2004 (9,17 mg/l) et août 2010 (6 mg/l). au cours de ces deux années on constate une diminution des précipitations (SPI =-0,84) et l'augmentation de l'évaporation (i =4,94), dans ce cas ces valeurs sont acceptables (qualité moyenne).

Les valeurs de la demande chimique en oxygène **DCO** sont importantes et peuvent atteindre des valeurs de 105,6 mg/l d'O<sub>2</sub> (septembre 2004). Ce test a une valeur significative pour les eaux usées. Ce qui explique par les variations climatiques (i =2,68). Dans le cas des eaux de barrage, la matière organique obtenue par oxydabilité au permanganate donne une

bonne estimation de la matière organique. Il serait hasardeux de comparer les valeurs de la DCO.

Le pourcentage de l'**oxygène dissous** est favorable en générale. D'où dans le barrage étudié le pourcentage dépasse 50% ce qui permet de classer l'eau du barrage dans les classes de bonnes à moyennes qualité. Le barrage a connu une perturbation de la quantité d'oxygène dissous qui était respectivement 126%, 137,62% pendant les mois de septembre 2004 et septembre 2007, ce qui explique l'augmentation de la température.

Nous avons une diminution du volume d'eau, toutes les conditions étaient favorable à un boom algale (Eutrophisation importante du barrage).Ce boom algal a contribué d'une part à consommer d'oxygène dissous et d'autre part une augmentation importante de la matière organique due à lyse de la flore. En plus les réactions d'oxydations de la matière organique qui diminue la quantité d'oxygène dans l'eau et cela pour une température supérieure à 20 °c.

#### **b- Paramètres azotés**

La variation des paramètres azotés tels que les nitrates, les nitrites, et l'ammoniac en fonction du temps est présenté dans la figure (V-2).

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains rencontrés durant leur parcours. Au cours de son cheminement, l'eau dissous les différents éléments constitutifs des terrains. En revanche, sa teneur en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique) dépend des échanges à l'interface eau-atmosphère et de l'activité métabolique des organismes aquatiques au sein de l'eau. (**Rodier., 1996**).

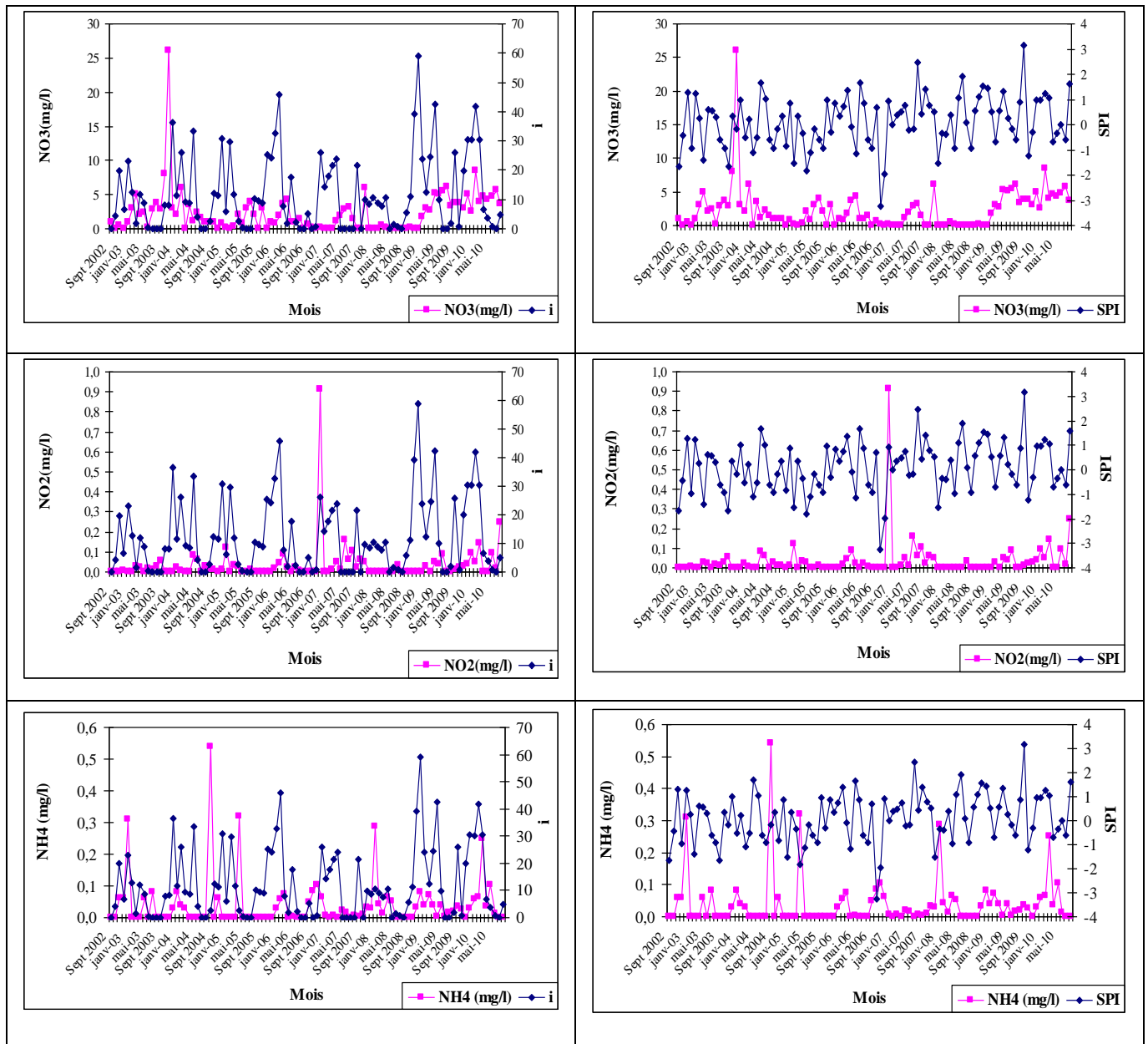


Figure (V-2): Variation mensuelles des paramètres azotés en fonction du temps (2002-2010).

Dans le cas des **nitrites** (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), il est recommandé que la concentration dans les eaux de barrage soit inférieure à 10 mg/l. nous remarquons que globalement cette valeur est très souvent respectée. De légers dépassements sont observés au novembre 2003 (26 mg/l). Ce qui atteste de son origine anthropique liée principalement à l'application des engrais azotés. L'élevage, les rejets d'eaux usées et les décharges publiques peuvent constituer une autre origine des nitrates dans la zone d'étude.

La présence d'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) reste très correcte durant la période étudiée, très souvent inférieures à 0,1 mg/l. Des pics néanmoins observés en septembre 2004 à (0,54 mg/l), ceci correspond à la sécheresse de 2004.

A cet effet nous confirmons la pollution par les eaux usées urbaines. En effet, les urines humaines ou animales contiennent de grande quantité d'urée qui se transforme rapidement en ammoniac. Si non l'origine de l'azote ammoniacal provient de la décomposition de la matière organique (faune et flore).

Les **nitrites** ( $\text{NO}_2^-$ ) se trouvent avec des quantités beaucoup plus faibles. Ce que nous constatons, c'est que les nitrites constituent le stade intermédiaire entre les ions  $\text{NH}_4^+$  et nitrates. Des fois, nous remarquons une augmentation plus au moins sensible du nitrite, comme le cas du décembre 2006 (0,91mg/l). Là, nous pouvons dire qu'il y a une perturbation en oxygénation de l'eau. C'est à dire un manque d'oxygène dissous, a cause de la flore et la faune qui ont consommé beaucoup plus cet élément, et qu'elles ont empêché la dissolution de l' $\text{O}_2$ .

### **c- Parametres minéraux**

Les parametrs minéraux le Calcium, le Magnésium, le Potacium, les Chlorures et le Sodium sont présentés en fonction du temps dans la figure (V-3a).

- **Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )**

La plupart des années présentent des teneurs moyennes à la norme de qualité des eaux (A.N.R.H), sauf une valeur plus élevée avec un maximum de 207,80 mg/l est observé en janvier 2007. Là où l'augmentation du SPI qui accompagne par l'augmentation de la précipitation et la diminution de l'évaporation.

Les ions  $\text{Ca}^{2+}$  proviennent de deux origines naturelles différentes qui sont : la dissolution des formations carbonatées ( $\text{CaCO}_3$ ) et la dissolution des formations gypseuses ( $\text{CaSO}_4$ ).

- **Le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )**

Les ions ( $\text{Mg}^{2+}$ ) proviennent, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite ( $\text{MgCO}_3$ ) et dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )).

La moyenne enregistrée pendant la période d'étude est (44.01 mg/l), avec une augmentation de cet dernier en janvier 2007 (137,83mg/l). Ce qui explique par les variations climatiques.

• Sodium ( $\text{Na}^+$ )

Les teneurs de sodium sont généralement élevées. Ces concentrations s'échelonnent entre 59 mg/l et 400 mg/l. les fortes teneurs en sodium peuvent être liées à la présence d'argile. D'autres foyers de pollution peuvent-être énumérés, tels que les dépôts de déchets et des rejets domestiques.

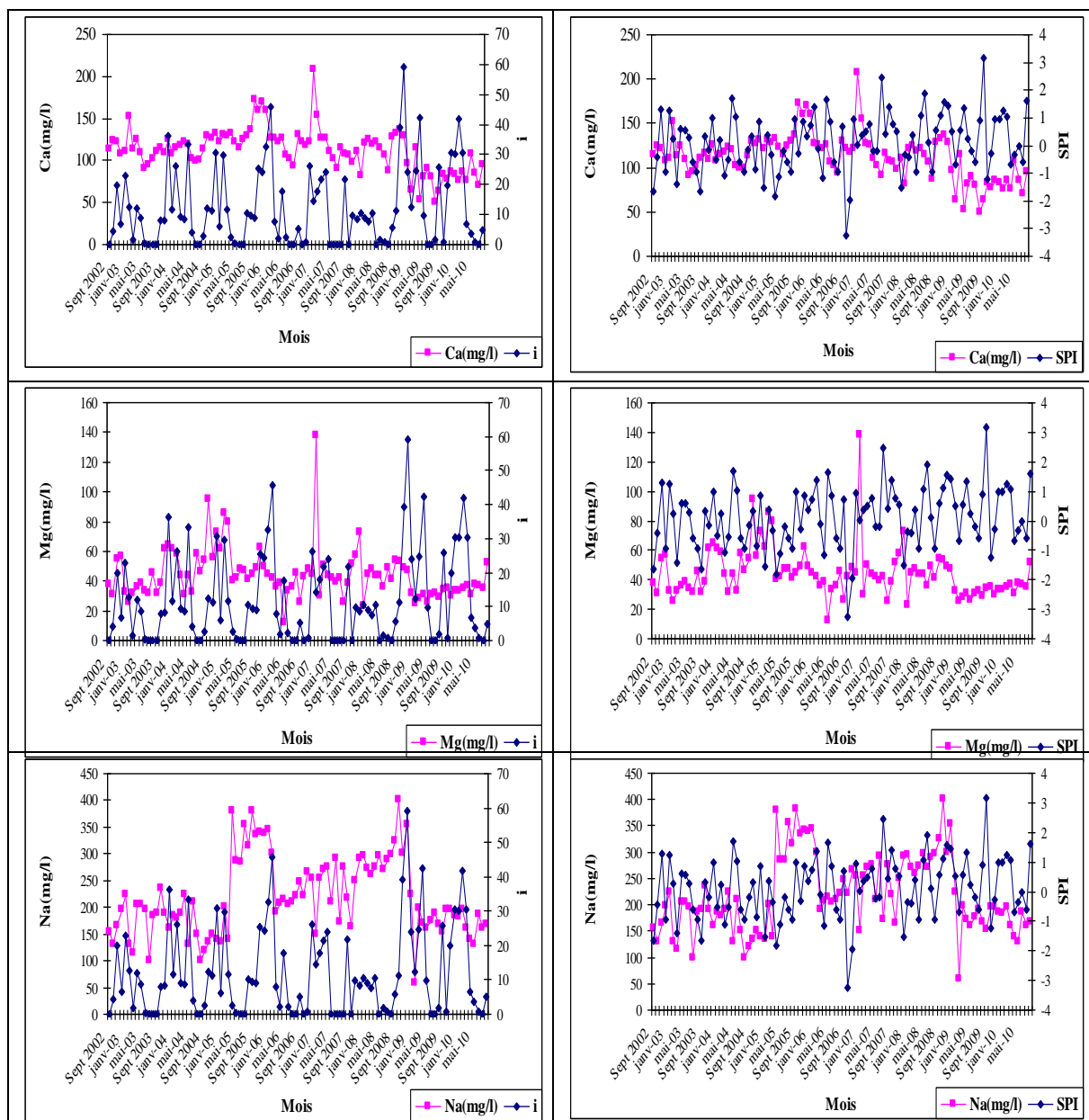


Figure (V-3a): Variation mensuelles des paramètres minéraux en fonction du temps (2002-2010).

- **Les Chlorures (Cl<sup>-</sup>)**

La teneur des eaux en chlorures est liée à plusieurs facteurs dont les plus importants sont les pluies, l'évaporation et la lithologie.

Tous les mois concernés par l'étude ont une eau chargée du chlorure (Cl<sup>-</sup>), avec des quantités très variables. Les eaux de barrage contiennent une quantité qui dépasse les normes d'A.N.R.H (150 mg/l), d'où la moyenne est 341,17 mg/l.

Les fortes teneurs en chlorures sont dues aux caractéristiques spéciales de cet élément.. Dans la zone d'étude, les chlorures proviennent géologiquement, de la dissolution des formations évaporitiques et peuvent provenir, anthropiquement, des eaux usées et au lessivage superficiel en cas des fortes pluies, tout en sachant que la zone du barrage est semi aride.

- **Sulfate (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>)**

Si nous analysons les eaux de notre barrage, nous constatons que toutes les eaux des mois ont une quantité considérable du sulfate qui est caractérisé par le taux élevé du sulfate, avec une moyenne de 323,21 mg/l.

La présence des sulfates dans les eaux du barrage est due essentiellement à la dissolution des formations évaporitiques et trias de l'Ouarensis ainsi que des formations gypsifères du miocène.

Cet apport est conditionné par le degré de solubilité de ces minéraux et le lessivage des roches. Cependant, d'autres sources de sulfates peuvent-être considérées :

- Dans les régions à faible pluviométrie et à forte évaporation, la teneur en SO<sub>4</sub><sup>-</sup> est grande.
- Les rejets des égouts industriels et domestiques, ainsi que les déchets entraînés par lessivage.

Pour le **Potassium (K<sup>+</sup>)** résulte de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques dans l'oued du barrage.

Les valeurs les plus élevées sont observées en décembre 2003 avec une moyenne de 4,25 mg/l. et un maximum de 22 mg/l.

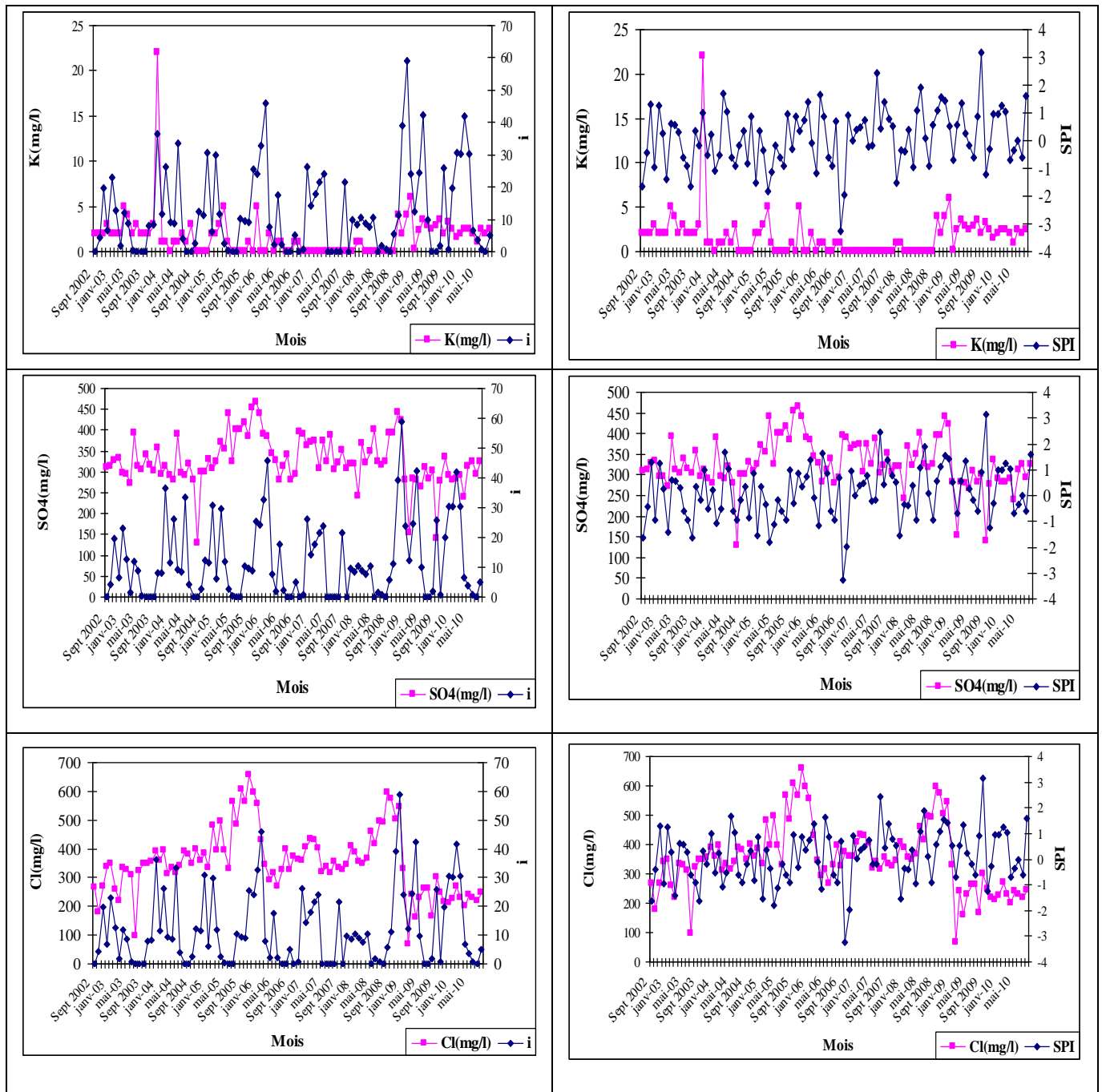


Figure (V-3b): Variation mensuelles des paramètres minéraux en fonction du temps (2002-2010).

**d- Paramètres physiques**

La matière en suspension, la turbidité, la conductivité, la température et le pH sont des déterminants de la qualité physique de l'eau. Ils sont présentés dans l'annexe (III).

