

Etude de l'évolution des séries pluviométriques de la Tunisie Centrale

A. Kingumbi*, Z. Bergaoui*, J. Bourges**, P. Hubert*** et R. Kallel****.

* *Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis (ENIT) BP 37 Le Belvédère 1002 Tunis.*

** *IRD Mission Tunisie BP 434 El Menzah 1004 Tunis.*

*** *Ecole des mines de Paris - C. I. G. 35, rue Saint Honoré 77305 Fontainebleau*

**** *Ministère de l'Agriculture - DGRE Tunis.*

Résumé

L'étude de la pluviométrie annuelle de la Tunisie centrale par la méthode de la variable centrée réduite a mis en évidence une certaine baisse de la pluviométrie entre 1976 et 1989. Cependant en utilisant des tests statistiques, il n'a pas été montré de rupture de stationnarité dans les séries chronologiques considérées. Par contre, l'étude de la persistance temporelle des classes de pluies a montré une baisse très significative des pluies supérieures à 30 mm après 1976.

mots clés

Précipitations, Tunisie centrale, rupture de stationnarité, persistance temporelle.

Introduction

Les apports de l'oued Merguellil ont connu une baisse assez significative ces dernières années. Sans tenir compte de l'année exceptionnelle 1969-1970, les apports moyens interannuels aux stations de Haffouz et Sidi Boujdaria ont été estimés respectivement à 16.7 millions de m³ (1966-1982) et à 32 millions de m³ (entre 1974-1982) (Bouzaïane & Lafforgue, 1986). Dans une étude plus récente effectuée sur la période après la mise en place du barrage d'El Haouareb (Kingumbi A., 1999), le volume d'apports moyens interannuels à ce barrage est évalué à 23 millions de m³ (1989-1998). La comparaison entre ces mesures aux différentes stations hydrométriques, Haffouz (675 km²), Sidi Boujdaria (890 Km²) et El Haouareb (1200 km²)(fig. 1), montre que le module moyen de cet oued a considérablement baissé ces dix dernières années.

Deux facteurs peuvent contribuer à la baisse de la réponse de ce bassin ; d'une part la diminution des précipitations, objet de cette étude, qui peut être une conséquence de la variabilité climatique, et d'autre part le facteur anthropique qui se manifeste par l'implantation d'aménagements hydrauliques divers et un accroissements de surfaces cultivées.

données

La région d'étude se situe dans deux gouvernorats (Kairouan et Siliana) de la Tunisie Centrale (fig. 1). Les stations pluviométriques sélectionnées sont au nombre de 8, il s'agit de Kairouan, Sidi Saad, Haffouz, El Ala, Skhira, Kesra, Ouslatia et Sidi Hamada. En vue de comparer l'évolution pluviométrique de la Tunisie Centrale à celle d'autres régions du pays, deux stations ont été aussi traitées : l'une au nord (Tunis) et l'autre au sud (Gafsa). Chacune des stations sélectionnées a une durée supérieure ou égale à trente années d'existence à l'exception de la station de Skhira qui n'a que vingt cinq années.

Quinze variables ont été calculées à partir de la pluie journalière de chaque station. Il s'agit de la pluie annuelle, les pluies saisonnières et leurs contributions au total annuel, le nombre de jours de pluie supérieure à un seuil choisi (0 mm, 5 mm, 10 mm et 30 mm), le cumul des pluies supérieures à 30 mm et la contribution de ces pluies au total annuel.

Variabilité et changement climatiques

Plusieurs manifestations climatiques récentes de grande ampleur ont poussé la communauté mondiale à s'intéresser aux changements climatiques et à leurs conséquences socio-économiques. Parmi ces manifestations on peut citer la sécheresse qui a touché les deux bandes tropicales de notre planète (surtout les régions sahéliennes d'Afrique de l'ouest) depuis les années 70 (Sircoulon, 1976), les récents phénomènes d'El niño (Vandiepenbeeck M., 1998) et les constatations de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) sur le réchauffement de la planète de 0.5 °C depuis la moitié du siècle dernier (Cantat O., 1995).

