

CARACTERISATION DE LA VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES DANS LA REGION DE L'AMONT BOUGHEZOUL EN ALGERIE DU NORD

CHARACTERIZATION OF THE SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF THE ANNUAL PRECIPITATIONS IN THE REGION OF UPSTREAM BOUGHEZOUL IN NORTH OF ALGERIA

Houria.CHAHRAOUI *Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique. LR-MVRE. Blida.* houria_hydro@hotmail.fr

Bénina TOUAIBIA. *Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique. LR-MVRE. Blida.* b.touaibia@ensh.dz

RESUME : Dans cet article, le régime pluviométrique est étudié à l'échelle annuelle dans un bassin versant caractérisé par un climat semi-aride à aride. L'évolution interannuelle des modules pluviométriques est représentée par 33 stations pluviométriques implantées sur 12 sous bassins. Les tests statistiques d'homogénéité sont appliqués aux séries des totaux annuels des stations permettant de détecter des ruptures sur la période 1970/71 à 2008/09, soit 40 années d'observations. Des analyses spatiales et temporelles ont été entreprises. La première, via l'Analyse en composante principale, a permis d'extraire des relations fonctionnelles pouvant exister entre les stations, alors que l'analyse temporelle a permis de visualiser la succession des années humides et sèches au cours de la série chronologique étudiée. Pour déceler d'éventuelles informations, une caractérisation de la sécheresse à partir du SPI (*Standardized Precipitation Index*) a été entreprise, concluant à une alternance de différentes périodes : humides, normales et sèches, permettant d'identifier le climat dominant sur le bassin. La variabilité climatique et notamment pluviométrique du bassin du Boughezoul est un phénomène récurrent à risque, qui nécessite la mise en observation continue pour une alerte précoce et l'établissement des plans d'intervention en cas de pénurie d'eau.

Mots-clés : Bassin Amont Boughezoul, régime pluviométrique, tests d'homogénéité, ACP, SPI.

ABSTRACT: In this work, the rainfall mode is studied on an annual scale in a catchment characterized by a semi-arid climate to arid. The inter-annual evolution of the rainfall modules is represented by 33 rainfall stations installed on 12 sub-basins. The statistical tests of homogeneity are applied to the series of the annual totals of the stations thus making it possible to detect ruptures over period 1970/71 to 2008/09 is 40 years of observations. Space and temporal analyses were undertaken. The first via the Analysis in principal component made it possible to extract the functional relations being able to exist between stations whereas the temporal analysis made it possible to visualize the succession of the wet and dry years during the studied time series. To detect more information, a characterization of the drought starting from the SPI (Standardized Precipitation Index) was made and which led to detect an alternation of various periods : wet, normal and dry allowing to identify the climate dominating over the watershed. Variability climatic and more particularly rainfall in Boughezoul's watershed is a recurring phenomenon at the risk, which requires the setting in continuous observation for a nearly alarm and the drawing up the plans of intervention in the event of water shortage.

Keywords: Watershed of Boughezoul Upstream, rainfall mode, tests of homogeneity, ACP, SPI.

INTRODUCTION

La thématique étudiée est essentiellement ciblée sur la ressource en eau, ce qui implique qu'au cours de ces dernières années, le Nord-Ouest Algérien et le centre subissent des déficits pluviométriques importants se traduisant par des sécheresses sévères (Meddi et al, 2003), affectant sérieusement les ressources en eau sur les plans qualitatif et quantitatif. En effet, la sécheresse qui a frappé l'Algérie, ces dernières années, a accentué le déficit hydrique (Achite et al, 2007).

L'objectif de ce travail est d'étudier les précipitations sur le bassin de l'amont Boughezoul, leur évolution temporelle et leur distribution spatiale en se basant sur des données climatiques et plus particulièrement pluviométriques de 33 stations implantées dans 12 sous bassins et de caractériser la sécheresse météorologique dans la zone étudiée en utilisant l'Indice de Précipitation Standardisé (SPI).

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone étudiée s'étend sur une superficie de **19979 km²** environ (ANRH, 1989). Elle est comprise entre **1°24'52''E** et **3°30'41''E** de longitude et **33°53'52''N** et **35°57'29''N** de latitude (Fig.1).