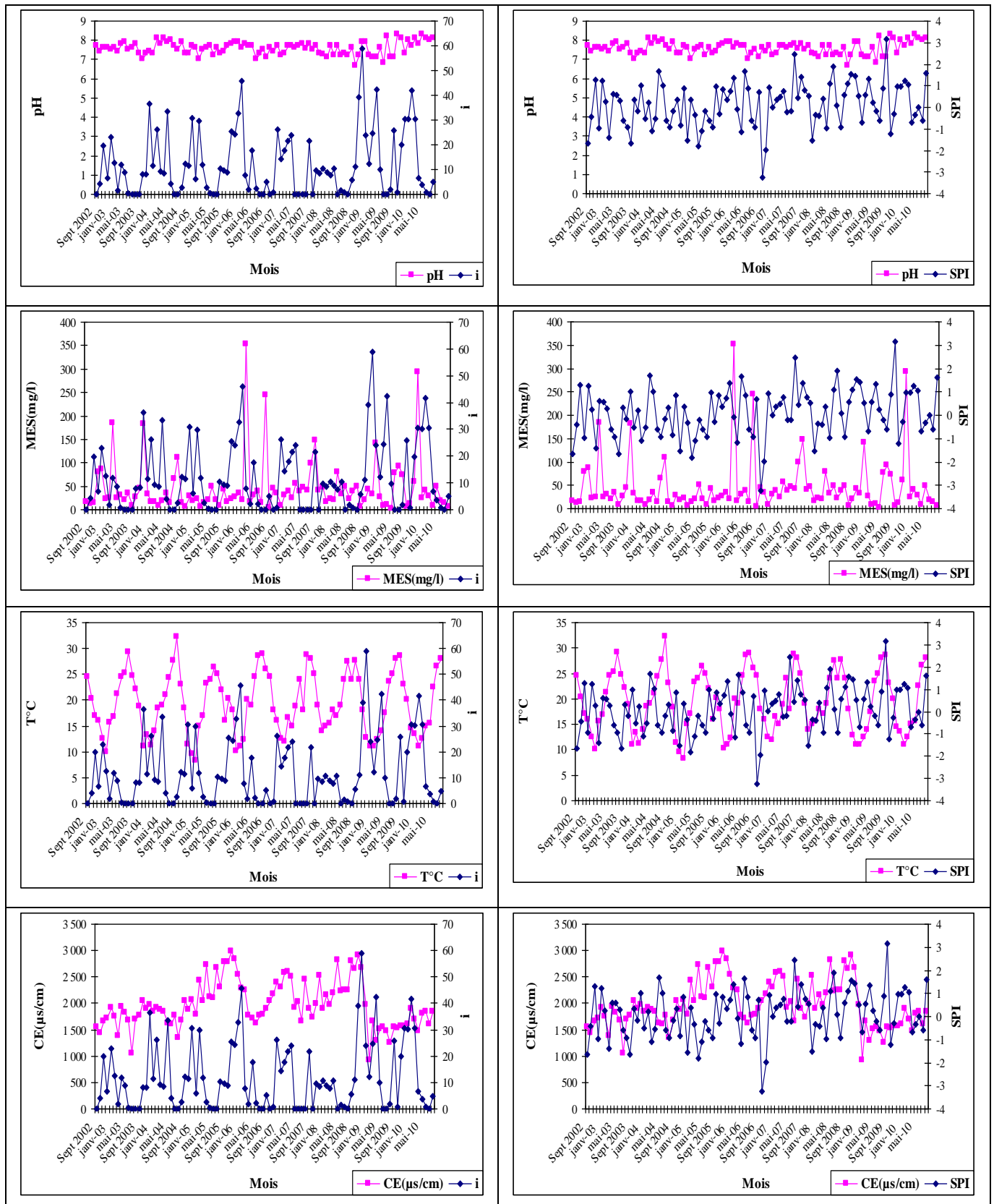


Figure (V-4): Variation mensuelles des paramètres physiques en fonction du temps (2002-2010).



- **Matière en suspension (M.E.S)**

La matière en suspension des différents mois étudiés varie en général de 10 à 70 mg/l, ce qui nous permet de classer cette eau bonne à moyennement bonne. Des pics sont observés lors des précipitations importantes ( $SPI > 1$ ), c'est le cas, où les matières en suspension ont atteint une valeur maximale de 352 mg/l en Mars 2006 où la pluviométrie avait atteint 41,6mm durant ce mois et 56,3mm en Décembre 2009 avec une valeur de 293mg/l de la matière en suspension.

Néanmoins, vu que le barrage joue le rôle d'un décanteur, les valeurs des M.E.S se stabilisent en générale de 10 à 70 mg/l. Une valeur des matières en suspension élevée (supérieure à 70 mg/l) est très défavorable à la vie des poissons, qui sont un très bon bio indicateur. En effet, pour des valeurs de M.E.S supérieures à 75 mg/l il y a empêchement de la pénétration de la lumière et diminution de l'oxygène dissout. (**Rodier., 1996**).

- **Le potentiel d'hydrogène (pH)**

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Les mesures du pH ont donné les résultats présentés dans le tableau (**V-3**).

Le barrage concerné par l'étude a une eau de pH entre 6,7 et 8,3, ceci indique que les valeurs varient peu et sont proches des valeurs naturelles. Selon la grille de la qualité des eaux de surfaces, les eaux du barrage sont de bonne qualité vis-à-vis le potentiel hydrogène.

- **Conductivité électrique (CE)**

La conductivité électrique est un paramètre important; sa variation est liée, à température constante, aux modifications de la minéralisation des eaux de surface.

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution. Pour notre période d'étude, la conductivité des eaux est variable, qu'elle varie de 919,28  $\mu\text{s/cm}$  à 2990  $\mu\text{s/cm}$ . Ces valeurs élevées peuvent être liées au volume faible du barrage dû essentiellement aux faibles précipitations ( $SPI < 1$ ) et à l'évaporation élevée.

- **La température**

La température de l'eau dans toute la période, varie suivant les saisons. Elle est de 8°C à 16°C en hiver, et de 20°C à 35°C en été. Il est important de connaître la température de l'eau car elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et sur la détermination du pH (**Rodier, 1996**).

Les eaux du barrage montrent une variation assez marquée des températures d'une saison à une autre à cause de leur contact direct avec l'atmosphère.

## 5. Principaux faciès chimiques

Les faciès chimiques sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles. On les détermine par le calcul des quantités en réaction, et en tenant compte de la classification des ions (formule ionique).

Les principaux faciès chimiques déterminés dans les eaux de barrage sont présentés dans le tableau (V- 6).

Tableau (V- 6): Faciès chimiques des eaux du barrage de Sidi yacoub.

Campagnes	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne (%)	Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique (%)
2002	100	/
2003	58,33	41,66
2004	83,33	16,66
2005	25	75
2006	16,66	83,33
2007	25	75
2008	/	100
2009	8,33	91,66
2010	66,66	33,33

### 5.1. Représentation graphique des faciès chimiques

Dans le but de bien identifier les faciès chimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux de barrage, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Piper. La réalisation de ce diagramme a été faite en utilisant le logiciel **Diagrammes**, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

#### 5.1.1. Diagramme de PIPER

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux. Il permet une représentation des cations et anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la

dominance cationique et anionique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau concernée. Le diagramme de Piper permet également :

- d'avoir une relation entre le chimisme de l'eau et la nature lithologique de l'encaissant,
- d'avoir une idée sur la lithologie à partir des analyses chimiques,
- de suivre les propriétés physico-chimiques au cours de leur évolution spatio-temporelle,
- la projection de plusieurs échantillons en même temps :
  - Pour suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace,
  - Pour les comparer,
  - Pour avoir une idée sur la notion de mélange.

L'interprétation des résultats d'analyses chimiques pour toutes les périodes d'observation a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux du barrage de Sidi yacoub et leur évolution dans le temps, ainsi que sur les conditions naturelles à l'origine de ces faciès. Les deux Figures (**V-5a .V-5b**) présentent les différents Diagrammes des mois de l'année 2002, (les différents diagrammes des années 2003 jusqu'à 2010 sont présentés dans (l'annexe II).

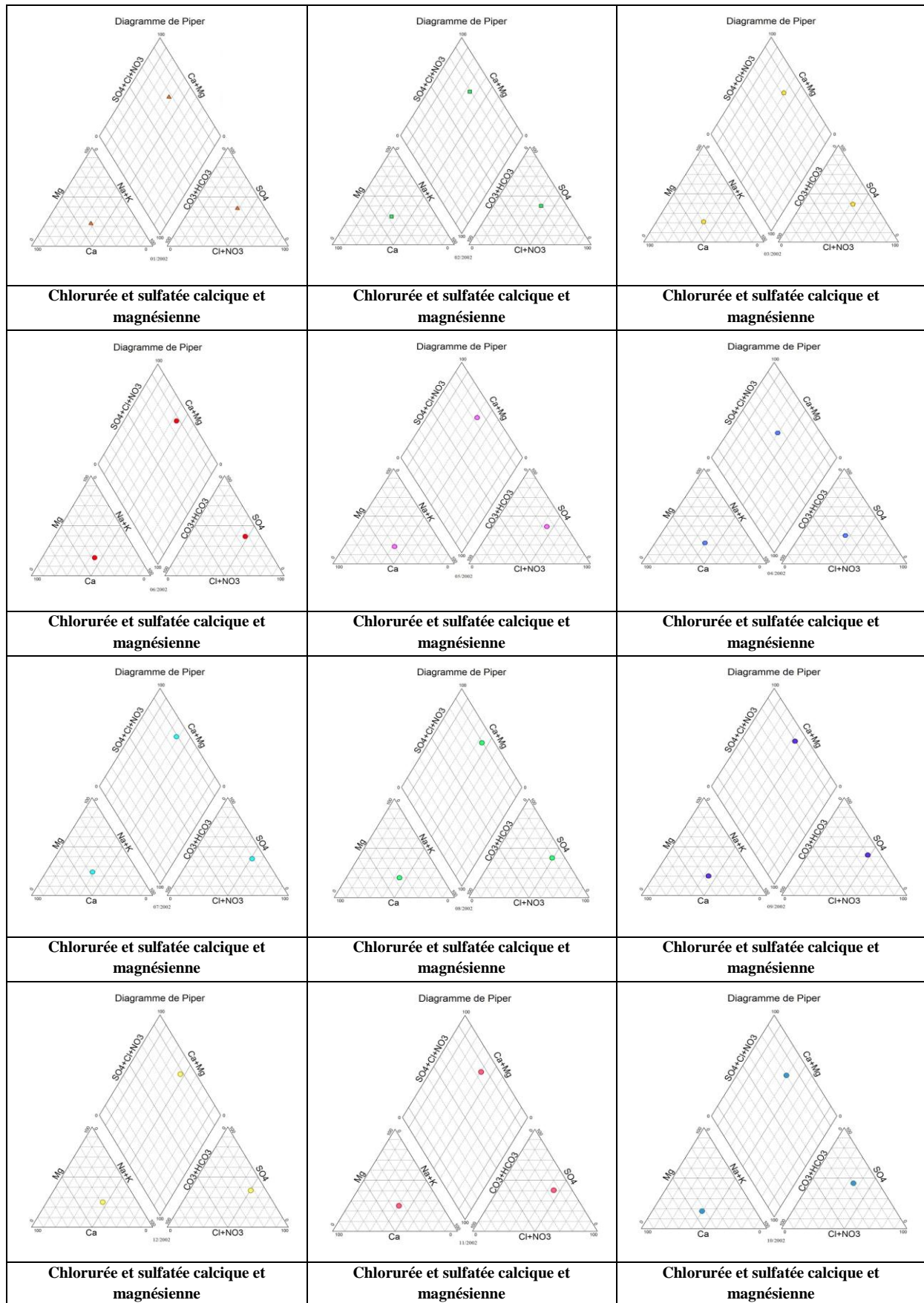


Figure (V- 5a) : Diagrammes de Piper mensuelles pour l'année 2002.

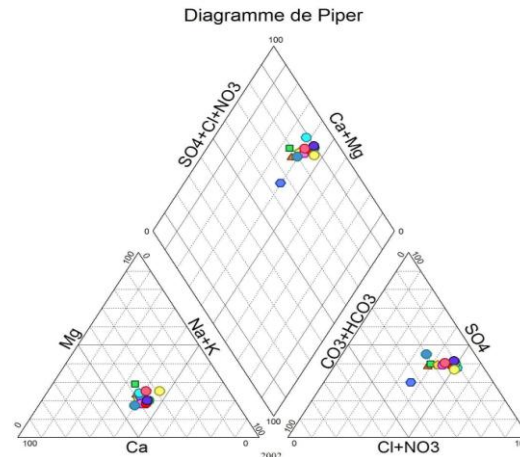


Figure (V- 5b) : Diagramme de Piper annuelle pour l'année 2002.

- **Période 2002**

L'ensemble des nuages de points ne présente pas de dominance anionique ou cationique, on signale la présence d'un faciès dominant, indiqué par le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne.

Ce qui est expliquée par l'élévation de le SPI qui montre l'augmentation de l'évaporation (154,15 mm) et la diminution de précipitations (129 mm), cette variation climatique indique la précipitation des éléments de  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ .

- **Période 2003**

Les nuages de points montrent au qu'un dominance des anions ou cations, où les échantillons, alors elle présente deux faciès qui sont : chloruré et sulfaté calcique et magnésienne, et d'autre chloruré sodique et sodique potassique.

Là où les conditions climatique changent c'est à dire diminution de le SPI (qui accompagne par l'augmentation de la précipitation (285,03mm) et la diminution de l'évaporation (143,02mm)), Ce qui explique la dilution des éléments chimiques ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ...etc.).

- **Période 2004**

Le nuage des points présente une dominance chlorurée et quelques points sodiques, ceci révèle la dominance d'un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne. L'observation de ce diagramme indique, la présence d'une situation identique à celle de la compagne de l'année (2002).

Ce qui explique par les variations climatiques c'est à dire l'augmentation de l'évaporation (131,46mm) et diminution de la précipitation (186,80mm) où le SPI (-1,64) montre l'étage sévèrement sèche de cette année ce qui révèle une précipitations des éléments de  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ .

- **Période 2005**

On ne rencontre pas d'anions dominants ; mais on signale la tendance vers une dominance chlorurée, quant aux cations on remarque la présence d'un pôle cationique sodique potassique.

La combinaison des différents cations et anions donne naissance à quatre faciès qui sont : chloruré et sulfaté calcique et magnésienne, chloruré sodique, chlorurée potassique, et sulfaté sodique. L'augmentation des valeurs de SAR (augmentation de concentration des éléments de  $\text{Na}^+$ ) qui est accompagné par la précipitation des éléments de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  est remarquée. Cette variation de faciès chimique d'une année à l'autre est justifiée par la variation des valeurs de quelques facteurs climatiques (températures (20,33), évaporations (135,51mm) et précipitations (386,10mm)).

- **Période 2006 à 2007**

Les deux diagrammes globales de ces campagne (2006-2007) sont presque identique, qui sont fait ressortir le faciès ; chlorurée potassique et sulfaté sodique, ce que explique toujours l'augmentation de SAR qui est accompagné par la précipitation des éléments  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ . Ceci, montré par les variations climatiques c-à-dire l'augmentation de l'évaporation (153,145mm) et diminution de la précipitation (349,178mm), ainsi que la lithologie traversée, et rejets domestiques qui sont l'origine de ces faciès.

- **Période 2008 à 2009**

Le faciès chloruré sodique et sulfato-potassique est moyennement fréquent dans les eaux du barrage. Ce faciès présente un pourcentage qui dépasse 91 % des analyses. Il est caractérisé les eaux les plus minéralisées (conductivités  $> 1000\mu\text{s}/\text{cm}$ ). Ce faciès est caractérisé par des teneurs élevées en sulfates et en chlorures avec un maximum de 492,21mg/l et un minimum de 224,83mg/l.

Les eaux de ce faciès sont fortement minéralisées et par suite sursaturées vis-à-vis de pas mal de minéraux et notamment les carbonatés. Ces eaux restent tout de même sousaturées vis-à-vis des évaporites et notamment le gypse.

- **Période 2010**

Le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien représente (66,66%) des eaux étudiées. C'est le faciès le plus dominant dans la région. La conductivité est moyenne, elle varie entre un minimum de 919,28 $\mu$ s/cm et d'un maximum de 2990 $\mu$ s/cm. Les eaux sont moyennement riches en différents éléments chimiques, les teneurs du calcium varient d'un minimum de 78,25mg/l et d'un maximum de 137,05mg/l. De même, les teneurs des sulfates varient de 266,83 mg/l à 398,83 mg/l.

Les eaux sont moyennement chargées et sont sursaturées vis-à-vis de la dolomite. En plus, l'augmentation du taux de nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans certain mois est lié à la pollution due aux eaux d'irrigation.

## **6. Aptitude des eaux du barrage de Sidi yacoub à l'irrigation**

Dans les zones arides et semi-arides, l'approvisionnement en eau d'irrigation constitue l'un des facteurs déterminants dans la production agricole, aussi bien dans l'intensification des cultures, que dans l'extension des surfaces irriguées. Pour les régions semi-arides, les eaux superficielles constituent la principale source d'eau d'irrigation.

Dans le but d'étudier la qualité des eaux de barrage à l'irrigation, on a fait recours à la méthode de RICHARDS (logiciel Diagramme). Il met en évidence différentes classes d'eau qui ont été définies sur la base du taux d'absorption de sodium (S.A.R) et sur la concentration de l'eau sous la forme de la conductivité électrique (en  $\mu$ s/cm à 25°C).

Les histogrammes (figure V-6 et figure V-7) montrent la répartition des analyses d'eaux d'irrigation en fonction de la conductivité électrique (risque de salinisation) et le SAR (risque d'alcalinisation).

En ce qui concerne la conductivité électrique (CE) 77,78 % des eaux appartiennent à la classe C3 (risque moyen), La classe C4 (risque élevé) avec 22,22 %. Les classes C1 (risque faible), C2 (risque faible à moyen) et C5 (risque très élevé) sont inexistantes dans les eaux analysées.

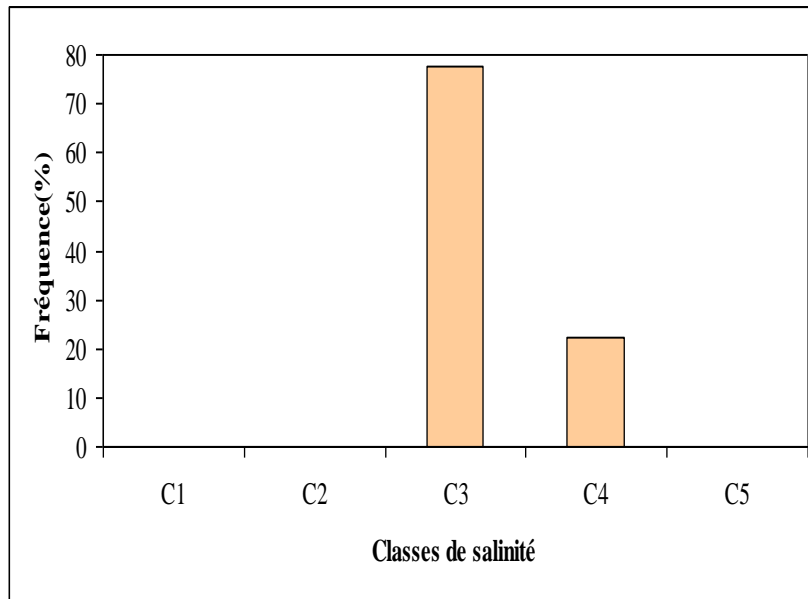


Figure (V-6): Risque de salinisation des eaux d’irrigation.

Pour le SAR, les classes S1 et S2 présentent des proportions très importantes 55,56 % et 44,44 % de la totalité des mois. Les classes S3 (risque élevé) S4 (risque très élevé) sont nulles.