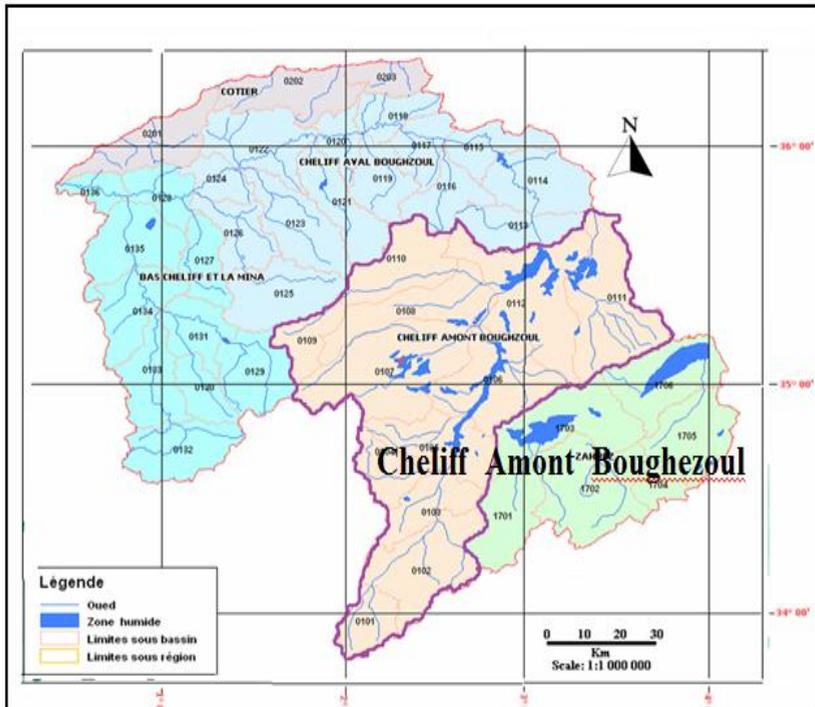


Fig.1. Situation géographique du bassin versant de l'amont Bougezhoul

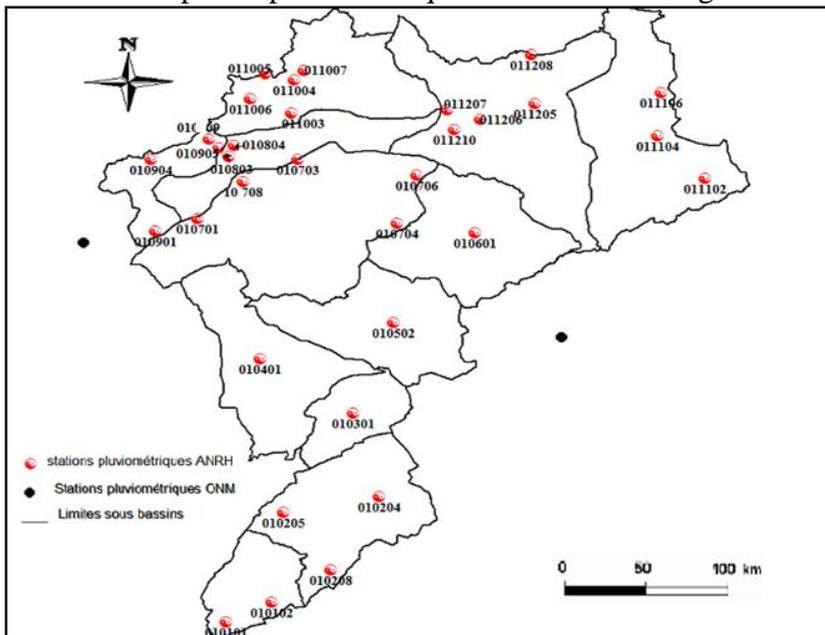
Sur 33 postes pluviométriques que compte le bassin du Cheliff à l'amont Bougezhoul, seules 12 stations ont été prises en considération vu la qualité de leurs données (Tableau 1).

Tableau 1. Répartition des postes pluviométriques par sous bassin

Sous bassin	Dénomination	Superficie (km ²)	N ^{bre} de postes pluviométriques
0101	Oued SebgagBerkana	791	2
0102	Oued NamousChelal	2019	3
0103	Oued Touil Amont	963,8	0
0104	Oued Sakni	1329	0
0105	Oued Touil Moyen	1403	1
0106	Oued Touil Aval	2033	0
0107	Oued sousselem	2833	5
0108	Oued MechtiZerga	1549	2
0109	Oued Ouassel amont	699,3	4
0110	Oued Ouassel moyen	1403	5
0111	Dait el Firania	2339	2
0112	DiaaBoughzoul	2617	4
	Total	19979,1	28

Source (ONM et ANRH, 2001)

L'implantation des postes pluviométriques est illustrée en figure 2.

**Fig.2.** Postes pluviométriques du bassin versant de l'Amont Boughezoul

ANALYSE DES DONNEES

De nombreuses méthodes sont utilisées pour mettre en évidence la caractérisation de la variabilité spatio-temporelle des précipitations annuelles. La méthode appliquée repose sur l'**Analyse en Composante Principale (ACP)** et la détection des années de rupture dans les séries chronologiques observées à l'aide des tests statistiques d'homogénéité pour la variabilité temporelle. Avant de passer à cette analyse, la tendance des précipitations annuelles du bassin a été testée pour identifier le comportement du régime pluviométrique.

Ainsi, des stations ont été considérées comme stations représentatives, une station dans chaque sous bassin, en prenant en compte la qualité des données disponibles et sa situation géographique (Tableau 2).

Tableau 2. Stations retenues par sous bassin (période 1970/71 à 2009/2010)

Station	Code	Nom	X (Km)	Y (Km)	Z(m)
S1	010102	Sebgag centre	426,55	379,20	1420
S2	010205	Guelat sidi saad	430,20	410,85	1100
S3	010301	Station reconstituée*	451,39	146,71	1000
S4	010401	Station reconstituée	425,39	162,96	900
S5	010502	Zmalet el amir AEK	464,20	177,75	850
S6	010601	Station reconstituée*	490,87	280,18	750
S7	010701	Ain baadj	403,60	214,45	1025
S8	010803	Mehdia	413,90	237,35	918
S9	010901	Sougueur	390,55	210,10	1140
S10	011004	Khemisti	433,50	263,45	935
S11	011102	Zenzach	560,75	228,65	830
S12	011206	Chahbounia	491,30	249,35	665

*Stations créées par l'ANRH après l'indépendance pour couvrir les sous bassins

L'évolution du régime pluviométrique, pendant les quatre dernières décennies, a été vérifiée. Deux stations sont prises comme exemple (Fig.3).

Pour mieux visualiser cette analyse, l'allure de la série chronologique a été montrée. L'évolution du régime pluviométrique annuel dénote, une alternance de périodes excédentaires et déficitaires par rapport à la moyenne annuelle. L'évolution chronologique des précipitations à la station Sebgag centre (Fig.3) montre un changement remarquable au cours de l'année 1976. La précipitation diminue de plus de 350 mm jusqu'à 100 mm, après cette année une tendance à la baisse est nettement révélée. La station de Khemisti présente une période déficitaire de 1974 à 1984 (atteignant moins de 100 mm) suivie par une période excédentaire montrant un pic en 1995 (900 mm). Une autre période déficitaire a été remarquée de l'année 1997 à 2008 avec une précipitation de moins de 400 mm. Cette variabilité chronologique que ces deux stations ont subie, domine sur toutes les autres stations.

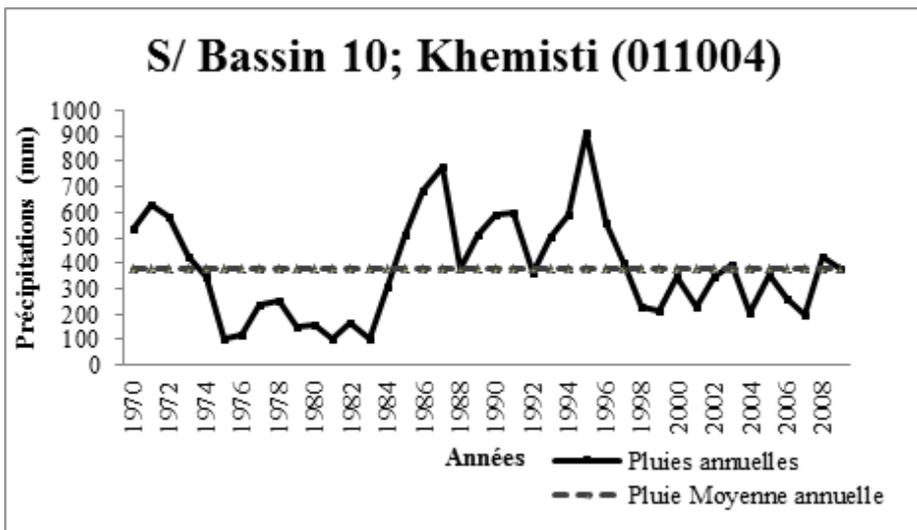
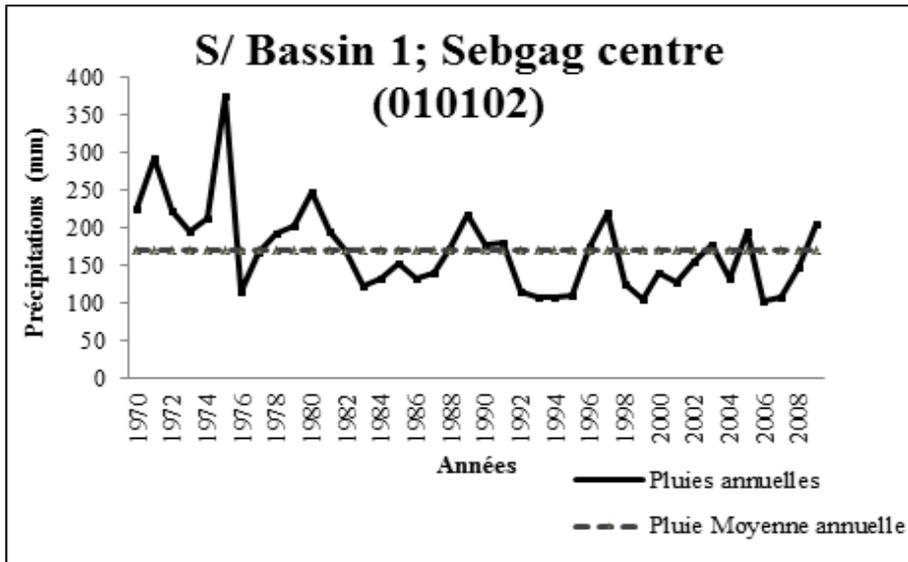


Fig.3. Évolution chronologique des précipitations

ANALYSE TEMPORELLE DU REGIME PLUVIOMETRIQUE

Les résultats obtenus par l'analyse des séries pluviométriques annuelles de ces 12 stations pour la période allant de 1970/71 jusqu'à 2009/10 sont regroupés dans le tableau 3, montrant les années de ruptures obtenues par les trois tests ;Pettitt, Lee et Heghinian (Pettitt,1979) et Hubert (Hubert et *al*, 1989) et le déficit lié aux changements.

Tableau 3. Années des ruptures sur la période 1970/71-2009/10

Station	Nom	Pettitt	Lee et Heghinian	Hubert	Déficit (%)
010102	Sebgag centre	1982	1972	1975	+36,6
010205	Gueltat Sidi Saad	-*	1972	1972	+38,5
010301	S.reconstituée	1980	1976	1976	+35,4
010401	S.reconstituée	1980	1980	1980	+34,0
010502	Zmalet El Amir Aek	-	-	-	-
010601	S.reconstituée	1980	1976	1976	+35,5
010701	Ain Baadj	-	1981	1981	+23,4
010803	Mehdia	-	1976	1976	+27,9
010901	Sougueur	-	1976	-	+15,2
011004	Khemisti	1984	1984	-	-15,9
011102	Zenzach	-	1976	-	+21,6
011206	Chahbounia	-	1972	1972	+32,1

*- Pas de rupture

Au vu du tableau 3, l'évolution de la pluviométrie des séries étudiées est considérable. Le déficit enregistré dans les sous bassins varie entre **+15.2** et **+38.5** dans le S/B **2** et **9** respectivement. On peut aussi remarquer que ce déficit est négatif (**-15.9**) dans le S/B **10**, une augmentation légère de la pluviométrie a été enregistrée dans ce bassin versant durant les 40 ans analysés contrairement aux autres bassins versants montrant des diminutions variables de la pluviométrie en fonction de la position géographique.