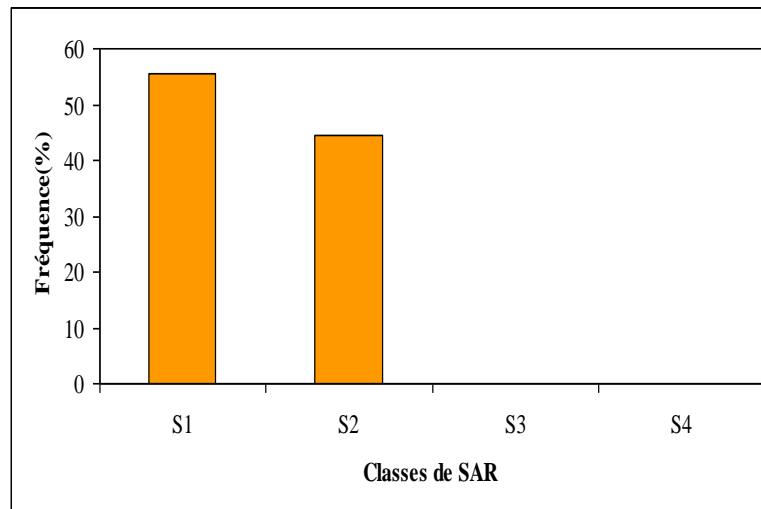


Figure (V-7): Risque d’alcalinisation des eaux d’irrigation.

La figure (V-8) présente la projection des mois analysés sur le diagramme de RIVERSIDE et l’interprétation des classes issues de cette projection.



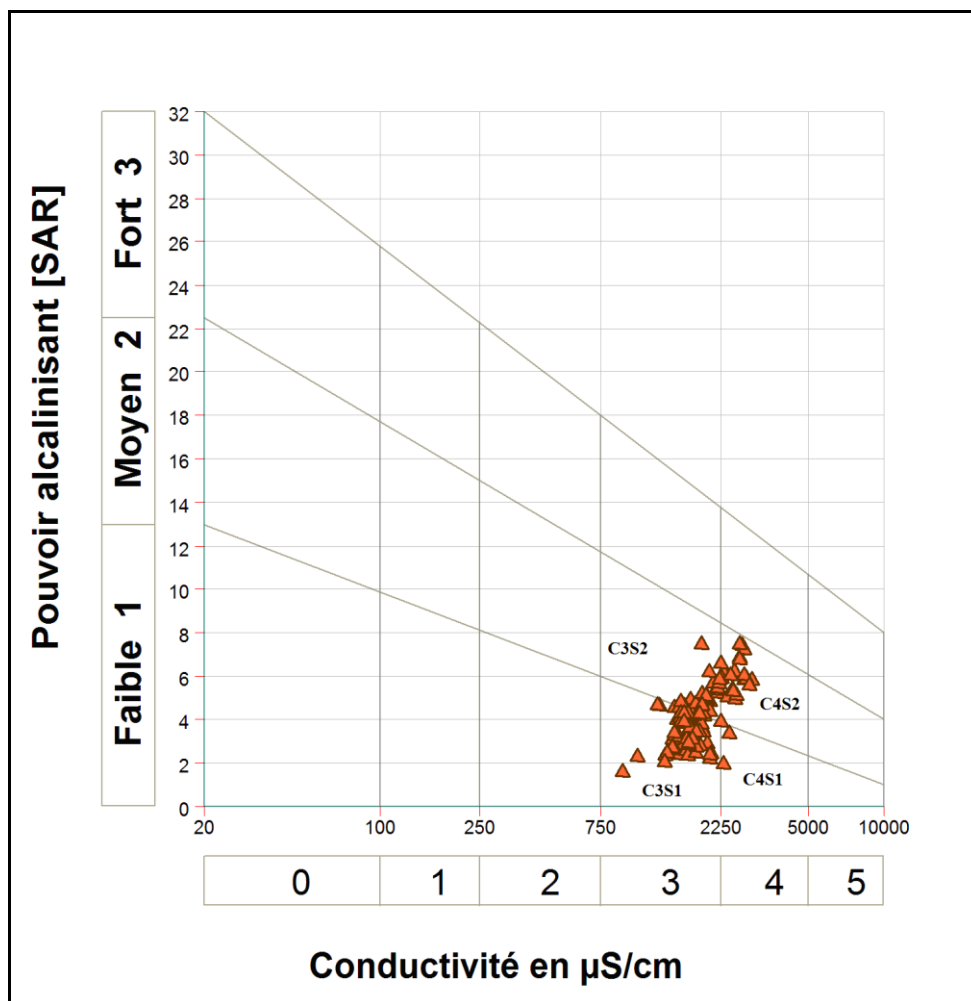


Figure (V-8) : classification des eaux d'irrigation sur le diagramme Riverside (1954) pendant la période (2002 à 2010).

Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de Richards, selon la conductivité électrique et la valeur de SAR.

La projection des points sur le diagramme de RIVERSIDES montre que la classe **C3S1** est la plus dominante (**60%**). Les eaux de cette classe sont de qualité moyenne à médiocre qui doit être utilisée avec précaution ; nécessite un drainage préalable avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.

Ce pendant, on retrouve les classes **C3S2**, **C4S1** qui présentent une qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse. (**Durand, 1982**). Ces classes à faible taux **16 %** et **3%** respectivement.

On retrouve aussi la classe **C4S2** avec un taux de **21 %**, qui présente une qualité très mauvaise qui sera utilisée que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse.

Les eaux du barrage de Sidi Yacoub présentent, en général, les mêmes qualités pour l'irrigation au cours de toute la période d'observation (2002-2010). La dégradation observée traduit l'effet de la lithologie d'une part et l'effet de l'évaporation d'autre part (augmentation des concentrations).

## **Conclusion**

Dans le but de contrôler la qualité des eaux de la région d'étude, des campagnes d'échantillonnage des eaux de surface ont été réalisées et ont été soumises à des analyses physicochimiques.

Les résultats ainsi obtenus montrent des températures moyennes de 19,73°C des eaux de surface. Des teneurs en oxygène dissous de 83,13% et un pH de 7,57 des eaux de notre barrage.

Les eaux de notre barrage présente une salinité variable, la forte minéralisation s'observe où se concentre la plus grande partie de la population avec une moyenne de conductivité électrique de l'ordre de 1970,17  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Les eaux sont caractérisées par une forte salinité et par la présence de deux faciès dominants, qui sont le chloruré et sulfatée calcique et magnésienne et le chloruré sodique et potassique ou sulfatée sodique.

Le suivi de la qualité des eaux dans le temps a montré l'effet des précipitations et de l'évaporation sur la minéralisation des eaux de surface.

L'étude de l'aptitude des eaux du barrage à l'irrigation en utilisant la méthode de Riverside, montre que les eaux du barrage présentent une aptitude permanente entre qualité moyenne à médiocre (C3S1 (60%)), qualité médiocre à mauvaise (C3S2 (16%) – C4S1 (3%)) et une qualité très mauvaise (C4S2 (21%)).

## **Conclusion Générale**

La présente étude, qui a porté sur le bassin versant de l'oued Sly, située au Nord-Ouest de l'Algérie et la qualité des eaux du barrage de Sidi Yacoub, a abouti aux conclusions suivantes :

Le bassin versant de l'Oued Sly (1400 km<sup>2</sup>), présente un climat semi aride, avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec. La pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin est de l'ordre de 366 mm et la température moyenne annuelle est 20, 78 °C. Le régime saisonnier le plus dominant dans la région avec plus de 25% est de type HPAE.

L'analyse des valeurs moyennes des précipitations sur la période (1970-2009) fait apparaître une inégalité dans la distribution spatiale de la pluviométrie dans le bassin versant. Une décroissance des hauteurs annuelles est observée, du Sud vers le Nord. Liée à la présence de reliefs prépondérants dans le sud du bassin, les régions montagneuses de sud reçoivent plus de hauteurs d'eau (531 mm) à la station de Saâdia (1000 m d'altitude). La variabilité interannuelle est analysée par les courbes de tendances de la régression linéaire.

L'analyse de la variabilité spatio-temporelle des précipitations du bassin versant de l'Oued Sly a été étudiée au moyen de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et les tests statistiques, pour un nombre de variables correspondants à 7 postes pluviométriques et ce, sur une période d'observation de 40 ans (1970/71–2009/10). Les premiers résultats montrent que la première composante principale [CP1] explique, à elle seule, plus de 59,22 % de la variance totale. L'analyse de cercle de corrélation laisse apparaître une régionalisation à l'intérieur de la zone d'étude. Nous avons remarqué que les stations s'organisent en 02 groupes; le premier constitue de Souk El Had et Bordj Bou Naâma; le second, de Ain Loulou, Ouled Ben Abdelkader, Oued Sly, Saâdia et Sidi Yacoub .L'A.C.P révèle un découpage suivant la logique, le premier groupe est représentatif de la partie sud du bassin avec une lame de précipitation moyenne (339 à 471mm). Le second ensemble est situé dans la partie Nord, caractérisée par une pluviométrie relativement faible (280 mm).

Pour déceler d'éventuel changement temporelle dans le régime pluviométrique, nous avons utilisé les tests statistiques. L'application des tests de Lee et Heghinian, de Pettitt a permis de détecter une seule rupture tandis que la segmentation de Hubert en a détectée deux ruptures dans les stations Ain loulou et Oued sly. Cette rupture montre que le bassin versant de l'oued Sly s'intègre bien dans la fluctuation générale du régime pluviométrique observée. Il ressort que pour la quasi-totalité des stations, une rupture (diminution de la pluviométrie annuelle) dans les séries étudiées apparaît entre 1971 et

1986 avec un seuil de signification variable d'une station à une autre. Seuls deux postes enregistrent une rupture située en dehors de ces dates (2001 pour la station de l'oued sly et 2004 pour celle d' Ain Loulou). Ces résultats confirment l'apparition d'un déficit pluviométrique à partir de 1971, et la poursuite de celui-ci durant la décennie 86-90.

La caractérisation de la sécheresse météorologique par l'indice SPI-annuel permet d'apparaître ; des périodes à tendance moyennement sèche, dont l'extension a été à peu près généralisée à l'échelle du bassin versant qui sont : 1981, 1989, 1992, 1993, 1999 et 2004.

Des périodes à tendance humide affectent la majorité des stations; qui sont : 1971, 1972, 1976, 1978, 1985 et 2009.

Des périodes sévèrement sèches sont observées dans le bassin versant de l'Oued Sly. Trois à la station de Souk El Haad durant les années (1974,1999 et 2004); deux à la station de Bordj bou nâama (1982 et 1999); deux à la station de Ain Loulou (1989 et 1993); une à la station de l'oued Sly (1989); deux à la station de Sâadia (1981 et 1989); et deux à la station de Sidi yacoub BGE (1981 et 2004). La station de Ouled Ben AEK ne présente aucune période sévèrement sèche.

En suivant l'évolution de l'indice SPI durant la période étudiée, nous avons pu estimer qu'en terme de fréquence cette méthode indique un pourcentage moyen de 18 % d'années sèches dont 12 % représente une sécheresse modérément sèche, contre 18 % d'années humides et 64 % d'années normales.

La physico-chimie des eaux du barrage a montré que ces eaux sont fortement minéralisées avec des valeurs de conductivité électrique arrivant parfois jusqu'à 2990  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Ces eaux se répartissent globalement en deux faciès chimiques dominantes; (chloruré et sulfaté calcique et magnésienne) et (chloruré sodique et sodique potassique).

La quantité de la matière organique durant les années d'observation varie de 5,91 à 7,55 mg/l. Des pics de matière organique ont été enregistrés pour les mois de novembre 2007 (9,5 mg/l), et août 2008 (9,8 mg/l).

Le suivi de la qualité des eaux dans le temps a montré l'impact des facteurs climatiques (les précipitations et l'évaporation) sur la minéralisation des eaux du barrage.

Les classifications de Richards ont montré la dégradation de la qualité des eaux pour l'irrigation. Les eaux de notre barrage présentent une aptitude permanente entre qualité moyenne à médiocre (C3S1 (60%)), qualité médiocre à mauvaise (C3S2 (16%) –C4S1 (3%)) et une qualité très mauvaise (C4S2 (21%)).

D'une manière générale les eaux du barrage de Sidi Yacoub sont caractérisées par un risque de salinisation que par un risque d'alcalinisation. Ceci est confirmé par le fait que dans la majorité des classes d'aptitude des eaux, la classe de conductivité électrique est supérieure à celle du SAR. Plus la salinité sera élevée, plus l'indice SAR pourra poser des problèmes d'infiltration.

Finalement, notre écosystème est vulnérable à un éventuel changement climatique, il est donc indispensable d'encourager et de promouvoir les efforts entrepris dans le domaine de la recherche scientifique pour aboutir à des travaux pluridisciplinaires sur le problème l'impact du changement climatique sur les ressources en eau.

## Table des matières

Remerciements

Résumé

ملخص

Abstract

Liste des abréviations et des paramètres utilisés

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

### Chapitre I : Aperçu bibliographique

1. Sécheresse .....	3
Introduction .....	3
1.1. Définitions et concepts de la sécheresse .....	3
1.2. Des sécheresses différentes mais interdépendantes.....	5
1.2.1. Les types de sécheresse.....	5
1.2.1.1. Sécheresse météorologique .....	5
1.2.1.2. La sécheresse agricole .....	6
1.2.1.3. Sécheresse hydrologique .....	6
1.2.1.4. La sécheresse socio-économique.....	7
1.2.2. Relations entre les différents types de sécheresse .....	8
1.3. Indices de sécheresse.....	9
1.3.1. Indice de l'écart à la moyenne (Em) .....	9
1.3.2. Indice de pluviosité (Ip) .....	10
1.3.3. Rapport à la normale des précipitations (RN).....	10
1.4. Indices de sévérité de la sécheresse.....	11
1.4.1. Indice de sévérité de la sécheresse de Palmer .....	11
1.4.2. Indice standardisé de précipitation.....	11
1.5. Sécheresse et aridité.....	14
1.5.1. Les indices de l'aridité.....	14
Conclusion.....	15
2. Quelques exemples de travaux réalisés dans le monde et en Algérie sur la problématique de la sécheresse .....	16
2.1. Dans le monde .....	16
2.1.1. AU MEXIQUE .....	16
2.1.2. EN INDE .....	16
2.1.3. EN TURQUIE .....	17
2.1.4. EN ESPAGNE .....	18

2.1.5. EN SERBIE .....	18
2.1.6. EN ETHIOPIE .....	19
2.1.7. EN ITALIE .....	19
2.1.8. EN TUNISIE .....	19
2.1.9. AU MAROC .....	21
2.2. EN ALGERIE .....	21
3. Qualité des eaux .....	23
3.1. Qualité des eaux de surface .....	23
3.1.1. Origine .....	23
3.1.2. Caractéristique générale des eaux de surface .....	23
3.1.3. Pollution des eaux de surface .....	24
3.2. Eutrophisation des lacs de Barrages .....	25
3.3. Qualité de l'eau d'irrigation .....	27
3.3.1. Problèmes liés à la qualité des eaux en agriculture irriguée .....	27
3.3.1.1. Les normes d'une eau d'irrigation .....	27
3.3.1.2. Classification des eaux d'irrigation .....	28
3.3.1.3. La classification des eaux par Riverside (1954) .....	29

## **Chapitre II : Cadre physique de l'étude**

1. Situation géographique .....	32
1.2. L'étude géologique de la région .....	33
1.2.1. La géologie .....	33
1.2.2. Lithostratigraphie .....	34
1.3. Le Relief .....	36
1.4. Le Réseau hydrographique .....	37
1.5. Le Couvert Végétal .....	38
2. Description du bassin versant du barrage de Sidi Yacoub .....	39
2.1. Situation géographique .....	39
2.2. Réseau hydrographique .....	40
2.3. Hydrologie .....	41
2.4. Topographie et paramètres physiographiques .....	41
2.5. Géologie et géomorphologie .....	42
2.6. Couvert végétal .....	43
2.7. Caractéristiques sociodémographiques .....	44
2.8. Occupation du sol .....	45
3. Etude climatique du bassin versant de l'Oued Sly .....	46
3.1. Pluviométrie .....	46
3.1.1. Variation mensuelle .....	46
3.1.2. Variation saisonnière .....	47
3.1.3. Variation annuelle .....	48
3.2. Température .....	49

3.3. Humidité relative -----	50
3.4. Le Vent-----	50
3.5. Evaporation-----	51
4. Etude des indices climatiques .....	51
4.1. Diagramme Ombrothermique-----	51
4.2. Indices climatiques -----	52
4.2.1. Indice d'aridité annuelle de DE MARTONNE-----	52
4.2.2. Indice d'aridité mensuelle de DE MARTONNE-----	53
5. Evapotranspiration et déficit d'écoulement .....	53
5.1. Evapotranspiration -----	53
5.1.1. Évapotranspiration potentielle (ETP)-----	54
5.2. Le bilan hydrologique-----	55
5.2.1. Théorie du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite-----	55
5.2.2. Interprétation du bilan hydrologique-----	56
6. Pollution en amont du Bassin versant du barrage Sidi Yakoub .....	57
6.1. Pollution domestique-----	57
6.2. Pollution Industrielle-----	58
6.3. Pollution agricole-----	58
6.4. Pollution des décharges publiques -----	58
6.5. Pollution des déchets hospitaliers -----	58
<b>Chapitre III: Variabilité spatio-temporelle du régime pluviométrique dans le bassin versant de l'oued Sly</b>	
Introduction .....	59
1. Réseau pluviométrique du bassin versant de l'Oued Sly .....	59
1.1. Estimation des données manquantes-----	60
1.2. Variabilité inter-annuelles des précipitations-----	61
1.3. Variabilité intra-annuelle des précipitations -----	64
1.3.1. Précipitations mensuelles-----	64
1.3.2. Régimes pluviaux saisonniers -----	66
2. Analyse en Composantes Principales (ACP) .....	67
2.1. Principes -----	67
2.2. Application de l'ACP aux données du bassin versant de l'Oued Sly -----	67
2.3. Résultats de l'A.C.P-----	68
3. Méthodes statistiques de détection des ruptures dans la série chronologique .....	71
3.1. Détection des ruptures dans les séries chronologiques étudiées. -----	73
4. Ajustement fréquentielle des précipitations à une loi théorique .....	75
4.1. Echelle mensuelle -----	76
4.2. Echelle annuelle -----	79



**Chapitre IV: Caractérisation de la sécheresse météorologique dans le bassin versant**

Introduction .....	82
1. Evaluation de la sécheresse météorologique par l'indice standardisé de précipitation (SPI) .....	82
2. Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuelle) à partir des précipitations recueillies dans les sept stations météorologiques .....	88

**Chapitre V: Evaluation de la qualité des eaux du barrage de Sidi Yacoub**

Introduction .....	93
1. Prélèvement de l'eau .....	93
1.1. Moyenne et méthodes d'analyse .....	93
1.1.1. Mesures effectuées in-situ .....	93
1.1.2. Analyses effectuées au laboratoire .....	94
2. Contrôle des résultats obtenus par la méthode du bilan ionique .....	95
3. Méthodologie de la classification .....	96
3.1. Définition des quatre classes de qualité .....	96
4. Résultats et interprétations .....	97
4.1. Description sommaire des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage de Sidi Yacoub .....	97
4.2. Interprétation des résultats analytiques .....	99
5. Principaux faciès chimiques .....	110
5.1. Représentation graphique des faciès chimiques .....	110
5.1.1. Diagramme de PIPER .....	110
6. Aptitude des eaux du barrage de Sidi yacoub à l'irrigation .....	115
Conclusion .....	118