La formulation du déficit est donnée par l'expression 1 (Boucefiane, 2006) :

$$D (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

Où : m_1 et m_2 sont les moyennes respectives avant et après rupture.

Afin de mettre en évidence l'ampleur de cette évolution, une comparaison entre les deux moyennes (m_1 et m_2) est entreprise (tableau 4).

Tableau 4. Évolution du régime pluviométrique avant et après la rupture

Code	Nom	m_1	m_2	m_2/m_1 (%)
010102	Sebgag Centre	257,6	163,2	63
010205	Gueltat Sidi Saad	228,3	140,3	38
010301	S.reconstituée	209.7	135,5	64
010401	S.reconstituée	255.9	168.6	66
010502	Zmalet El Amir Aek	138,0	138,0	-
010601	S.reconstituée	354.7	228.5	64
010701	Ain Baadj	307.2	235.2	76
010803	Mehdia	457.0	329.5	72
010901	Sougueur	440.8	373.5	84
011004	Khemisti	279,6	438,8	156
011102	Zenzach	304.2	238.2	78
011206	Chahbounia	209.7	135.5	64

* m_1 : moyenne avant la rupture (mm) * m_2 : moyenne après la rupture (mm)

À partir de ces ruptures, la baisse du module pluviométrique est devenue une réalité. Selon les tests appliqués, la moyenne après la rupture, du sous bassin 2, est 4 fois inférieure à la moyenne du sous bassin 10 avec un taux de variation oscillant de **38 à 156%** respectivement. Ces anomalies confirment les résultats obtenus lors de l'analyse de la tendance.

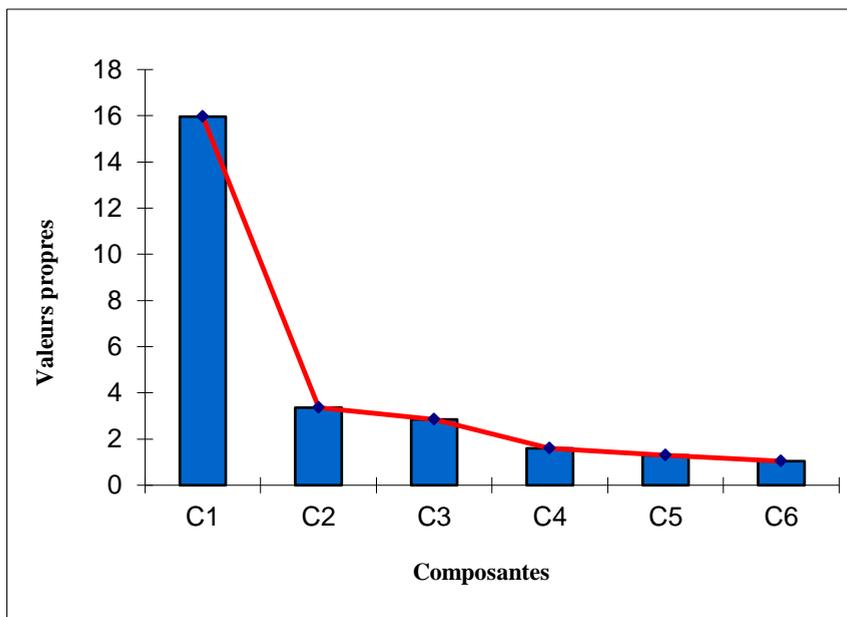
ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DU BASSIN

En vue d'étudier le régime pluviométrique de la région d'étude "Amont Boughezoul", une ACP a été appliquée aux totaux annuels sur la période retenue pour une analyse spatio-temporelle. Le fichier est formé d'une matrice de **33** colonnes représentant les variables (stations) et de **40** lignes représentant les observations (années) (Medjerab, 2005). Les résultats sont résumés dans le tableau 5.

Tableau 5. Valeurs propres et Pourcentages des variances

CPi	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Valeur propre	16,5721	3,5362	2,4704	1,8346	1,1698	1,0933
Variance %	50,22	10,72	7,49	5,56	3,54	3,31
Variance cumulée %	50,22	60,93	68,42	73,98	77,52	80,84

Le tableau 5 montre que la variance cumulée des 3 premières composantes explique plus de **68%** de l'information totale. Le maximum d'information est expliqué par la première composante (CP1) avec un pourcentage de **50,22%** (Fig.5). Par contre la deuxième (**10,72%**) et la troisième composante (**7,49%**) ont tendance à différencier les stations les plus lointaines et elles sont moins informatives. La représentation graphique (Fig.4) confirme les résultats obtenus du tableau 5.

**Fig.4.** Histogramme de la variabilité en fonction des composantes principales

Le cercle de corrélation (Fig.5) permet de projeter sur deux dimensions (les deux principales composantes ; CP1 et CP2), les variables obtenues sur les deux premiers axes. L'inertie des axes est l'explication du sens des composantes, car la variable est représentée par une ligne sur le cercle et plus la variable est proche d'un axe, plus elle contribue à sa définition.

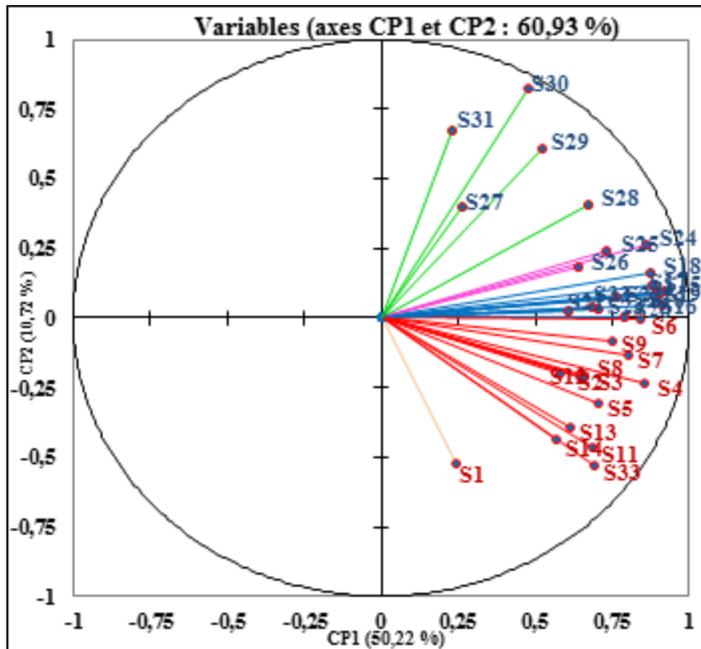


Fig. 5. Cercle des corrélations sur les axes (CP1-CP2)

L'analyse de cercle de corrélation laisse apparaître une régionalisation à l'intérieur de la zone d'étude. On a remarqué que les stations s'organisent en 2 régions :

Région I : elle regroupe les stations représentant une corrélation positive, elle est divisée en 3 groupes ; le premier est constitué des 3 stations du sous bassin 11 (**S24, S25, S26**) qui ont presque les mêmes conditions climatiques. Le second inclut les cinq stations du sous bassin 12 (**S27, S28, S29, S30 et S31**). Ces stations apparaissent un peu loin que les autres, cet espacement est due à leur faible altitude. Alors que le dernier regroupe le reste des stations des **sous bassins 7, 8, 9 et 10** qui se ressemblent entre eux géographiquement.

Région II : elle regroupe les stations corrélées négativement entre eux, en formant 2 groupes ; le premier est formé d'une seule station de sous bassin 1 (**S1**) avec une forte altitude, le second est celui représenté par le reste des stations.

La figure 6 a été établie lors de la projection des résultats du cercle de corrélation sur la zone d'étude ;

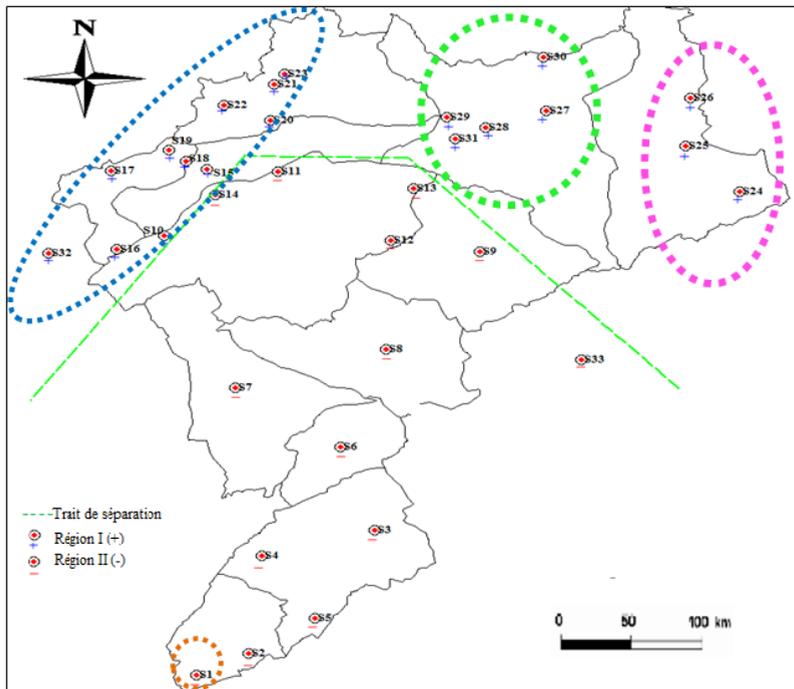


Fig. 6. Cartographie des résultats du cercle de corrélation

L'analyse réalisée par l'ACP peut, aussi, informer sur l'évolution chronologique des précipitations annuelles sur l'ensemble du bassin versant de l'Amont Boughezoul, ce qui a permis de mettre en évidence l'alternance des années humides et des années sèches.

Le plan factoriel permet de produire une courbe de tendance avec les valeurs cumulées des scores sur les composantes principales (ou axes), **CP1** et **CP2**. Celles-ci, obtenues en multipliant les valeurs propres et les vecteurs propres, mettent en évidence des tendances climatiques saisonnières ou annuelles en raison de leur forte variabilité. La tendance de chaque courbe dépend de la période d'observation et de ce fait, certaines années peuvent être sèches et avoir des sous-périodes humides.