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexes

## Liste des figures

Figure (I-1) : Le phénomène de la sécheresse et le rôle des mesures d'atténuation de la sécheresse .....	7
Figure (I-2) : Relations entre les différents types de sécheresse.....	9
Figure (I-3) : Diagramme de Richards (1954).....	31
Figure (II-1) : Localisation du bassin versant de l'Oued Sly.....	33
Figure (II-2) : Carte géologique du bassin versant de l'oued Sly (ABH-CZ). ....	36
Figure (II-3) : Carte topographique du bassin versant de l'Oued Sly (ABH-CZ). ....	37
Figure (II-4) : Carte de réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Sly (ABH-CZ). ....	39
Figure (II-5) : Carte de réseau hydrographique du bassin versant de Sidi Yacoub .....	41
Figure (II-6) : Localisation du bassin versant de Sidi Yacoub. ....	42
Figure (II-7) : Carte géologique du bassin versant de Sidi Yacoub.....	43
Figure (II-8) : Carte de couvert végétal du bassin versant de Sidi Yacoub. ....	44
Figure (II-9) : Carte d'occupation du sol du bassin versant de Sidi Yacoub. ....	45
Figure (II-10) : Précipitations moyennes mensuelles à la station Sidi Yacoub .....	47
Figure (II-11) : Précipitations moyennes saisonnières de la station Sidi Yacoub .....	48
Figure (II-12) : Précipitations annuelles de la station Sidi Yacoub (1999-2010).....	50
Figure (II.13) : Températures mensuelles de la station de Sidi Yacoub (1999-2010).....	51
Figure (II-14) : Diagramme Ombrothermique de la station de Sidi yacoub (1999-2010).....	52
Figure (II-15) : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite.....	57
Figure (III-1) : Réseau pluviométrique du bassin versant de l'Oued Sly (ABH-CZ). ....	61
Figure (III-2) : Variabilité temporelle des précipitations annuelles dans le bassin versant de l'Oued Sly. ....	63
Figure (III-3) : Variabilité des précipitations mensuelles dans le bassin versant de l'Oued Sly. ....	65

Figure (III-4) : Projection des variables sur le plan (1-2).....	70
Figure (III-5) : Projections des observations actives sur le plan (1-2).....	71
Figure (III-6) : Variabilité temporelle de [CP1].....	71
Figure (III-7) : Identification de la période des ruptures entre 1970 et 2009.....	76
Figure (III-8a) : Ajustement des précipitations mensuelles de la station (012308) à la loi log-normale.....	78
Figure (III-8b) : Ajustement des précipitations mensuelles de la station (012308) à la loi log-normale.....	79
Figure (III-9) : Ajustement des précipitations annuelles de la station (S4) à la loi log normale.....	82
Figure (IV-1) : Fréquence des valeurs du SPI (%) pour les sept stations.....	85
Figure (IV-2) : Évolution de l'intensité de la sécheresse mensuelle (SPI) dans les sept stations.....	86
Figure (IV-3) : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuelle) dans la station de (Souk El Haad).....	90
Figure (IV-4) : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuelle) dans la station de (Bordj Bou Nâama).....	90
Figure (IV-5) : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuelle) dans la station de (Ain Loulou).....	91
Figure (IV-6) : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuel) dans la station de (Ouled Ben Abdelkader).....	91
Figure (IV-7) : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuel) dans la station de (l'Oued Sly).....	92
Figure (IV-8) : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuelle) dans la station de (Sâadia).....	92

Figure (IV-9) : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI annuelle) dans la station de (Sidi Yacoub).....	93
Figure (V-1): Variation mensuelles des paramètres organiques en fonction du temps (2002-2010).....	101
Figure (V-2) : Variation mensuelles des paramètres azotés en fonction du temps (2002-2010).....	104
Figure (V-3a) : Variation mensuelles des paramètres minéraux en fonction du temps (2002-2010).....	106
Figure (V-3b) : Variation mensuelles des paramètres minéraux en fonction du temps (2002-2010).....	108
Figure (V-4): Variation mensuelles des paramètres physiques en fonction du temps (2002-2010).....	109
Figure (V- 5a) : Diagrammes de Piper mensuelles pour l'année 2002.....	113
Figure (V- 5b) : Diagramme de Piper annuelle pour l'année 2002.....	114
Figure (V-6) : Risque de salinisation des eaux d'irrigation.....	117
Figure (V-7) : Risque d'alcalinisation des eaux d'irrigation.....	117
Figure (V-8) : classification des eaux d'irrigation sur le diagramme Riverside (1954) pendant la période (2002 à 2010).....	118

**Liste des tableaux**

Tableau (I-1): SPI et classes de sévérité associées (McKee et al., 1993).....	12
Tableau (I-2): Grille de qualité générale des eaux de surface (A.N.R.H, 2000).....	24
Tableau (I-3): Les normes des eaux d'irrigation (FAO., 1996).....	28
Tableau (I-4): Évaluation du danger de salinité selon plusieurs sources.....	29
Tableau (I-5): Les classes de SAR et leurs interprétations (Durand., 1982).....	30
Tableau (I-6): Interprétation des classes issues de diagramme de Richards selon (Durand; 1982).....	31
Tableau (II-1) : Caractéristiques morphologique et hydrographique du bassin versant de l'Oued Sly .....	40
Tableau (II-2) : Principales caractéristiques physiographiques du bassin versant du barrage de Sidi Yacoub.....	42
Tableau (II-3) : les communes les plus importantes du bassin versant .....	44
Tableau (II-4) : Occupation du sol dans le bassin versant de Sidi Yacoub. ....	45
Tableau (II-5) : les stations pluviométriques disponibles.....	46
Tableau (II-6): Précipitations moyennes mensuelles et leur contribution à la pluie moyenne annuelle (1999-2010). ....	47
Tableau (II-7) : Précipitations moyennes saisonnières et leur contribution à la pluie moyenne annuelle (1999-2010). ....	47
Tableau (II-8) : Températures mensuelles de la station de Sidi Yacoub (1999-2010). ....	50
Tableau (II-9) : Humidité relative moyenne mensuelle à la station de Sidi Yacoub (1999-2010).....	51
Tableau (II-10) : vitesse moyenne mensuelle du vent à la station de Sidi Yacoub (1999-2010). ....	52
Tableau (II-11) : Évaporations moyennes mensuelles dans la station de Sidi Yacoub (1999-2010).....	52
Tableau (II-12) : Indice d'aridité mensuelle de DE MARTONNE .....	53
Tableau (II-13) : Calcul de l'évapotranspiration potentielle de la station de Sidi Yacoub (1999-2010).....	55
Tableau (II-14) : Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.....	56
Tableau (II-15) : Charge polluante en Eqh des rejets domestiques. ....	58
Tableau (III-1) : Stations pluviométriques du bassin versant de l'oued Sly. ....	61
Tableau (III-2) : Paramètres statistiques des précipitations des stations étudiées.....	62

Tableau (III-3) : Précipitations moyennes mensuelles des différentes stations (1970/09).....	64
Tableau (III-4) : Régime saisonnier du bassin versant de l'Oued Sly.....	66
Tableau (III-5) : Pourcentage du régime saisonnier dans le bassin versant de l'Oued Sly. ....	67
Tableau (III-6) : Résultats de l'analyse en composantes principales.....	68
Tableau (III-7) : Projection des variables actives.....	68
Tableau (III-8): Résultats des tests de détection de rupture appliqués aux séries pluviométriques annuelles.....	75
Tableau (III-9) : Ajustement des précipitations mensuelles du mois de septembre à la loi log-normale.....	77
Tableau (III-10): Équations d'ajustement mensuel à la loi Log - Normale, à l'échelle mensuelle.....	79
Tableau (III-11) : Précipitations mensuelles pour différentes périodes de retour.....	80
Tableau (III-12) : Ajustement des précipitations annuelles de la station (S4) à la loi log normale.....	81
Tableau (III-13) : Précipitations annuelles pour différentes périodes de retour.....	82
Tableau (IV-1) : L'interprétation du SPI par rapport à leur valeur et leur probabilité selon (McKee et al., 1993).....	84
Tableau (IV- 2) : Durée des périodes humides dans les différentes stations (1970 -2009)....	85
Tableau (IV- 3): Durée des périodes normale dans les différentes stations (1970 -2009).....	86
Tableau (IV- 4): Durée des périodes sèches dans les différentes stations (1970 -2009).....	86
Tableau (IV- 5) : Caractérisation de la sécheresse par l'indice (SPI) des différentes stations pluviométriques.....	88
Tableau (IV-6) : Fréquence (%) de l'indice de sécheresse (SPI) à l'échelle du bassin de l'oued Sly.....	89
Tableau (V-1) : les méthodes d'analyse (A.N.R.H ,2000).....	95
Tableau (V-2): Bilan ionique des eaux du barrage de Sidi Yacoub pour Février et Août de l'année 2002.....	97
Tableau (V-3) : Grille de qualité générale des eaux de surface (A.N.R.H, 2000).....	98
Tableau (V- 4) : Variation des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage.....	99
Tableau (V-5) : Fréquences (%) des éléments minéraux selon les normes de l'ANRH pendant la période (2002-2010).....	101
Tableau (V- 6): Faciès chimiques des eaux du barrage de Sidi yacoub.....	111

**Liste des abréviations et des paramètres utilisés**

- ABH** : Agence des bassins hydrographiques.  
**ANRH** : Agence nationale des ressources hydrauliques.  
**FAO** : Food and Agronomical Organisation.  
**OMM** : Organisation mondiale de la météorologie  
**ONM** : Office national de la météorologie.

\*\*\*\*\*

- ACP** : Analyse en Composantes Principales.  
**Em** : Indice de l'écart à la moyenne.  
**I** : Indice d'aridité.  
**Ip** : Indice de pluviosité.  
**PDSI** : Palmer Drought Severity Index.  
**RN** : Rapport à la normale des précipitations.  
**SPI** : Standardized Precipitation Index.

\*\*\*\*\*

- CE** : Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).  
**Da** : Déficit Agricole (mm).  
**ETP** : Evapotranspiration potentielle (mm).  
**ETR** : Evapotranspiration Réelle (mm).  
**P** : Précipitations (mm).  
**RFU** : Réserve Facilement Utilisable (mm).  
**SAR** : Sodium Absorption Ratio.  
**T** : Température ( $^{\circ}\text{C}$ ).  
**Ws** : Excédent en eau du sol (mm).

*Références bibliographiques*

1. **ABH. CHLEF-Z., (2005):** Evaluation des ressources en eau et en sol. Ministère des ressources en eau, pp 6-29.
2. **ABRAMOWITZ M. & STEGUN A., (1965):** Handbook of mathematical formulas, graphs, and mathematical tables, New-York: Dover, 1046 p.
3. **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.
4. **ACHITE M., & AMRANI R., & BELHADJ LARBI B., (2011):** Assessment of meteorological drought using SPI indice in the wadi sly basin, Algeria, The first International Conference on Water, Energy and Enviroment (ICWEE 2011), 14 – 17 november 2011, Sharjah, UAE
5. **ACHOUR F., (1997):** Conditions hydrologiques et disponibilité en eaux en région semi aride: Application de méthodologies nouvelles au bassin du Chelif (Algérie). Thèse de Doctorat d'Université, Univ. des Sci . et Tech, de Franche-Comté, Besançon, France.
6. **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.
7. **Anneville O., Angelli N., Gino V., Pelletier JP., (2001):** Ambiguïté sur l'état trophique du léman : vers un indice fondé sur les associations d'espèces. In état de santé des écosystemes aquatiques 1996-1999., Cemegref. Edition pp.153-175.
8. **ANRH., (2000).** Bulletin de la qualité des eaux des cours d'eaux du bassin Cheliff.
9. **ARIS M., et BOUNADJA A., (2002):** Contribution à l'étude du régime thermo-pluviométrique sur la région du Chélif, thèse d'ingénieur d'état en biologie (UHBC), 2-12p.
10. **AYERS R.S et WESTCOT D.W., (1988):** La qualité de l'eau en irrigation. Bulletin de la FAO d'irrigation et de drainage.29Rév. 1,165p.
11. **AZZAZ H., (2001):** Impact du climat sur les ressources en eau superficielles et souterraines dans les bassins versants de la haute et la moyenne Tafna. Mémoire de magister, C.U.Mascara, novembre 2001.
12. **BARROIN G., (1999):** Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. I.NIR.A. Thonon-les-Bains, 119p.
13. **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.
14. **BELTRANDO G. & CHEMERY L., (1995):** Dictionnaire du climat, Collection Références Larousse, Paris, 344 p.
15. **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.
16. **BERAN M. A. et RODIER J. A.,(1987):** Aspects hydrologique des sécheresses, UNESCO/OMM.
17. **BERAN M.A et RODIER J.A., (1987) :** Aspects hydrologiques des sécheresses P4.



18. **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.
19. **BERGAOUI M. et ALOUINI A., (2001):** Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 12, Numéro 4, pp 205-13.
20. **BONACCORSO B., et al., (2003):** Spatial Variability of Drought: An Analysis of the SPI in Sicily. Springer, pp 83-100.
21. **BOUCHRAI S.,(1992):** Diagnostic et contrôle du phénomène d'eutrophisation du barrage de Keddara- Algérie SBGI. Lausanne Suisse, pp10.
22. **CAIRE A. & MATTAUER M. 1953.** Les directions telliennes et sahariennes dans le tell Algérien. Bull. Soc. Nat. du Doubs n°57. 149 P.
23. **CAIRE A. 1957.** Données et hypothèse relatives aux nappes du tell Algérien, Bull. Soc. Géol. France. PP 893 – 900.
24. **CASTANY G., 1982.** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. 2<sup>ème</sup> cycle. édit. Dunod. Paris. 236 p.
25. **DURAND J.H., (1982):** Les sols irrigables : étude pédologique. p399.
26. **ELBOUQDAOUI K., HAIDA S., ABOULABBES O., BENAABIDAT L., ZAHRAOUI M. et OZER A., (2006):** Évolution du régime pluviométrique ethydrométrique du bassin versant du Srou (Moyen Atlas, Maroc), Geo-Eco-Trop, vol 30.2 - pp 41-56.
27. **ELLOUZE M. et ABIDA H., (2008):** Caractérisation de la sècheresse au sud Tunisien, 13th World Water Congress, Montpellier, France, 14 p.
28. **ELOUISSI A., (2004):** impact des changements climatiques sur les ressources hydriques et la diversité biologique. Mémoire de magister, C.U.Mascara.
29. **FAO., (1996):** la qualité d'eau dans l'irrigation, bulletin n°29 de l'Organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture.
30. **GAID A., 1984.** Epuration biologique des eaux usées urbaines. Tome I. p(1).
31. **GAUTIER F., LUBES-NIEL H., SABATIER R., MASSON J.M., PATUREL J.E., & SERVAT E.,(1998):** Variabilité du régime pluviométrique de l'Afrique de l'ouest non sahéenne entre 1950 et 1989, Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydroloquiqueq 43 (6), 923 p ; (Tunis du 28 AU 31 Mai 2001).
32. **GEBREHIWOT T. et al., (2010):** Spatial and temporal assessment of drought in the Northern highlands of Ethiopia. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, pp 309–321.
33. **GENTIL L., 1918.** Les nappes de charriages de l'Afrique du Nord. R.Gen.Soc.XXX n°19. 535P.
34. **GHERINA S.A., (2008):** Impact de la qualité des eaux souterraines dans l'irrigation sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-chélif - Apport de la télédétection. Mémoire Magister, Ressources en eaux – Centre universitaire Khemis Miliana. 126P
35. **GROSCLAUDE G., 1999.** L'eau usage et pollution. Edit. INRA. 144 p.
36. **GUTTMAN N.B., (1998):** Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index, Journal of the American Water Resources Association, 34 (1), pp. 113–121.

37. **HENNIA K., (2006)**: Contribution à la gestion qualitative des eaux souterraines dans les zones semi-aride Application au moyen Cheliff occidental. Mémoire de magister, université de Chlef. pp 4-19
38. **ISABELLA B., et al., (200)**: The analysis of the Standardized Precipitation Index in the Mediterranean area: large-scale patterns. *Annali Di Geofisica*, vol.44, N° 5/6, pp 965-978.
39. **JACQUET S., (2005)**: Impact des apports en nutriments sur le réseau trophique planctonique du lagon sud-ouest de la nouvelle Calédonie. Thèse, Doc.Univ.paris VI 278p.
40. **JARRAUD M., (2006)** Organisation météorologique mondiale p4,5.
41. **JEBARI-TESTOURI S., et SLIMANI M-S., (2001)** : Etude fréquentielle des précipitations mensuelles et régimes pluviométriques. Séminaire international sur les petits barrages dans le monde méditerranéen (Tunis du 28 au 31 Mai 2001), 4p.
42. **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.
43. **KHALDI A., (2005)** : Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'ouest Algérien « Monts de Tlemcen – saïda » pages 13,14,15,16.
44. **KHELLAFI I et TEKFA H., (2006)**: Etude des paramètres de calcul de l'érosion spécifique du bassin versant de oued Sly. Thèse d'ingénieur. Université de Chlef.
45. **KHLIFI I., (1998)** Méthodes d'estimation des crues. Cas du bassin versant de l'oued sly wilaya de Chleff. P80.
46. **LAIN M.M., (2005)**: Agricultural vulnerability to drought : A comparative study in Morocco and Spain, Thesis, IAMZ-CIHEAM Zaragoza, Spain.
47. **LUBES H., MASSON J-M., SERVAT E., PATUREL J-E., et BOYER J-F., (1994)**: Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques. Etude bibliographique, Rapport 3, Programme ICCARE. ORSTOM, Montpellier, France.
48. **MARLET S., et Job J.O., (2006)**: Processus et gestion de la salinité des sols. In : Tiercelin, J.R
49. **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.
50. **MEDDI H. et MEDDI M., (2007)**: Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord-Ouest de l'Algérie, *Geographia Technica* n°2.
51. **MEDDI M., HUBERT J., (2000)**: Variabilité pluviométrique dans l'ouest Algérien durant les cinq dernières décennies. 13ème colloque de l'Association Internationale de climatologie. 6 au septembre 2000 Nice, France.
52. **MISHRA A.K. et DESAI V.R., (2005)**: Drought forecasting using stochastic models (stoch environ resrisk assess n° 19, pp 326-339. India.
53. **MOKISST A., (1996)**: la sécheresse dans le climat marocain atelier sur la prévention et la gestion des situations de sécheresse dans le pays du maghreb juin 1996 p 107-124.
54. **NDMC (2008)**: National Drought Mitigation Center; Consulté en ligne : <http://enso.unl.edu/ndmc>.
55. **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.