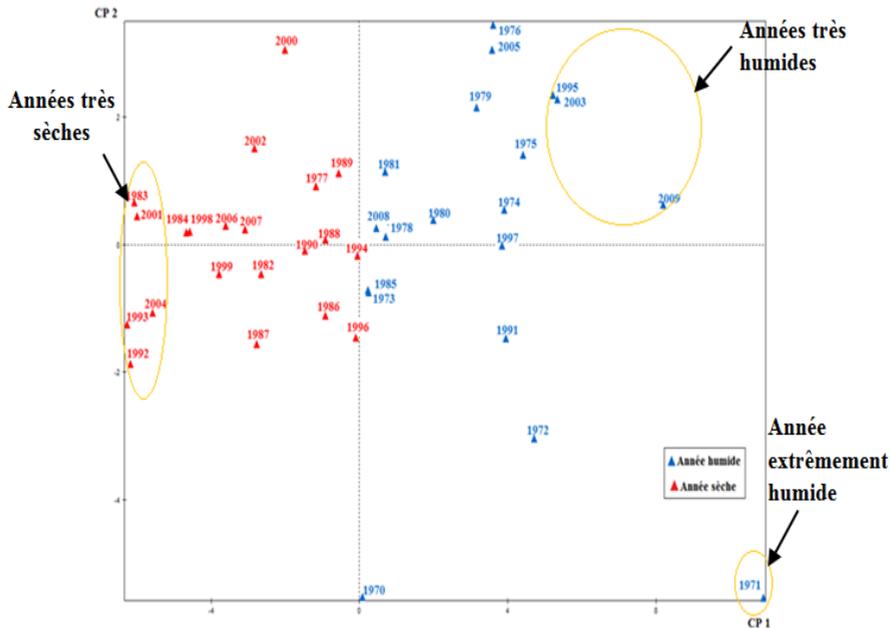


Fig. 7. Représentation des individus sur le plan factoriel (CP1 et CP2)

Le plan factoriel (Fig.7) présente un regroupement de deux régions caractérisées par leur variabilité temporelle :

Région I : regroupe les années humides, dont on observe que l'année 1971 a été extrêmement humide tandis que les années 1995, 2003 et 2009 ont été très humides sur l'ensemble du bassin.

Région II : regroupe les années sèches, on peut constater que les années 1983, 1992, 1993, 2001 et 2004 ont été les années les plus sèches sur l'ensemble du bassin.

Ces anomalies peuvent être illustrées d'une autre façon, prenant les valeurs de la première composante qui exprime une variance maximale (Fig. 8).

L'évolution des valeurs de CP1 entre les années 1970-2009 décrit bien la variabilité chronologique enregistrée dans le bassin versant et montre que les années excédentaires dans cette série sont les années **1971, 1995, 2003** et **2009**. Elle comprend également les années **1883, 1992, 1993, 2001** et **2004** qui ont été, vraiment, déficitaires.

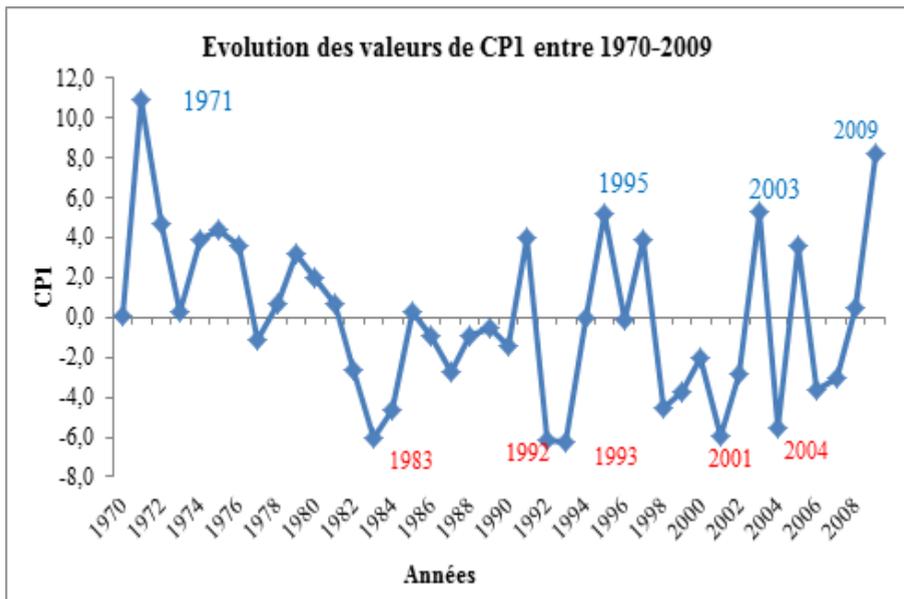


Fig. 8. Variabilité temporelle de la première composante principale

CARACTERISATION DE LA SECHERESSE DANS LA ZONE D'ETUDE

L'indice standardisé de précipitation « SPI » peut caractériser les déficits de précipitation durant la période d'observation (1970/71 à 2009/10) pour 12 stations représentatives des sous bassins avec des différentes altitudes dans la région de l'amont Bougezoul. On a utilisé cette approche (Mckee et *al*;1993), vu sa facilité et sa bonne manipulation des données.

Après le calcul du SPI, on remarque que les stations de la région d'étude présentent un pourcentage des années Normales très élevées par rapport aux autres (environ 70 %), ensuite il vient le pourcentage des années sèches et les années humides qui présentent, à leur tour, presque la même fréquence (environ 14%). Ces deux classes constituent une certaine alternance dans notre zone d'étude qui s'explique par sa situation climatique (Fig. 9).

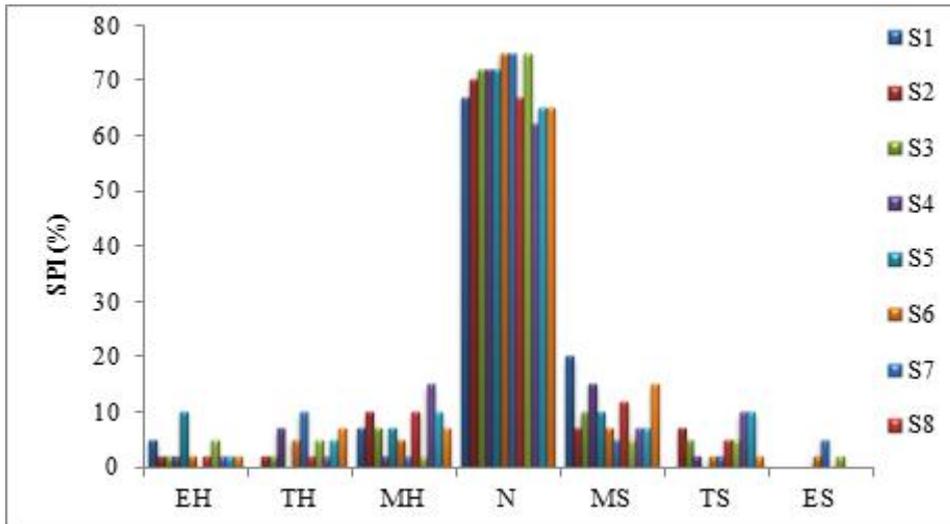


Fig.9. Fréquence des valeurs du SPI (%) des sous bassins étudiés

Pour caractériser la sécheresse météorologique dans la zone d'étude durant la période d'observation (1970/71-2009/2010) et pour mieux visualiser les observations obtenues par l'indice standardisé de précipitation (SPI), une cartographie est établie (Fig. 10).

D'une manière générale, les figures 9 et 10 donnent des possibilités de distinguer, les différentes classes du SPI, les successions des différentes épisodes secs ou humides et de comparer les sous bassins entre eux du point de vue intensité et durée. Sur toute la période d'observation, des sécheresses marquées ont été révélées (**1983, 1993 et 2001**) et d'autres années qui ont été humides sont mentionnées (**1971, 2009**). Il y a lieu de constater « nettement » la distinction entre les années humides (en bleu) et les années sèches (en jaune).