56. **PANDAY RP. et al., (2010):** Integrating Hydro-Meteorological and Physiographic Factors for Assessment of Vulnerability to Drought. Water Resour Manage, DOI 10.1007/s11269-010-9653-5.
57. **PERRODON A., (1957):** Étude géologique des bassins néogènes sub-littoraux de l'Algérie occidentale. Bulletin du Service de la Carte géologique d'Algérie 12: 1-382.
58. **PINNEL-ALLOUL B., MAZUMDER A., LACROIX G et LAZZARO X., (1998):** Les réseaux trophiques lacustres : Structure, fonctionnement interactions et variations spatio-temporelles. Rev. Sci.Eau, N° spécial : 163-197.
59. **POLVÊCHE J., 1960.** Contribution à l'étude géologique de l'Ouarsenis Oranaie. Pub.serv.carte géol. n°24. 577p.
60. **RICHARDS, L.A., (1954):** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agricultural Handbook 60, Washington, 160 pp.
61. **RODIER J.; (1996):** Analyse de l'eau. Ed DUMOND, Paris
62. **SCET-AGRI., (1985):** Etude du réaménagement et de l'extension du périmètre du moyen Cheliff, phase I.
63. **SEBBAR A, BADRI W, FOUGRACH H, HSAINE M et SALOUI A., (2011):** Étude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935-2004). Sécheresse vol, 22, pp 139-48.
64. **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.
65. **STRICEVIC R. et al., (2011):** Drought classification in Northern Serbia based on SPI and statistical pattern recognition. Meteorological Applications, vol. 18, issue 1, pp. 60-69.
66. **TECSULT., (2005):** Etude de protection du bassin versant du barrage de Sidi Yacoub. Phase II- description du milieu. Ministère des ressources en eau ANBT. 05-14250.
67. **THOM H.C.S., (1958):** A note on the gamma distribution, Monthly Weather Review, 86 (4), pp. 117–122.
68. **VICENTE-SERRANO S M, et al., (2004):** Drought patterns in the Mediterranean area: the Valencia region (eastern Spain). Climate ResearchClim Res, Vol.26, pp 5–15.
69. **WILHITE D. A. & GLANDZ M. H., (1985):** Understanding the drought phenomenon. The role of definitions, Water International No. 3, pp. 111-120.
70. **YILDIZ O., (2009):** Assessing temporal and spatial characteristics of droughts in the Hirfanli dam basin, Turkey. Scientific Research and Essay Vol 4 (4), pp 249-255.

**Annexe I :****Tableau 01 :** Ajustement des précipitations mensuelles du moi de Septembre à loi Log-normale.

Taille n= 36		Moy.log(x-xo) = 0,94			I.C. à (en%) = 95		U Gauss = 1,960	
Xo = 0		E.T. log(x -xo) = 0,54						
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
0,40	0,40	1	0,01	-2,20	0,40	0,55	0,21	1,05
9,51	0,46	2	0,04	-1,73	0,46	0,99	0,44	1,74
31,10	0,81	3	0,07	-1,48	0,81	1,36	0,66	2,30
6,39	1,15	4	0,10	-1,30	1,15	1,71	0,87	2,81
1,80	1,80	5	0,13	-1,15	1,80	2,06	1,09	3,32
2,50	2,00	6	0,15	-1,02	2,00	2,41	1,32	3,83
17,00	2,50	7	0,18	-0,91	2,50	2,77	1,55	4,35
13,00	4,34	8	0,21	-0,81	4,34	3,15	1,81	4,89
0,46	4,70	9	0,24	-0,72	4,70	3,54	2,07	5,46
5,50	5,50	10	0,26	-0,63	5,50	3,95	2,35	6,06
11,27	6,39	11	0,29	-0,55	6,39	4,38	2,65	6,70
0,81	6,60	12	0,32	-0,47	6,60	4,84	2,97	7,38
9,71	7,19	13	0,35	-0,39	7,19	5,32	3,31	8,11
8,00	8,00	14	0,38	-0,32	8,00	5,84	3,67	8,89
4,34	9,51	15	0,40	-0,25	9,51	6,39	4,05	9,74
16,80	9,71	16	0,43	-0,17	9,71	6,99	4,47	10,67
4,70	11,27	17	0,46	-0,10	11,27	7,63	4,91	11,69
11,50	11,30	18	0,49	-0,03	11,30	8,33	5,39	12,80
15,80	11,50	19	0,51	0,03	11,50	9,09	5,91	14,03
7,19	12,20	20	0,54	0,10	12,20	9,91	6,47	15,40
78,60	13,00	21	0,57	0,17	13,00	10,82	7,09	16,94
31,50	15,80	22	0,60	0,25	15,80	11,83	7,76	18,67
22,09	16,70	23	0,63	0,32	16,70	12,96	8,51	20,64
1,15	16,80	24	0,65	0,39	16,80	14,22	9,33	22,89
19,20	17,00	25	0,68	0,47	17,00	15,65	10,26	25,50
16,70	18,30	26	0,71	0,55	18,30	17,28	11,30	28,55
32,90	19,20	27	0,74	0,63	19,20	19,17	12,49	32,17
12,20	19,80	28	0,76	0,72	19,80	21,39	13,86	36,54
2,00	21,80	29	0,79	0,81	21,80	24,04	15,47	41,91
11,30	22,09	30	0,82	0,91	22,09	27,29	17,40	48,69
6,60	30,20	31	0,85	1,02	30,20	31,38	19,78	57,51
18,30	31,10	32	0,88	1,15	31,10	36,73	22,82	69,54
21,80	31,50	33	0,90	1,30	31,50	44,17	26,93	87,02
19,80	32,90	34	0,93	1,48	32,90	55,51	32,96	115,19
30,20	38,80	35	0,96	1,73	38,80	76,08	43,41	170,27
38,80	78,60	36	0,99	2,20	78,60	136,84	71,86	355,53

**Tableau 02** : Ajustement des précipitations mensuelles du moi d'Octobre à loi Log-normale.

Taille n= 35 X <sub>0</sub> = 0		Moy.log(x-x <sub>0</sub> ) = 1,28 E.T. log(x-x <sub>0</sub> ) = 0,53			I.C. à (en%) = 95		U Gauss = 1,960	
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
4,85	1,20	1	0,01	-2,19	1,20	1,32	0,52	2,49
3,38	2,11	2	0,04	-1,72	2,11	2,35	1,06	4,07
79,87	3,18	3	0,07	-1,47	3,18	3,20	1,56	5,33
2,11	3,38	4	0,10	-1,28	3,38	4,00	2,05	6,50
23,70	4,10	5	0,13	-1,13	4,10	4,79	2,56	7,65
121,10	4,29	6	0,16	-1,01	4,29	5,60	3,09	8,80
9,00	4,85	7	0,19	-0,89	4,85	6,42	3,64	9,98
95,37	6,50	8	0,21	-0,79	6,50	7,27	4,21	11,21
56,20	6,77	9	0,24	-0,70	6,77	8,16	4,82	12,49
6,77	7,41	10	0,27	-0,61	7,41	9,09	5,47	13,85
12,70	9,00	11	0,30	-0,52	9,00	10,07	6,15	15,29
58,97	9,91	12	0,33	-0,44	9,91	11,10	6,88	16,83
4,29	12,70	13	0,36	-0,37	12,70	12,21	7,65	18,48
103,99	15,61	14	0,39	-0,29	15,61	13,38	8,48	20,27
4,10	16,20	15	0,41	-0,22	16,20	14,64	9,36	22,21
42,02	21,06	16	0,44	-0,14	21,06	16,00	10,31	24,32
37,70	22,90	17	0,47	-0,07	22,90	17,46	11,33	26,64
50,20	23,70	18	0,50	0,00	23,70	19,05	12,43	29,19
16,20	24,90	19	0,53	0,07	24,90	20,78	13,62	32,02
47,00	37,70	20	0,56	0,14	37,70	22,68	14,92	35,19
3,18	41,30	21	0,59	0,22	41,30	24,78	16,34	38,75
7,41	42,02	22	0,61	0,29	42,02	27,12	17,90	42,79
48,30	42,20	23	0,64	0,37	42,20	29,73	19,63	47,41
41,30	43,20	24	0,67	0,44	43,20	32,68	21,56	52,75
9,91	46,70	25	0,70	0,52	46,70	36,05	23,73	58,98
15,61	47,00	26	0,73	0,61	47,00	39,94	26,20	66,35
6,50	48,30	27	0,76	0,70	48,30	44,49	29,04	75,22
21,06	50,10	28	0,79	0,79	50,10	49,92	32,37	86,10
50,10	50,20	29	0,81	0,89	50,20	56,54	36,35	99,79
22,90	56,20	30	0,84	1,01	56,20	64,84	41,23	117,56
24,90	58,97	31	0,87	1,13	58,97	75,68	47,45	141,69
43,20	79,87	32	0,90	1,28	79,87	90,68	55,81	176,62
42,20	95,37	33	0,93	1,47	95,37	113,41	68,03	232,61
46,70	103,99	34	0,96	1,72	103,99	154,38	89,05	341,30
1,20	121,10	35	0,99	2,19	121,10	273,90	145,60	702,30

**Tableau 03** : Ajustement des précipitations mensuelles du moi de Novembre à loi Log-normale.

Taille n = 38		Moy.log(x-xo) = 1,34			I.C. à (en%)= 95		U Gauss = 1,960	
Xo = 0		E.T. log(x-xo) = 0,61						
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
1,50	0,08	1	0,01	-2,22	0,08	0,96	0,34	1,96
144,00	0,77	2	0,04	-1,76	0,77	1,85	0,77	3,43
11,86	1,50	3	0,07	-1,51	1,50	2,62	1,18	4,65
4,57	4,57	4	0,09	-1,33	4,57	3,37	1,60	5,81
27,10	5,86	5	0,12	-1,18	5,86	4,13	2,05	6,97
25,50	11,86	6	0,14	-1,06	11,86	4,91	2,53	8,15
28,90	14,08	7	0,17	-0,95	14,08	5,72	3,03	9,38
14,50	14,50	8	0,20	-0,85	14,50	6,57	3,57	10,67
85,83	14,90	9	0,22	-0,76	14,90	7,47	4,15	12,02
70,50	17,20	10	0,25	-0,67	17,20	8,42	4,76	13,46
5,86	17,36	11	0,28	-0,59	17,36	9,43	5,42	15,00
34,27	20,20	12	0,30	-0,52	20,20	10,50	6,13	16,65
14,08	21,70	13	0,33	-0,44	21,70	11,65	6,90	18,43
17,36	22,20	14	0,36	-0,37	22,20	12,88	7,71	20,35
37,90	23,00	15	0,38	-0,30	23,00	14,20	8,60	22,43
21,70	25,50	16	0,41	-0,23	25,50	15,63	9,55	24,71
106,30	26,44	17	0,43	-0,17	26,44	17,17	10,58	27,20
20,20	26,70	18	0,46	-0,10	26,70	18,85	11,69	29,94
28,00	27,10	19	0,49	-0,03	27,10	20,67	12,90	32,97
30,10	28,00	20	0,51	0,03	28,00	22,67	14,21	36,33
29,70	28,90	21	0,54	0,10	28,90	24,86	15,65	40,08
0,08	29,70	22	0,57	0,17	29,70	27,29	17,23	44,30
26,44	30,10	23	0,59	0,23	30,10	29,98	18,96	49,07
14,90	30,70	24	0,62	0,30	30,70	32,99	20,89	54,50
30,70	34,27	25	0,64	0,37	34,27	36,38	23,03	60,74
0,77	34,32	26	0,67	0,44	34,32	40,22	25,43	67,95
49,85	37,90	27	0,70	0,52	37,90	44,61	28,14	76,40
17,20	44,30	28	0,72	0,59	44,30	49,70	31,23	86,39
26,70	49,85	29	0,75	0,67	49,85	55,64	34,80	98,39
73,30	57,10	30	0,78	0,76	57,10	62,71	38,97	113,03
69,50	57,30	31	0,80	0,85	57,30	71,27	43,92	131,28
57,10	57,30	32	0,83	0,95	57,30	81,87	49,94	154,63
57,30	69,50	33	0,86	1,06	69,50	95,42	57,47	185,55
22,20	70,50	34	0,88	1,18	70,50	113,47	67,24	228,45
57,30	73,30	35	0,91	1,33	73,30	139,03	80,66	292,15
23,00	85,83	36	0,93	1,51	85,83	178,92	100,85	397,49
34,32	106,30	37	0,96	1,76	106,30	253,57	136,80	610,84
44,30	144,00	38	0,99	2,22	144,00	486,12	239,51	1374,40

**Tableau 04** : Ajustement des précipitations mensuelles du moi de Décembre à loi Log-normale.

Taille n = 39		Moy.log(x-xo) = 1,58			I.C. à (en%) = 95		U Gauss = 1,960	
Xo = 0		E.T. log(x-xo) = 0,36						
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
58,79	2,94	1	0,01	-2,23	2,94	5,84	3,15	8,90
43,40	6,90	2	0,04	-1,77	6,90	8,61	5,11	12,44
172,84	6,90	3	0,06	-1,52	6,90	10,61	6,60	14,92
30,12	8,00	4	0,09	-1,34	8,00	12,33	7,93	17,04
14,30	12,58	5	0,12	-1,20	12,58	13,91	9,18	19,00
70,40	14,30	6	0,14	-1,08	14,30	15,42	10,39	20,86
46,60	22,20	7	0,17	-0,97	22,20	16,90	11,57	22,67
12,58	26,60	8	0,19	-0,87	26,60	18,35	12,76	24,46
63,50	27,13	9	0,22	-0,78	27,13	19,79	13,94	26,26
31,45	27,66	10	0,24	-0,69	27,66	21,25	15,13	28,08
106,30	30,12	11	0,27	-0,61	30,12	22,72	16,35	29,93
27,13	30,90	12	0,29	-0,54	30,90	24,22	17,58	31,83
2,94	31,45	13	0,32	-0,47	31,45	25,75	18,84	33,79
105,58	35,50	14	0,35	-0,40	35,50	27,32	20,13	35,82
67,00	40,70	15	0,37	-0,33	40,70	28,94	21,46	37,93
88,36	40,80	16	0,40	-0,26	40,80	30,62	22,84	40,14
6,90	41,96	17	0,42	-0,19	41,96	32,37	24,26	42,47
48,20	42,90	18	0,45	-0,13	42,90	34,18	25,73	44,91
40,80	43,00	19	0,47	-0,06	43,00	36,09	27,26	47,51
60,90	43,40	20	0,50	0,00	43,40	38,09	28,86	50,26
8,00	44,80	21	0,53	0,06	44,80	40,19	30,53	53,21
27,66	45,10	22	0,55	0,13	45,10	42,43	32,30	56,38
41,96	46,60	23	0,58	0,19	46,60	44,81	34,16	59,80
40,70	48,00	24	0,60	0,26	48,00	47,37	36,13	63,52
43,00	48,20	25	0,63	0,33	48,20	50,11	38,24	67,58
92,33	58,79	26	0,65	0,40	58,79	53,09	40,49	72,04
44,80	60,00	27	0,68	0,47	60,00	56,33	42,92	76,98
45,10	60,90	28	0,71	0,54	60,90	59,89	45,56	82,51
61,70	61,70	29	0,73	0,61	61,70	63,84	48,46	88,74
48,00	63,50	30	0,76	0,69	63,50	68,26	51,65	95,84
22,20	67,00	31	0,78	0,78	67,00	73,28	55,23	104,06
35,50	70,40	32	0,81	0,87	70,40	79,06	59,29	113,72
78,40	78,40	33	0,83	0,97	78,40	85,85	63,98	125,32
42,90	80,40	34	0,86	1,08	80,40	94,04	69,54	139,64
30,90	88,36	35	0,88	1,20	88,36	104,25	76,35	158,01
26,60	92,33	36	0,91	1,34	92,33	117,67	85,10	182,88
6,90	105,58	37	0,94	1,52	105,58	136,76	97,22	219,64
80,40	106,30	38	0,96	1,77	106,30	168,40	116,64	283,64
60,00	172,84	39	0,99	2,23	172,84	248,45	163,05	459,79

Tableau 05 : Ajustement des précipitations mensuelles du moi de Janvier à loi Log-normale.

Taille n= 39 Xo = 0		Moy.log(x-xo) = 1,57 E.T. log(x-xo) = 0,49				I.C. à (en%) = 95		U Gauss = 1,960	
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure	
43,16	0,80	1	0,01	-2,23	0,80	2,96	1,29	5,22	
53,77	3,04	2	0,04	-1,77	3,04	5,00	2,48	8,19	
85,97	6,79	3	0,06	-1,52	6,79	6,61	3,50	10,46	
12,57	7,07	4	0,09	-1,34	7,07	8,10	4,47	12,52	
0,80	10,70	5	0,12	-1,20	10,70	9,53	5,45	14,48	
22,40	11,90	6	0,14	-1,08	11,90	10,94	6,43	16,42	
89,20	12,43	7	0,17	-0,97	12,43	12,37	7,44	18,37	
151,50	12,57	8	0,19	-0,87	12,57	13,82	8,48	20,35	
149,24	13,90	9	0,22	-0,78	13,90	15,30	9,55	22,39	
71,30	22,40	10	0,24	-0,69	22,40	16,84	10,67	24,50	
6,79	24,50	11	0,27	-0,61	24,50	18,42	11,83	26,69	
48,00	26,67	12	0,29	-0,54	26,67	20,07	13,05	29,00	
7,07	27,20	13	0,32	-0,47	27,20	21,80	14,32	31,42	
51,43	33,20	14	0,35	-0,40	33,20	23,61	15,66	33,98	
96,68	36,00	15	0,37	-0,33	36,00	25,51	17,07	36,71	
152,90	43,16	16	0,40	-0,26	43,16	27,52	18,55	39,61	
68,38	46,80	17	0,42	-0,19	46,80	29,65	20,12	42,72	
46,80	48,00	18	0,45	-0,13	48,00	31,91	21,78	46,07	
13,90	48,90	19	0,47	-0,06	48,90	34,32	23,54	49,68	
70,20	51,43	20	0,50	0,00	51,43	36,90	25,41	53,59	
36,00	53,77	21	0,53	0,06	53,77	39,68	27,41	57,86	
48,90	55,12	22	0,55	0,13	55,12	42,68	29,56	62,54	
3,04	56,40	23	0,58	0,19	56,40	45,93	31,88	67,70	
26,67	61,00	24	0,60	0,26	61,00	49,48	34,38	73,42	
89,40	61,90	25	0,63	0,33	61,90	53,38	37,10	79,79	
87,20	68,38	26	0,65	0,40	68,38	57,68	40,07	86,96	
134,60	70,20	27	0,68	0,47	70,20	62,47	43,34	95,09	
12,43	71,30	28	0,71	0,54	71,30	67,84	46,97	104,37	
61,90	71,50	29	0,73	0,61	71,50	73,92	51,02	115,10	
83,90	83,90	30	0,76	0,69	83,90	80,89	55,59	127,66	
11,90	85,97	31	0,78	0,78	85,97	88,98	60,83	142,60	
71,50	87,20	32	0,81	0,87	87,20	98,55	66,92	160,68	
24,50	89,20	33	0,83	0,97	89,20	110,10	74,14	183,11	
10,70	89,40	34	0,86	1,08	89,40	124,44	82,94	211,80	
56,40	96,68	35	0,88	1,20	96,68	142,96	94,04	250,08	
33,20	134,60	36	0,91	1,34	134,60	168,23	108,80	304,42	
27,20	149,24	37	0,94	1,52	149,24	205,94	130,14	389,43	
55,12	151,50	38	0,96	1,77	151,50	272,45	166,25	549,28	
61,00	152,90	39	0,99	2,23	152,90	459,64	260,88	1051,79	



Tableau 06 : Ajustement des précipitations mensuelles du moi de Février à loi Log-normale.

Taille n = 37 Xo = 0		Moy.log(x-xo) = 1,58 E.T. log(x-xo) = 0,42			I.C. à (en%) = 95		U Gauss = 1,960	
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
3,23	3,23	1	0,01	-2,21	3,23	4,52	2,20	7,36
59,36	6,20	2	0,04	-1,74	6,20	7,07	3,84	10,81
88,66	6,80	3	0,07	-1,49	6,80	8,98	5,17	13,34
108,02	8,70	4	0,09	-1,31	8,70	10,68	6,39	15,55
19,90	11,50	5	0,12	-1,17	11,50	12,29	7,58	17,63
155,60	12,50	6	0,15	-1,04	12,50	13,85	8,75	19,65
40,00	13,20	7	0,18	-0,93	13,20	15,40	9,93	21,65
13,20	15,29	8	0,20	-0,83	15,29	16,94	11,12	23,67
82,52	19,90	9	0,23	-0,74	19,90	18,51	12,33	25,72
33,40	23,40	10	0,26	-0,65	23,40	20,11	13,57	27,82
46,56	25,03	11	0,28	-0,57	25,03	21,75	14,86	29,99
81,90	27,80	12	0,31	-0,49	27,80	23,44	16,18	32,25
15,29	28,99	13	0,34	-0,42	28,99	25,19	17,55	34,61
68,72	29,40	14	0,36	-0,35	29,40	27,01	18,97	37,09
64,76	33,40	15	0,39	-0,27	33,40	28,92	20,46	39,71
105,20	33,70	16	0,42	-0,20	33,70	30,91	22,01	42,50
121,54	36,70	17	0,45	-0,14	36,70	33,01	23,63	45,47
11,50	40,00	18	0,47	-0,07	40,00	35,24	25,34	48,64
33,70	45,80	19	0,50	0,00	45,80	37,59	27,14	52,07
36,70	46,56	20	0,53	0,07	46,56	40,11	29,05	55,77
6,20	53,30	21	0,55	0,14	53,30	42,81	31,08	59,80
66,36	57,20	22	0,58	0,20	57,20	45,72	33,26	64,22
28,99	57,70	23	0,61	0,27	57,70	48,88	35,59	69,09
8,70	59,36	24	0,64	0,35	59,36	52,32	38,10	74,49
152,50	64,76	25	0,66	0,42	64,76	56,10	40,84	80,54
25,03	66,36	26	0,69	0,49	66,36	60,30	43,83	87,36
29,40	68,72	27	0,72	0,57	68,72	64,98	47,13	95,14
45,80	78,60	28	0,74	0,65	78,60	70,28	50,81	104,11
6,80	81,90	29	0,77	0,74	81,90	76,34	54,96	114,61
78,60	82,52	30	0,80	0,83	82,52	83,41	59,71	127,13
53,30	88,66	31	0,82	0,93	88,66	91,80	65,27	142,38
23,40	105,20	32	0,85	1,04	105,20	102,03	71,91	161,51
57,70	108,02	33	0,88	1,17	108,02	114,99	80,15	186,48
57,20	119,60	34	0,91	1,31	119,60	132,27	90,86	221,00
12,50	121,54	35	0,93	1,49	121,54	157,36	105,97	273,35
27,80	152,50	36	0,96	1,74	152,50	200,01	130,68	367,66
119,60	155,60	37	0,99	2,21	155,60	312,78	191,92	642,95

Tableau 07 : Ajustement des précipitations mensuelles du moi de Mars à loi Log-normale.

Taille n = 40 x <sub>0</sub> = 0		Moy.log(x-x <sub>0</sub> ) = 1,48 E.T. log(x-x <sub>0</sub> ) = 0,39			I.C. à (en%) = 95		U Gauss = 1,960	
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
55,75	1,80	1	0,01	-2,24	1,80	3,98	2,07	6,24
31,74	1,96	2	0,04	-1,78	1,96	6,03	3,47	8,93
34,06	5,10	3	0,06	-1,53	5,10	7,54	4,56	10,84
129,93	10,20	4	0,09	-1,36	10,20	8,85	5,54	12,50
32,80	17,50	5	0,11	-1,21	17,50	10,07	6,47	14,03
54,10	17,69	6	0,14	-1,09	17,69	11,24	7,38	15,50
20,00	17,90	7	0,16	-0,98	17,90	12,38	8,28	16,94
74,00	18,10	8	0,19	-0,89	18,10	13,52	9,18	18,37
27,07	19,07	9	0,21	-0,80	19,07	14,66	10,09	19,80
59,30	20,00	10	0,24	-0,71	20,00	15,80	11,01	21,26
30,28	20,90	11	0,26	-0,64	20,90	16,97	11,94	22,75
17,90	22,77	12	0,29	-0,56	22,77	18,16	12,90	24,28
29,74	22,80	13	0,31	-0,49	22,80	19,37	13,89	25,86
20,90	24,20	14	0,34	-0,42	24,20	20,63	14,90	27,49
45,26	27,07	15	0,36	-0,35	27,07	21,92	15,94	29,20
80,10	29,60	16	0,39	-0,29	29,60	23,27	17,02	30,99
17,69	29,74	17	0,41	-0,22	29,74	24,67	18,14	32,88
29,60	30,00	18	0,44	-0,16	30,00	26,13	19,30	34,86
52,00	30,28	19	0,46	-0,09	30,28	27,66	20,51	36,97
22,80	31,74	20	0,49	-0,03	31,74	29,27	21,78	39,21
68,10	32,00	21	0,51	0,03	32,00	30,96	23,11	41,60
54,80	32,80	22	0,54	0,09	32,80	32,76	24,51	44,17
32,00	34,06	23	0,56	0,16	34,06	34,68	25,99	46,95
19,07	39,00	24	0,59	0,22	39,00	36,74	27,56	49,96
46,20	45,26	25	0,61	0,29	45,26	38,95	29,24	53,24
72,80	46,20	26	0,64	0,35	46,20	41,33	31,03	56,85
22,77	52,00	27	0,66	0,42	52,00	43,93	32,96	60,83
17,50	54,10	28	0,69	0,49	54,10	46,77	35,05	65,26
82,10	54,80	29	0,71	0,56	54,80	49,91	37,33	70,23
1,96	55,75	30	0,74	0,64	55,75	53,41	39,83	75,87
1,80	59,30	31	0,76	0,71	59,30	57,34	42,62	82,32
30,00	60,10	32	0,79	0,80	60,10	61,83	45,76	89,84
10,20	61,40	33	0,81	0,89	61,40	67,02	49,33	98,72
5,10	64,10	34	0,84	0,98	64,10	73,17	53,49	109,46
18,10	68,10	35	0,86	1,09	68,10	80,62	58,45	122,81
24,20	72,80	36	0,89	1,21	72,80	89,98	64,57	140,06
39,00	74,00	37	0,91	1,36	74,00	102,38	72,48	163,64
60,10	80,10	38	0,94	1,53	80,10	120,21	83,56	198,88
64,10	82,10	39	0,96	1,78	82,10	150,15	101,52	261,18
61,40	129,93	40	0,99	2,24	129,93	227,61	145,33	437,21

**Tableau 08** : Ajustement des précipitations mensuelles du moi d'Avril à loi Log-normale.

Taille n = 38 Xo = 0		Moy.log(x-xo) = 1,42 E.T. log(x-xo) = 0,34			I.C. à (en%) = 95		U Gauss = 1,960	
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
89,48	4,20	1	0,01	-2,22	4,20	4,68	2,63	6,93
16,15	5,76	2	0,04	-1,76	5,76	6,72	4,13	9,45
16,64	6,60	3	0,07	-1,51	6,60	8,15	5,24	11,19
52,92	6,70	4	0,09	-1,33	6,70	9,37	6,21	12,67
28,50	9,80	5	0,12	-1,18	9,80	10,49	7,12	14,01
52,20	10,34	6	0,14	-1,06	10,34	11,54	7,99	15,28
35,00	11,32	7	0,17	-0,95	11,32	12,56	8,83	16,52
89,40	13,80	8	0,20	-0,85	13,80	13,57	9,67	17,74
17,38	14,39	9	0,22	-0,76	14,39	14,56	10,51	18,95
48,80	16,15	10	0,25	-0,67	16,15	15,56	11,35	20,18
42,98	16,64	11	0,28	-0,59	16,64	16,56	12,20	21,42
64,20	17,38	12	0,30	-0,52	17,38	17,58	13,05	22,70
11,32	19,40	13	0,33	-0,44	19,40	18,62	13,93	24,01
14,39	23,40	14	0,36	-0,37	23,40	19,69	14,82	25,36
10,34	23,40	15	0,38	-0,30	23,40	20,78	15,74	26,77
9,80	27,40	16	0,41	-0,23	27,40	21,91	16,68	28,24
41,30	28,50	17	0,43	-0,17	28,50	23,09	17,65	29,78
56,90	30,83	18	0,46	-0,10	30,83	24,31	18,66	31,41
37,20	30,90	19	0,49	-0,03	30,90	25,58	19,70	33,13
19,40	30,90	20	0,51	0,03	30,90	26,92	20,79	34,96
31,60	31,60	21	0,54	0,10	31,60	28,34	21,93	36,92
58,31	32,87	22	0,57	0,17	32,87	29,84	23,13	39,02
5,76	35,00	23	0,59	0,23	35,00	31,43	24,39	41,29
23,40	37,20	24	0,62	0,30	37,20	33,14	25,73	43,77
30,90	40,60	25	0,64	0,37	40,60	34,99	27,16	46,47
30,83	41,30	26	0,67	0,44	41,30	36,99	28,69	49,45
32,87	42,98	27	0,70	0,52	42,98	39,17	30,35	52,77
27,40	47,00	28	0,72	0,59	47,00	41,59	32,15	56,49
50,00	48,80	29	0,75	0,67	48,80	44,27	34,14	60,70
30,90	50,00	30	0,78	0,76	50,00	47,30	36,35	65,55
47,00	52,20	31	0,80	0,85	52,20	50,78	38,84	71,22
13,80	52,92	32	0,83	0,95	52,92	54,83	41,70	77,97
4,20	56,90	33	0,86	1,06	56,90	59,68	45,07	86,26
6,60	57,40	34	0,88	1,18	57,40	65,69	49,16	96,79
40,60	58,31	35	0,91	1,33	58,31	73,52	54,38	110,91
6,70	64,20	36	0,93	1,51	64,20	84,54	61,54	131,53
57,40	89,40	37	0,96	1,76	89,40	102,54	72,86	166,86
23,40	89,48	38	0,99	2,22	89,48	147,04	99,35	261,46

Tableau 09 : Ajustement des précipitations mensuelles du moi de Mai à loi Log-normale.

Taille n = 36 Xo = 0		Moy.log(x-xo) = 1,18 E.T. log(x-xo) = 0,66			I.C. à (en%) = 95		U Gauss = 1,960	
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
12,11	0,05	1	0,01	-2,20	0,05	0,53	0,16	1,16
3,10	1,10	2	0,04	-1,73	1,10	1,08	0,40	2,14
0,05	1,21	3	0,07	-1,48	1,21	1,59	0,65	3,00
22,99	2,25	4	0,10	-1,30	2,25	2,10	0,92	3,84
13,00	3,00	5	0,13	-1,15	3,00	2,63	1,20	4,69
42,50	3,10	6	0,15	-1,02	3,10	3,18	1,52	5,59
66,50	3,92	7	0,18	-0,91	3,92	3,77	1,86	6,54
32,00	6,30	8	0,21	-0,81	6,30	4,40	2,24	7,55
1,10	10,20	9	0,24	-0,72	10,20	5,08	2,64	8,63
3,00	12,00	10	0,26	-0,63	12,00	5,81	3,09	9,80
3,92	12,10	11	0,29	-0,55	12,10	6,59	3,57	11,07
25,10	12,11	12	0,32	-0,47	12,11	7,44	4,10	12,46
76,33	12,40	13	0,35	-0,39	12,40	8,36	4,68	13,98
61,75	12,40	14	0,38	-0,32	12,40	9,37	5,31	15,65
10,20	13,00	15	0,40	-0,25	13,00	10,47	6,00	17,50
1,21	18,20	16	0,43	-0,17	18,20	11,67	6,75	19,55
25,40	18,30	17	0,46	-0,10	18,30	12,99	7,58	21,85
19,40	19,40	18	0,49	-0,03	19,40	14,45	8,50	24,41
12,00	22,99	19	0,51	0,03	22,99	16,07	9,51	27,31
61,15	24,82	20	0,54	0,10	24,82	17,87	10,63	30,60
31,22	25,10	21	0,57	0,17	25,10	19,89	11,87	34,36
18,30	25,40	22	0,60	0,25	25,40	22,18	13,26	38,70
44,40	31,22	23	0,63	0,32	31,22	24,78	14,83	43,73
46,34	32,00	24	0,65	0,39	32,00	27,75	16,60	49,62
81,14	42,50	25	0,68	0,47	42,50	31,19	18,63	56,61
12,40	44,40	26	0,71	0,55	44,40	35,21	20,96	64,99
2,25	46,30	27	0,74	0,63	46,30	39,97	23,68	75,19
12,10	46,34	28	0,76	0,72	46,34	45,69	26,90	87,83
47,30	47,30	29	0,79	0,81	47,30	52,70	30,76	103,83
12,40	61,15	30	0,82	0,91	61,15	61,50	35,51	124,67
68,70	61,75	31	0,85	1,02	61,75	72,92	41,53	152,79
64,40	64,40	32	0,88	1,15	64,40	88,39	49,45	192,64
6,30	66,50	33	0,90	1,30	66,50	110,70	60,51	253,30
46,30	68,70	34	0,93	1,48	68,70	146,31	77,46	356,69
24,82	76,33	35	0,96	1,73	76,33	214,98	108,40	574,69
18,20	81,14	36	0,99	2,20	81,14	440,10	200,52	1411,48

**Tableau 10** : Ajustement des précipitations mensuelles du moi de Juin à loi Log-normale.

Taille n = 23 Xo = 0		Moy.log(x-xo) = 0,46 E.T. log(x-xo) = 0,65			I.C. à (en%) = 95		U Gauss = 1,960	
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
2,79	0,08	1	0,02	-2,02	0,08	0,14	0,03	0,33
5,54	0,25	2	0,07	-1,51	0,25	0,29	0,09	0,64
24,15	0,29	3	0,11	-1,23	0,29	0,45	0,15	0,92
5,54	0,40	4	0,15	-1,03	0,40	0,61	0,23	1,21
4,50	1,03	5	0,20	-0,86	1,03	0,79	0,32	1,53
33,00	1,32	6	0,24	-0,71	1,32	0,98	0,42	1,89
16,72	1,76	7	0,28	-0,57	1,76	1,20	0,54	2,29
0,29	1,92	8	0,33	-0,45	1,92	1,45	0,67	2,76
1,76	2,15	9	0,37	-0,33	2,15	1,73	0,83	3,29
1,92	2,79	10	0,41	-0,22	2,79	2,05	1,01	3,93
2,15	3,50	11	0,46	-0,11	3,50	2,42	1,22	4,68
0,40	3,80	12	0,50	0,00	3,80	2,85	1,46	5,58
17,40	4,50	13	0,54	0,11	4,50	3,36	1,74	6,69
6,00	4,70	14	0,59	0,22	4,70	3,97	2,07	8,07
1,03	5,20	15	0,63	0,33	5,20	4,71	2,47	9,81
0,25	5,54	16	0,67	0,45	5,54	5,62	2,96	12,09
7,20	5,54	17	0,72	0,57	5,54	6,78	3,55	15,13
1,32	6,00	18	0,76	0,71	6,00	8,29	4,31	19,35
0,08	7,20	19	0,80	0,86	7,20	10,36	5,32	25,54
5,20	16,72	20	0,85	1,03	16,72	13,38	6,72	35,31
4,70	17,40	21	0,89	1,23	17,40	18,26	8,88	52,68
3,80	24,15	22	0,93	1,51	24,15	27,78	12,80	91,33
3,50	33,00	23	0,98	2,02	33,00	59,55	24,39	253,08

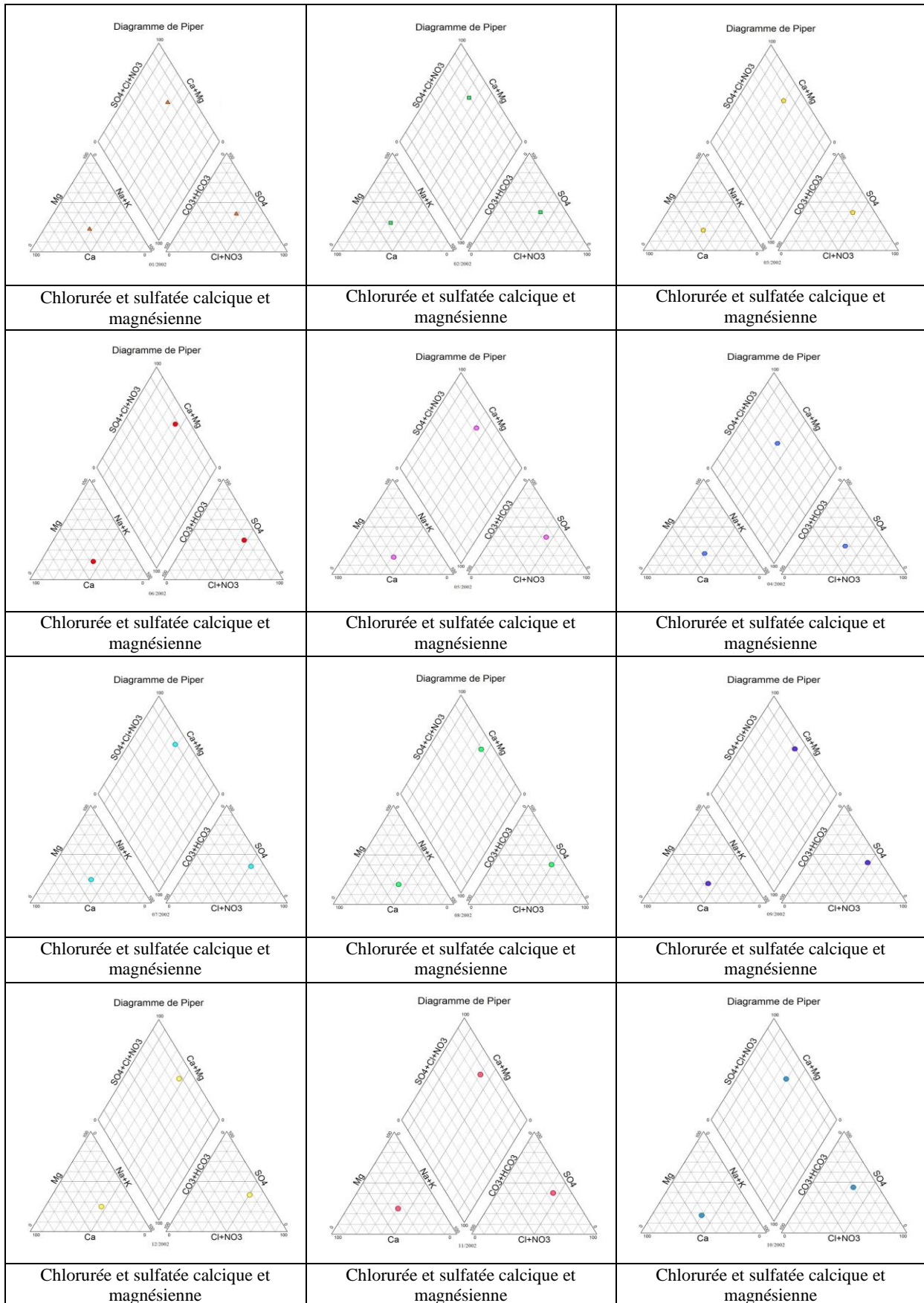
**Tableau 11** : Ajustement des précipitations mensuelles du moi de Juillet à loi Log-normale.