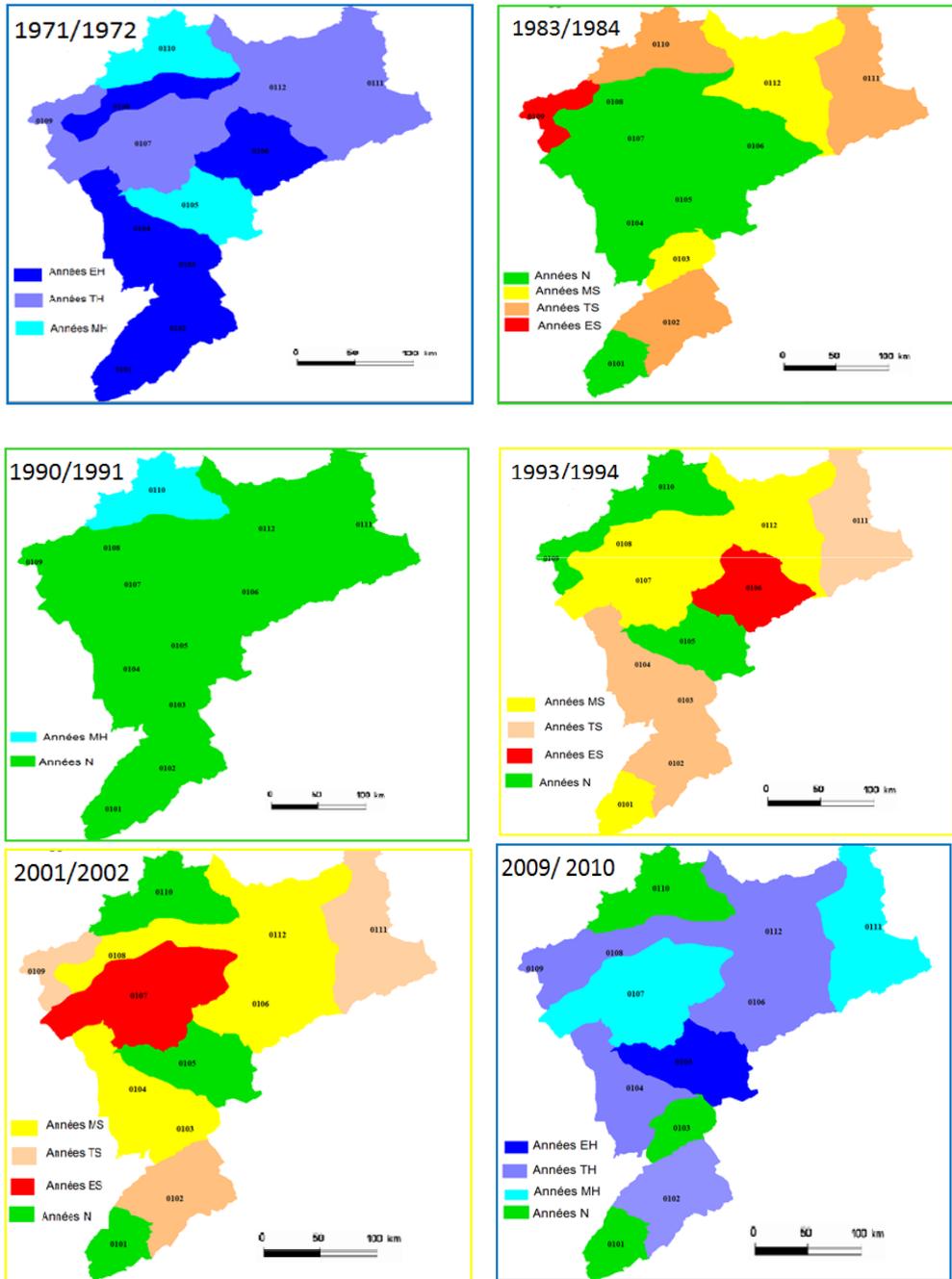


Fig. 10. Projection des résultats du SPI sur le bassin de l'amont Bougezoul

CONCLUSION

Dans ce travail, l'étude des précipitations annuelles est fondée sur une approche statistique, dont l'objectif est d'appréhender les caractéristiques essentielles de la variabilité interannuelle des séries pluviométriques. Cette étude est menée au Nord-Ouest de l'Algérie, couvrant le bassin versant "Amont Boughezoul" qui a été pris comme exemple d'application, vu que ce dernier est exposé à une sécheresse météorologique depuis des décennies, malgré ses grandes potentialités en eau d'après les études antérieures.

L'étude de l'évolution chronologique a permis de mettre en évidence une tendance générale à la baisse de la pluviométrie qui s'est aggravée au cours des dernières décennies à l'exception des années **2008** et **2009**.

L'analyse temporelle par les tests d'homogénéité a permis de détecter les années de ruptures du bassin (à partir de **1976**) avec des différents taux de variation pour chaque sous bassin.

L'analyse spatiotemporelle par l'ACP met en évidence deux périodes distinctes sur l'ensemble du bassin versant ; la première regroupe les années humides allant de **1970** jusqu'à **1980**, et une deuxième période déficitaire sur les trois dernières décennies à l'exception des années **1995** et **2009** qui étaient vraiment excédentaires avec des moyennes de **340.17** et de **361.22 mm** respectivement. L'ACP a permis, aussi, d'apprécier deux régions dont chacune comporte les stations ayant les mêmes comportements ou les conditions climatiques. En effet, la première région se retrouve dans la partie Sud du bassin regroupant les stations corrélées négativement, l'autre se situe dans la partie Nord du bassin et qui est formée par les stations corrélées positivement.

Le calcul de l'indice standardisé des précipitations "SPI" a permis de distinguer trois classes avec la dominance de la classe normale (**70%**) et une alternance des périodes sèches (**1983, 1992, 1993, 2001 et 2004**) et humides (**1971, 1975, 2003 et 2009**) avec la même fréquence (**14%**) sur une période de 40 ans.

Enfin, pour faire face à ces perturbations climatiques et à la sévérité de la sécheresse météorologique qui affectent le cycle hydrologique, il faut arriver aux recommandations concernant la mobilisation et la gestion des ressources en eau (aménagement des barrages, limiter la surexploitation des eaux souterraines, appliquer les projets de développement en agriculture "l'irrigation par goutte à goutte"....).

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- Achite M. & Touaibia B. (2007).** *Sécheresse et gestion des ressources en eau dans le bassin versant de la Mina*; VIII congrès international sur la Gestion de la demande en eau en Méditerranée, progrès et politiques. Saragosse, 19-21 mars.
- ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques). (2011).** *Données pluviométriques et climatologiques*. Document interne. Direction régionale de l'ANRH. Blida. Algérie
- Boucefiane, A. (2006).** *Cartographie automatique des précipitations du bassin Cheliff-Zahrez*, Mémoire de Magister, Centre Universitaire de Khemis Miliana, 180p.
- Hubert P., Carbonnel J.P. & Chaouche A. (1989).** *Segmentation des séries hydrométéorologiques, Application à des séries de précipitations et de débits de Afrique de l'Ouest*. Journal of Hydrologie.110, (3) ; pp 349-367.
- Jean Emmanuel Paturol, Eric Servat, Helene Lubes, M. O. Delattre. (1998).** *Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique*. HSJ.vol. 43 (6) ; pp 937-946.
- Khaldi A. (2005).** *Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien, Monts de Tlemcen*. Thèse de Doctorat d'Etat. Univ. Oran . 229p.
- Mckee T. B., Doesken N. J. & 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, ppn179-184.
- Meddi, M. Hubert, & P. Bendjoudi, H. (2003).** *Impact du changement du régime pluviométrique sur les ressources en eau dans le Nord-Ouest de l'Algérie*. Hydrologie des régions Méditerranéennes et semi-arides, 1-4, Avril, Montpellier, France.
- Medjerab, A. (2005).** *Étude pluviométrique de l'Algérie Nord – occidentale, « Approche statistique et cartographie automatique*. Thèse de Doctorat d'État, U.S.T.H.B Alger. 200p.
- Pettitt A. (1979).** *A non-parametric approach to the change-point problem applied statistics*. Journal of the royal Statistical Society. Séries C (Applied Statistics) , Vol. 28. N° 2, pp 126-135.

&&&&