Taille n = 14 Xo = 0		Moy.log(x-xo) = 0,17 E.T. log(x-xo) = 0,82			I.C. à (en%) = 95		U Gauss = 1,960	
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expériment	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
2,76	0,07	1	0,04	-1,80	0,07	0,05	0,00	0,18
0,07	0,11	2	0,11	-1,24	0,11	0,14	0,02	0,44
1,07	0,20	3	0,18	-0,92	0,20	0,26	0,05	0,77
1,00	0,59	4	0,25	-0,67	0,59	0,41	0,09	1,20
0,20	0,61	5	0,32	-0,46	0,61	0,61	0,16	1,78
0,59	0,92	6	0,39	-0,27	0,92	0,88	0,25	2,61
0,92	1,00	7	0,46	-0,09	1,00	1,24	0,38	3,82
0,61	1,07	8	0,54	0,09	1,07	1,74	0,56	5,66
17,40	1,97	9	0,61	0,27	1,97	2,46	0,83	8,60
8,80	2,76	10	0,68	0,46	2,76	3,53	1,21	13,62
0,11	8,80	11	0,75	0,67	8,80	5,27	1,80	23,08
16,80	16,80	12	0,82	0,92	16,80	8,40	2,81	43,75
1,97	17,40	13	0,89	1,24	17,40	15,44	4,86	103,77
28,50	28,50	14	0,96	1,80	28,50	44,69	11,93	496,29

**Tableau 12** : Ajustement des précipitations mensuelles du moi d' Août à loi Log-normale.

Taille n = 24 Xo = 0		Moy.log(x-xo) = 0,28 E.T. log(x-xo) = 0,88			I.C. à (en%) = 95		U Gauss = 1,960	
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
0,10	0,06	1	0,02	-2,04	0,06	0,03	0,00	0,10
22,70	0,10	2	0,06	-1,53	0,10	0,08	0,02	0,23
0,92	0,11	3	0,10	-1,26	0,11	0,15	0,04	0,38
0,06	0,16	4	0,15	-1,05	0,16	0,22	0,06	0,56
3,00	0,20	5	0,19	-0,89	0,20	0,31	0,09	0,76
0,20	0,30	6	0,23	-0,74	0,30	0,42	0,14	1,00
0,54	0,54	7	0,27	-0,61	0,54	0,55	0,19	1,29
23,40	0,70	8	0,31	-0,49	0,70	0,70	0,25	1,64
0,30	0,81	9	0,35	-0,37	0,81	0,89	0,33	2,07
3,74	0,92	10	0,40	-0,26	0,92	1,11	0,43	2,61
0,70	1,09	11	0,44	-0,16	1,09	1,38	0,55	3,27
1,09	1,20	12	0,48	-0,05	1,20	1,71	0,70	4,10
27,70	2,97	13	0,52	0,05	2,97	2,11	0,88	5,17
2,97	3,00	14	0,56	0,16	3,00	2,61	1,10	6,55
0,11	3,50	15	0,60	0,26	3,50	3,25	1,38	8,38
51,28	3,74	16	0,65	0,37	3,74	4,06	1,74	10,84
0,16	4,27	17	0,69	0,49	4,27	5,13	2,19	14,28
12,90	12,90	18	0,73	0,61	12,90	6,57	2,79	19,21
0,81	13,40	19	0,77	0,74	13,40	8,59	3,60	26,62
3,50	22,70	20	0,81	0,89	22,70	11,55	4,75	38,45
13,40	23,40	21	0,85	1,05	23,40	16,24	6,49	59,11
1,20	27,70	22	0,90	1,26	27,70	24,60	9,39	100,63
4,27	31,00	23	0,94	1,53	31,00	43,16	15,33	209,33
31,00	51,28	24	0,98	2,04	51,28	120,17	36,48	815,08

**Annexe II:**



**Figure 01 :** Diagrammes de Piper mensuelles pour l'année 2002.

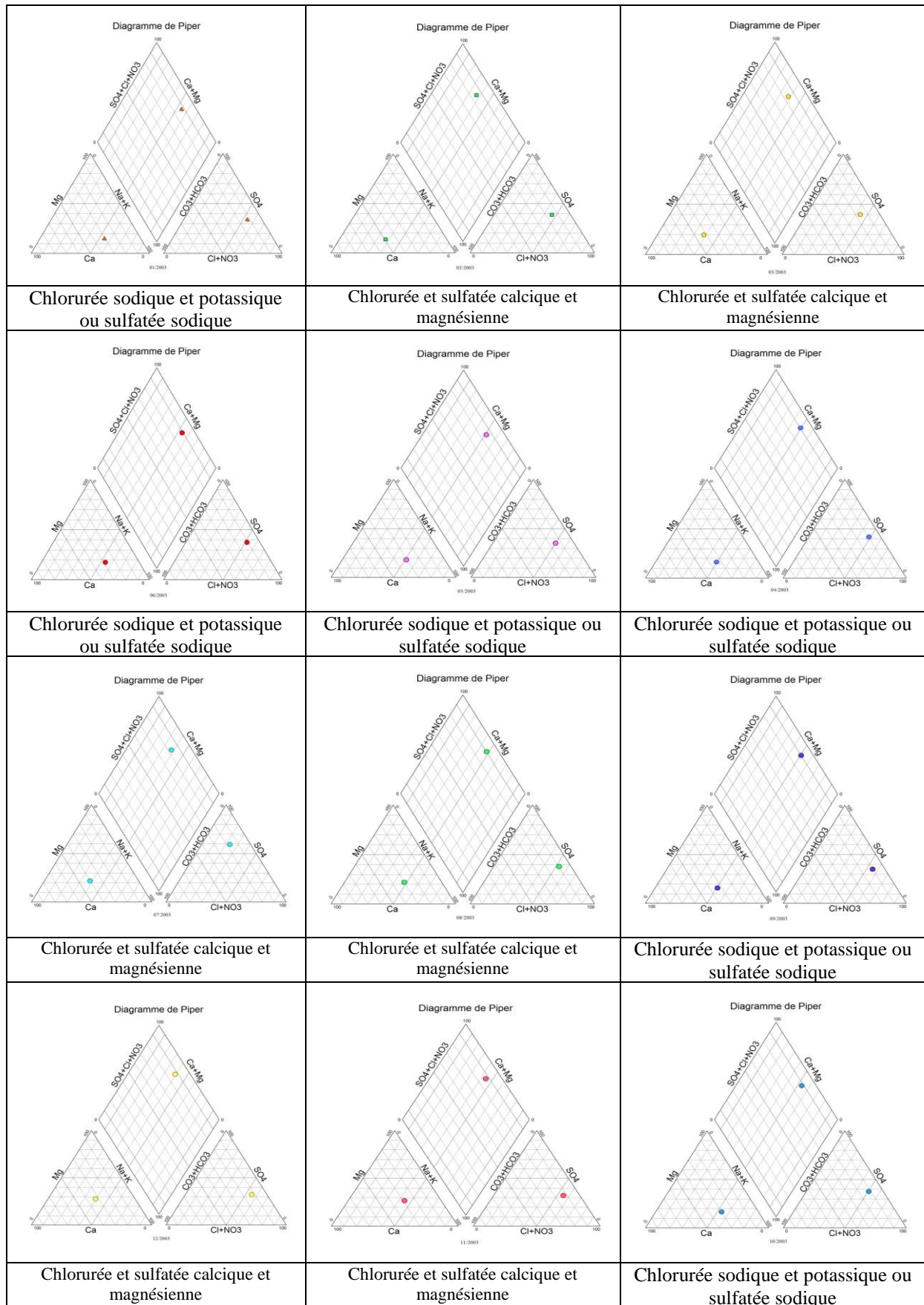


Figure 02 : Diagrammes de Piper mensuelles pour l'année 2003.



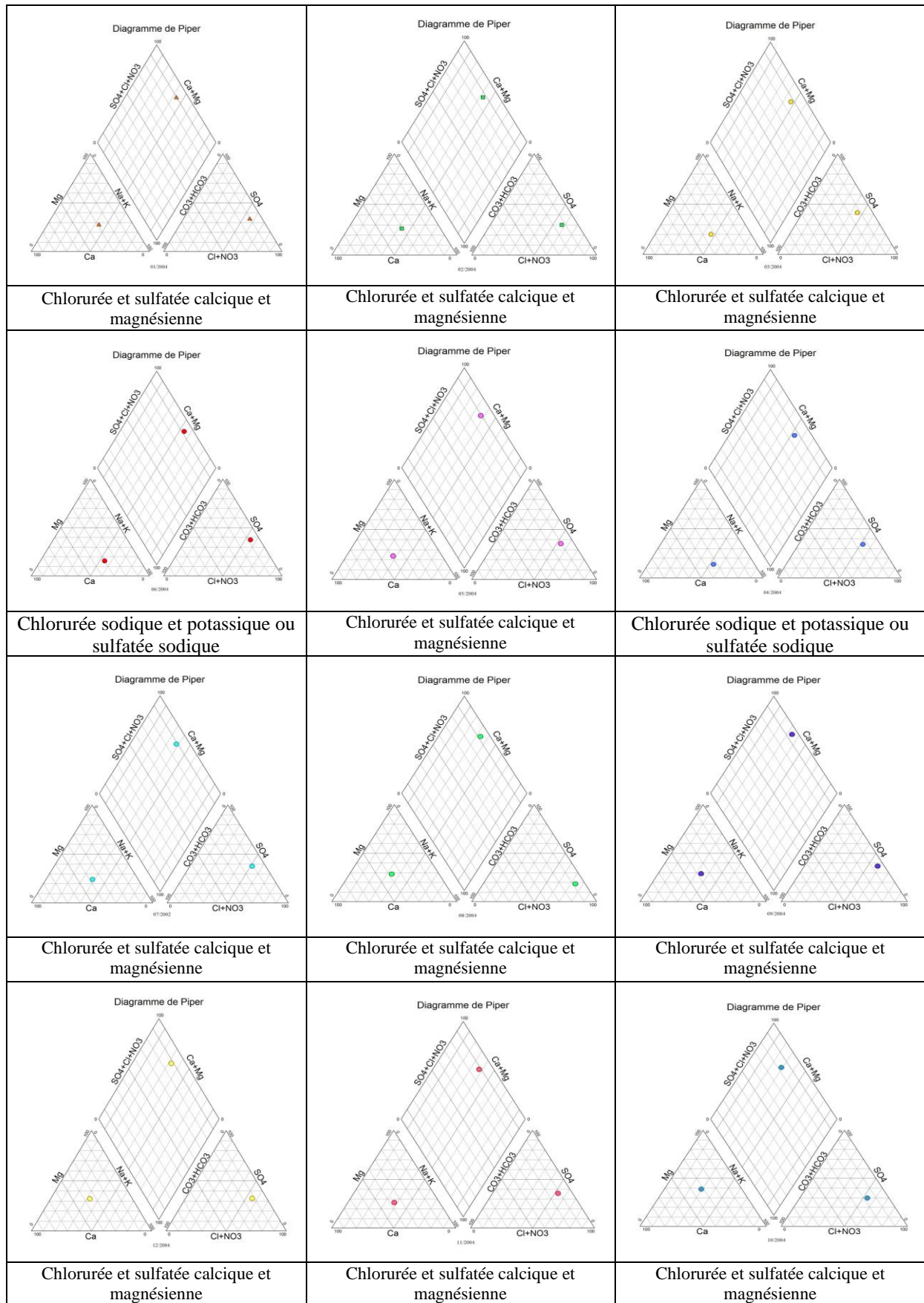


Figure 03 : Diagrammes de Piper mensuelles pour l'année 2004.

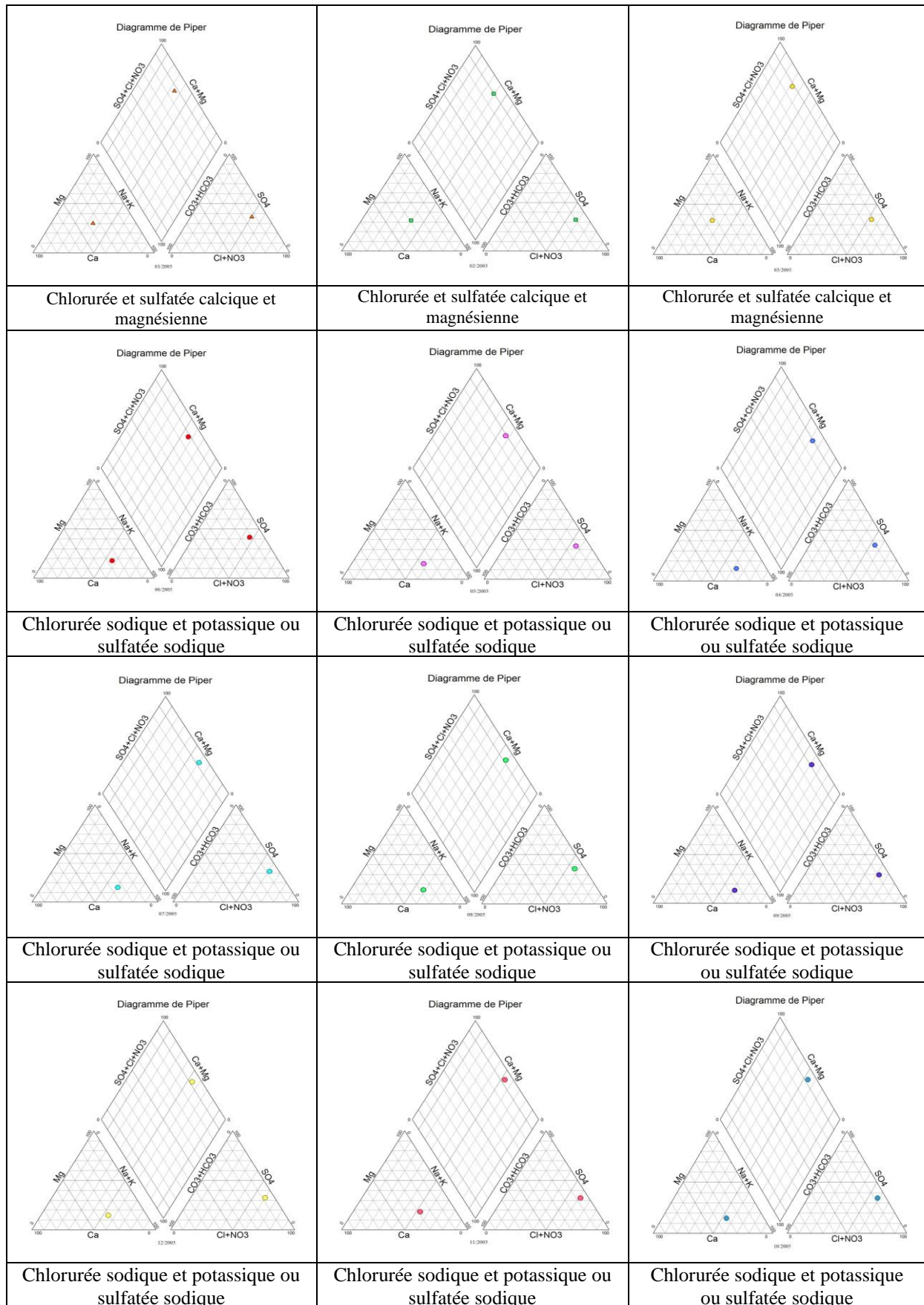


Figure 04 : Diagrammes de Piper mensuelles pour l'année 2005.

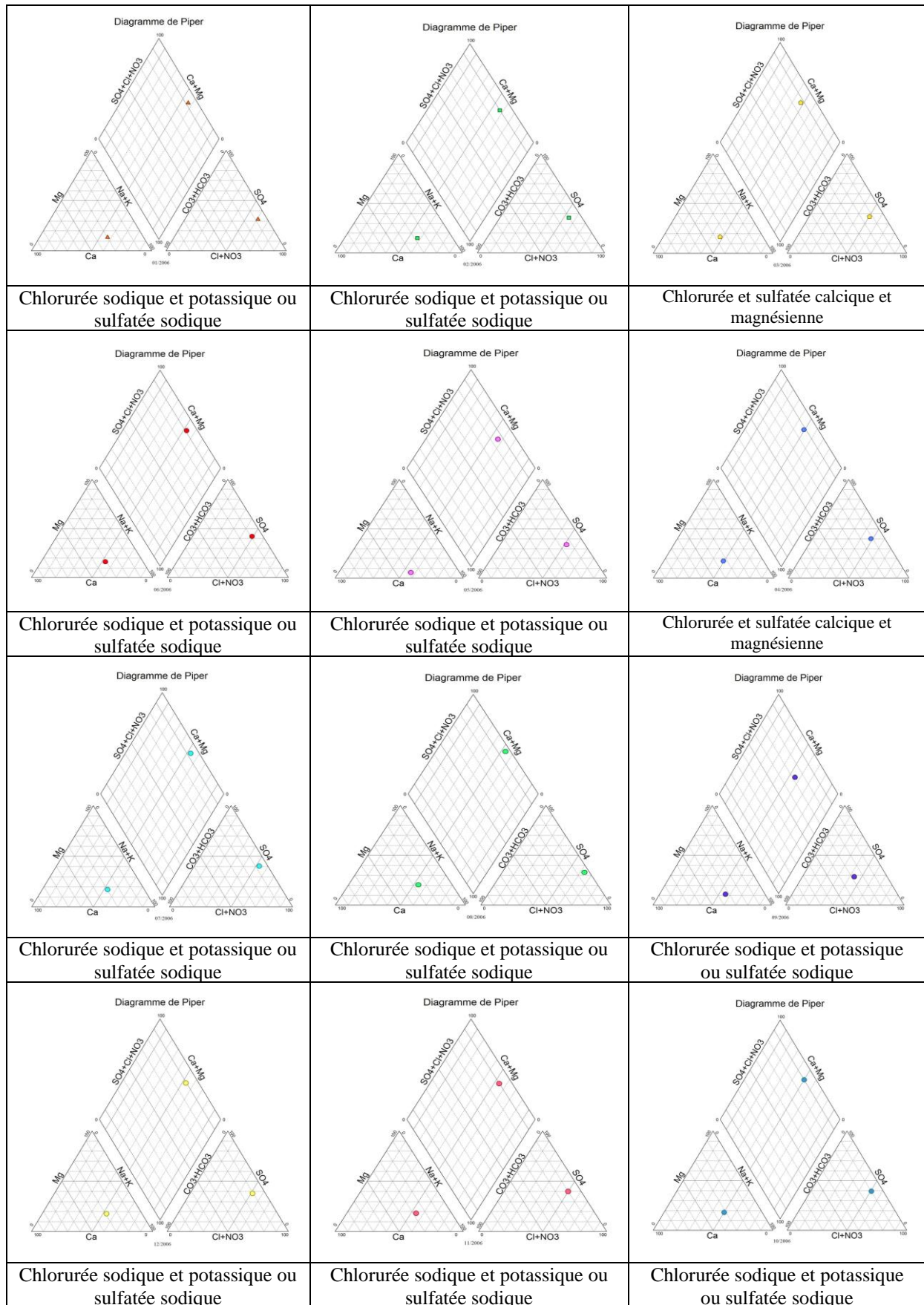


Figure 05 : Diagrammes de Piper mensuelles pour l'année 2006.

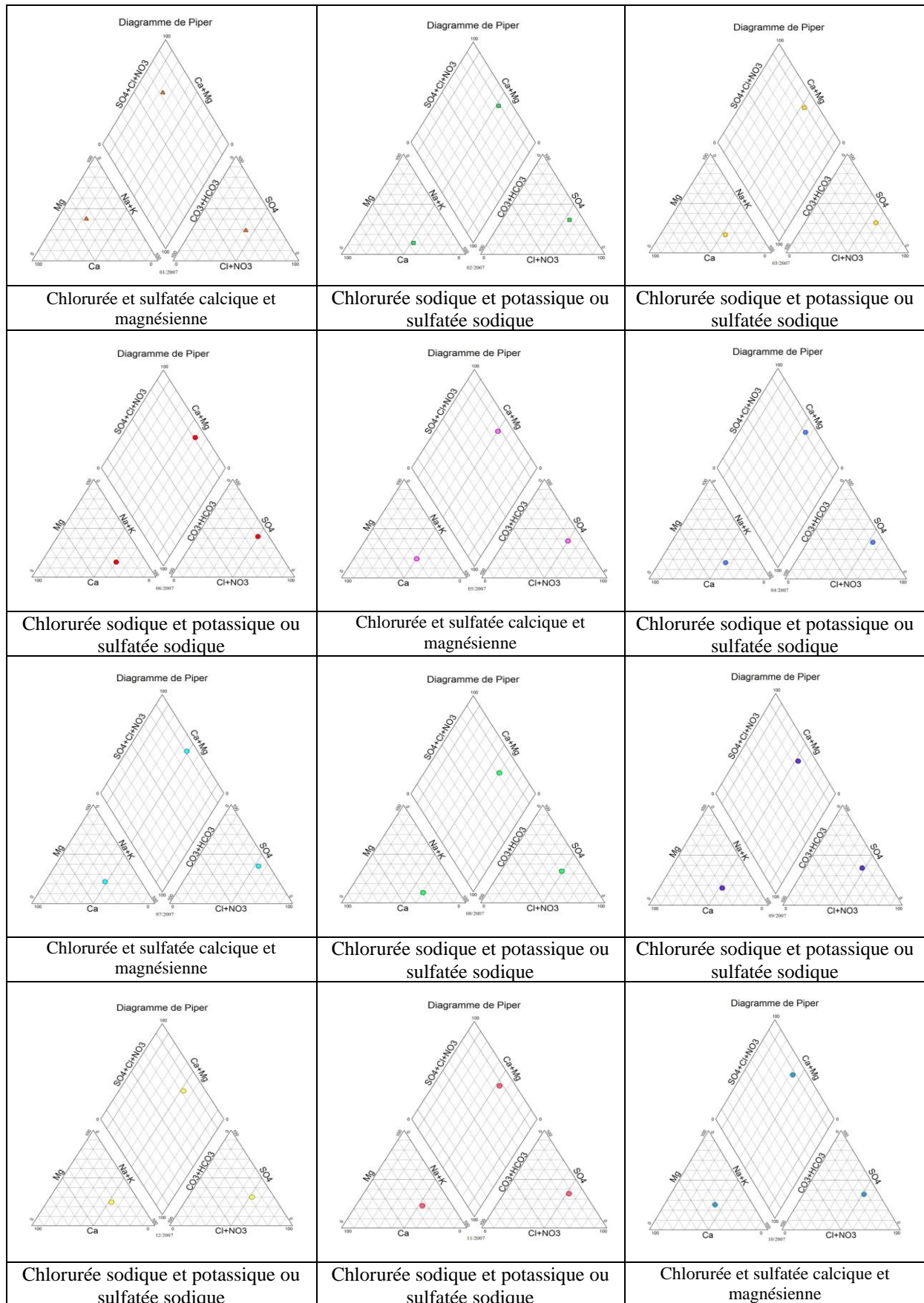


Figure 06 : Diagrammes de Piper mensuelles pour l'année 2007.

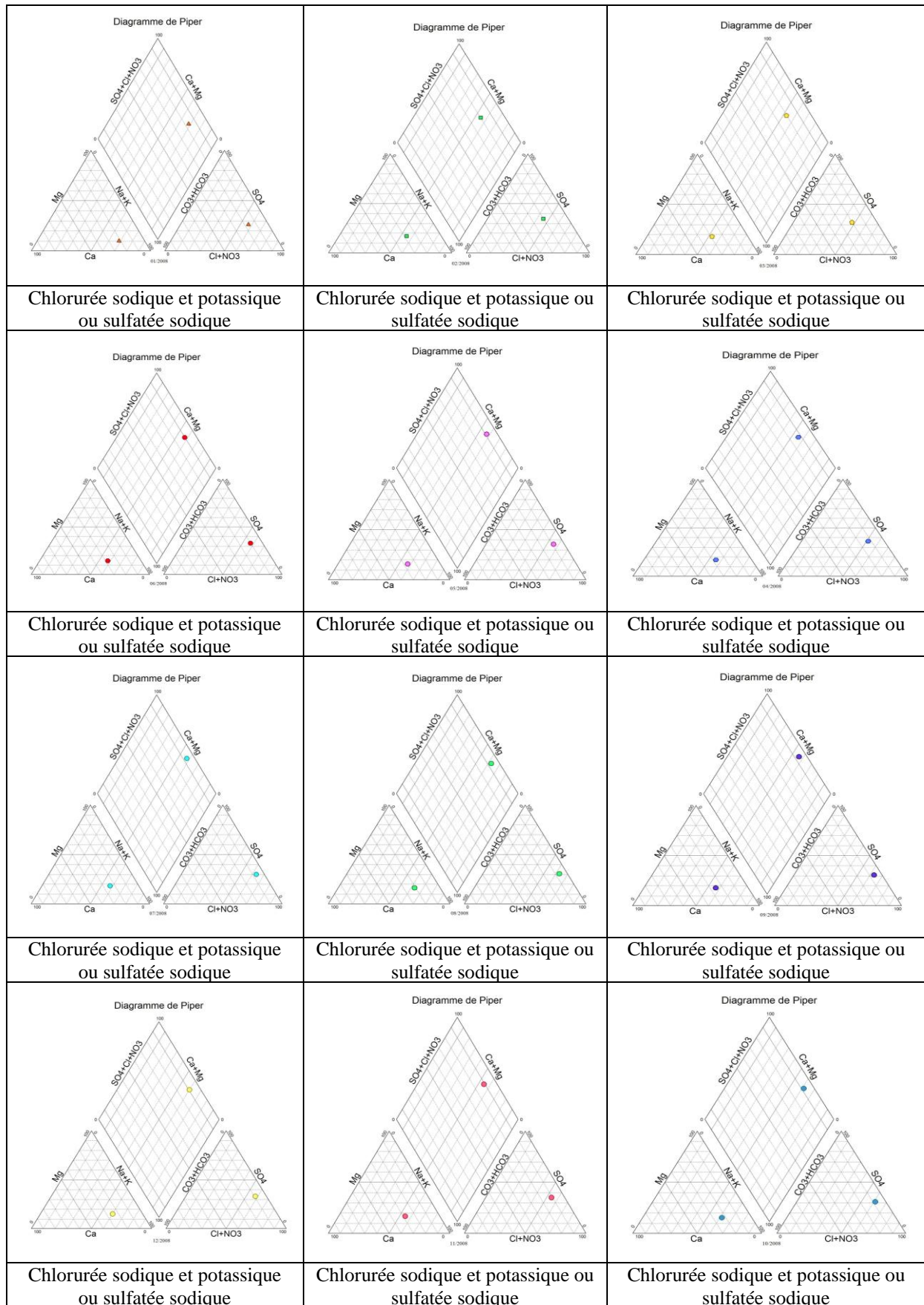


Figure 07 : Diagrammes de Piper mensuelles pour l'année 2008.

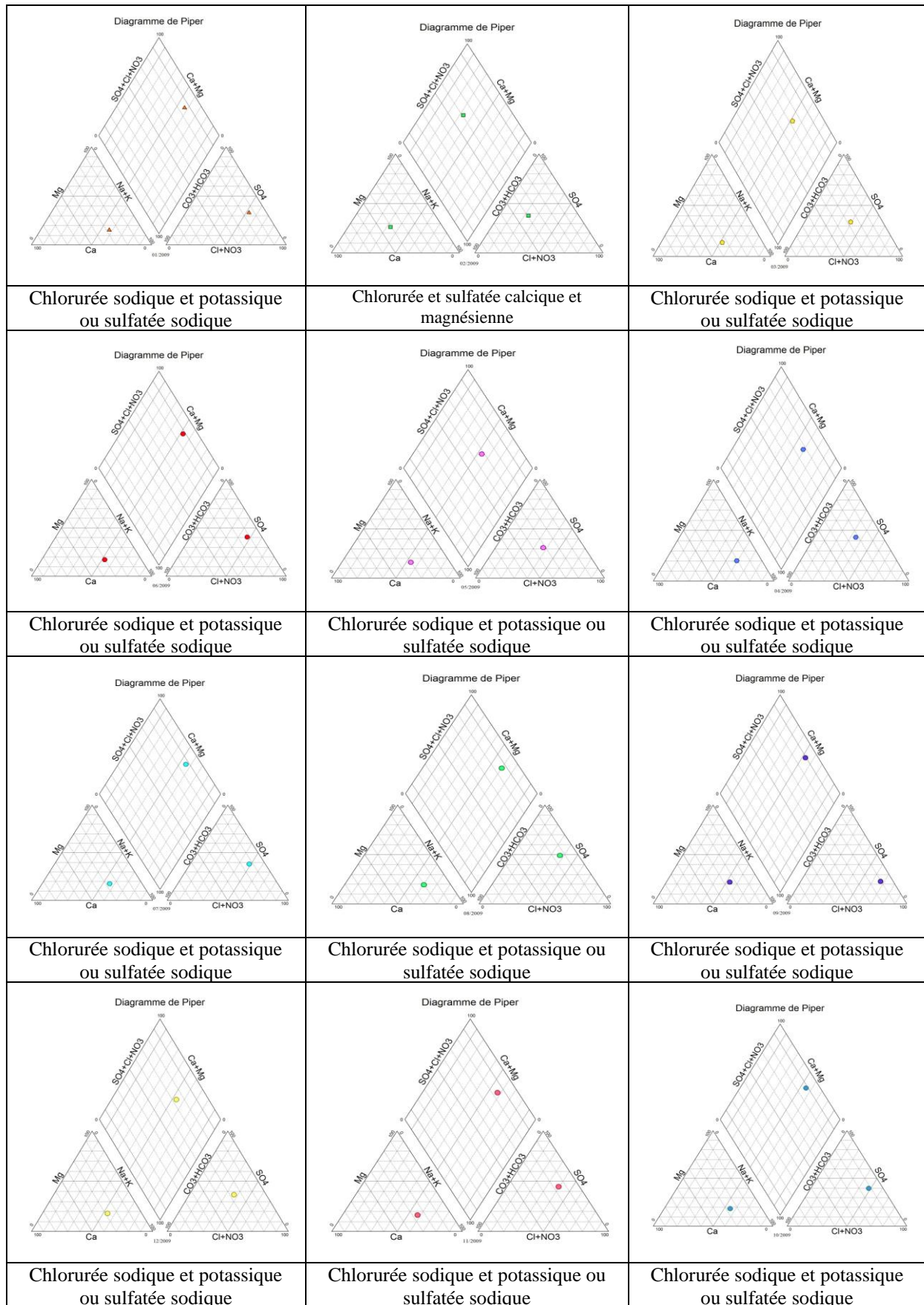


Figure 08 : Diagrammes de Piper mensuelles pour l'année 2009.

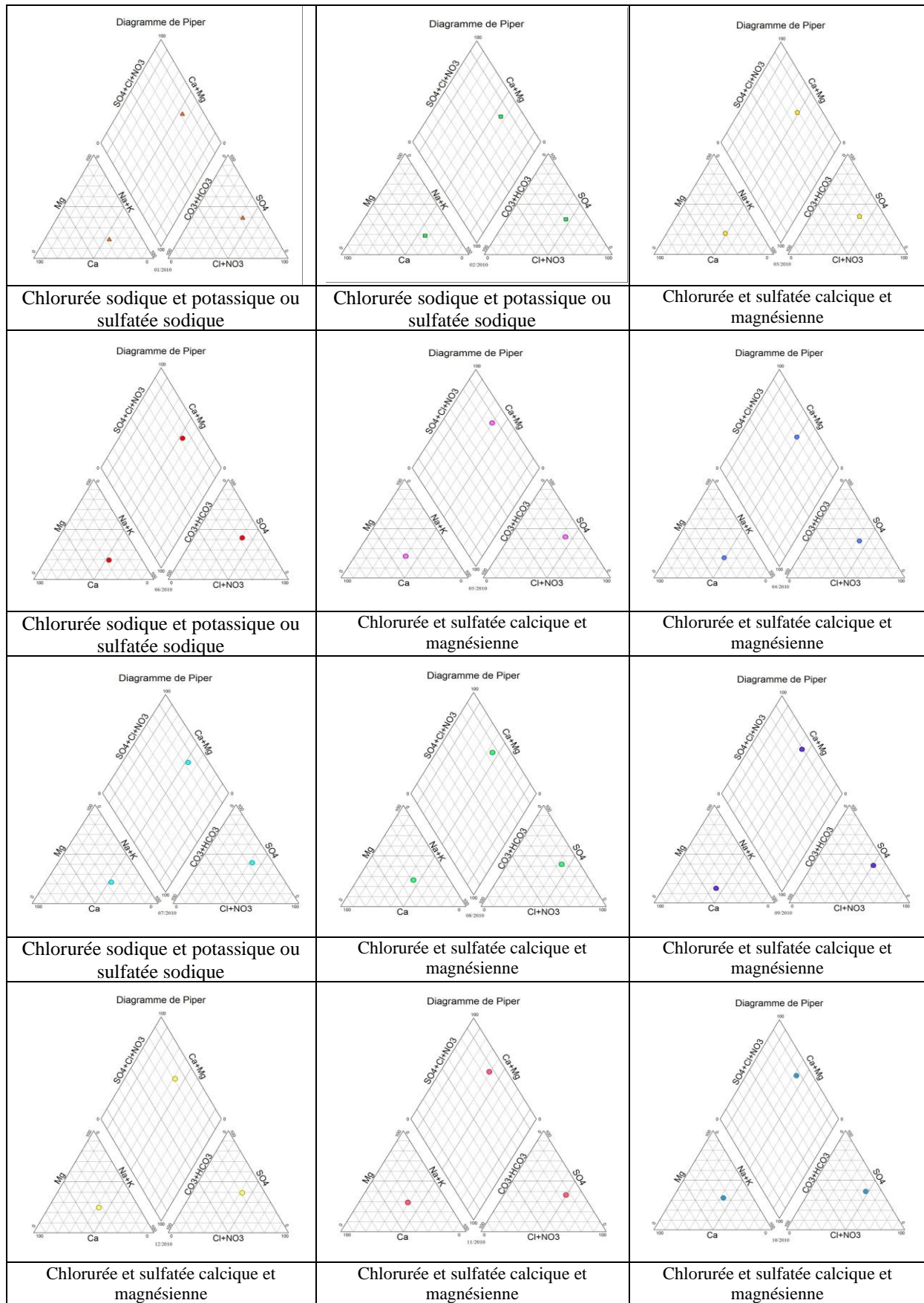


Figure 09 : Diagrammes de Piper mensuelles pour l'année 2010.

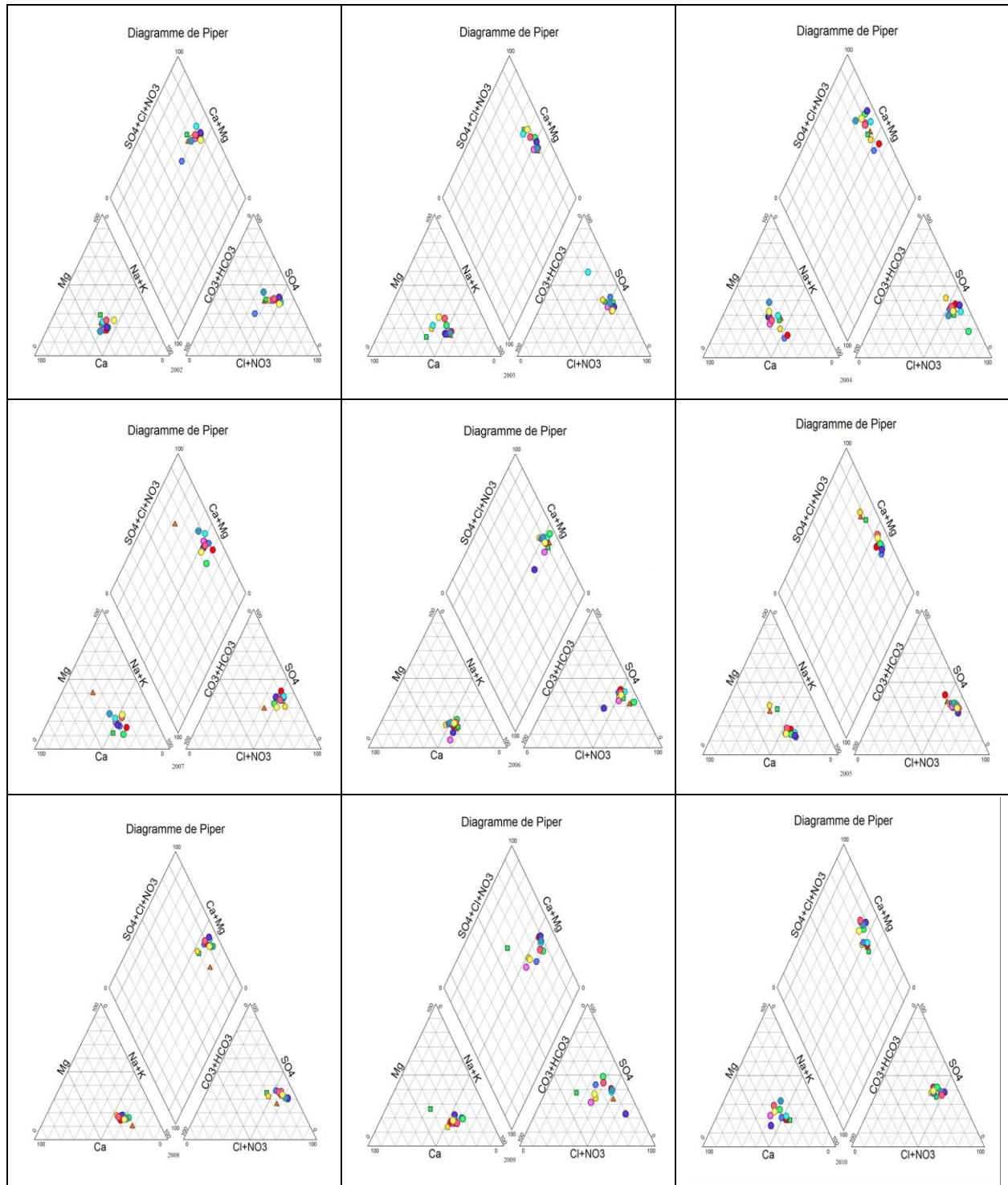


Figure 10 : Diagrammes de Piper annuelles (2002-2010).