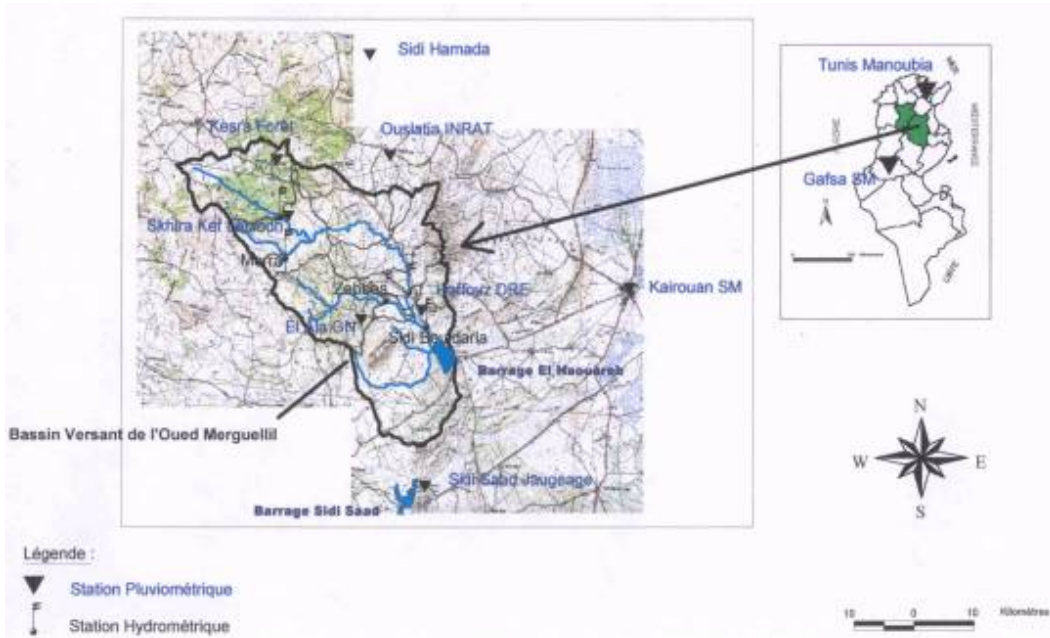


Fig. 1: Situation et carte du bassin versant du Merguellil

Parmi les résolutions prises il y a la mesure précise des fluctuations et leur interprétation statistique. Dans ce cadre plusieurs méthodes de détection des changements climatiques ont été mises au point (WMO, 1966 ; Lubès H. *et al.*, 1994 ; Cavadias, 1994).

Les changements climatiques supposent la dégradation à long terme des valeurs moyennes des caractéristiques statistiques des variables étudiées sur des périodes de longue durée. Cette notion diffère de la variabilité climatique qui suppose la stationnarité et décrit la fluctuation des valeurs saisonnières ou annuelles par rapport aux valeurs temporelles de référence. Le cycle climatique de l'eau étant l'une des manifestations majeures du climat, son suivi permet d'appréhender certains aspects d'évolution du climat. Ainsi Mitosek indique que les variables les plus adaptées pour le suivi du climat sont (Ouarda Taha B. *et al.*, 1999) : le débit des rivières, le niveau des lacs, les précipitations, les températures de l'air et de l'eau, la date de rupture du couvert de glace et sa durée, et le niveau des eaux souterraines.

Les évolutions possibles de ces variables climatiques peuvent être ramenées à deux types de modifications à analyser : le changement de la moyenne et celui de la variance (Ouarda Taha B. *et al.*, 1999).

Par le monde de nombreuses études ont été menées pour la détection de ces changements. En Afrique sahélienne et non sahélienne beaucoup d'auteurs ont mis en évidence, à partir des séries hydro-pluviométriques, une phase sèche qui a débuté vers les années 1970 et qui perdure jusqu'à présent. Dans cette région, il a été constaté une diminution de la pluviométrie annuelle (Hubert et Carbonnel, 1987 ; Moron Vincent, 1994 ; Paturel J.E. *et al.*, 1995 ; Paturel J.E. *et al.*, 1997 ; Servat E. *et al.*, 1997 ; Tarhule Aondover et Woo Ming-ko, 1998 ; Servat E. *et al.*, 1999), du nombre de jours de pluie (Paturel J.E. *et al.*, 1997 ; Servat E. *et al.*, 1997 ; Houndénou C. et Hernandez K., 1998 ; Tarhule Aondover et Woo Ming-ko, 1998 ; Servat E. *et al.*, 1999), de fortes intensités de pluies (Houndénou C. et Hernandez K., 1998 ; Tarhule Aondover et Woo Ming-ko, 1998), des débits de rivières (Sircoulon, 1987 ; Opoku-Ankomah y. et Amisigo B.A., 1998), des niveaux des lacs (Sircoulon, 1987), ainsi qu'un raccourcissement de la saison pluvieuse (Bello N.J., 1998 ; Servat E. *et al.*, 1999).

Assani Ali A. (1999) a mis en évidence, à l'aide du filtre récursif passe-bas de Hanning d'ordre 2, la succession de phases sèches et humides à Lubumbashi (RDC) ; la dernière phase sèche en date a commencé vers les années 1980 et se prolonge jusqu'à nos jours. Malgré cela, avec le test de Mann-Kendall il n'a pas détecté de rupture de la stationnarité dans la série chronologique étudiée alors que les précipitations sont significativement corrélées aux indices d'oscillation australe pendant la saison de pluies.

méthode

En dehors de l'utilisation de la variable centrée réduite sur la pluviométrie annuelle, en vue de cerner l'évolution de la pluviométrie annuelle par rapport à la moyenne de la période considérée, deux méthodes de détection de rupture de la stationnarité des séries chronologiques ont été utilisées dans cette étude : le test de Pettitt et la procédure de segmentation des séries hydropluviométriques de Pierre Hubert.

Le test de Pettitt

Le test de Pettitt a déjà fait l'objet de publications antérieures (Lubes *et al.*, 1994 ; Lubes-Niel H., 1998). Il consiste à découper la série principale de N éléments en deux sous séries à chaque instant t compris entre 1 et $N-1$. La série principale présente une rupture à l'instant t si les deux sous séries ont des distributions différentes. L'hypothèse nulle H_0 de non - rupture est testée au moyen d'un test non paramétrique. Pour un

risque a de première espèce donné, H_0 est rejetée si une certaine probabilité ($\text{Prob}(K_N > k)$) calculée à partir de la série chronologique étudiée est inférieure à α .

Ce test a été choisi pour son utilisation dans de nombreuses études de détection de changement de la stationnarité, sa puissance surtout en ce qui concerne le test de rupture sur la moyenne (Lubès-Niel H. *et al.*, 1998), et sa robustesse (Lubès H. *et al.*, 1994).

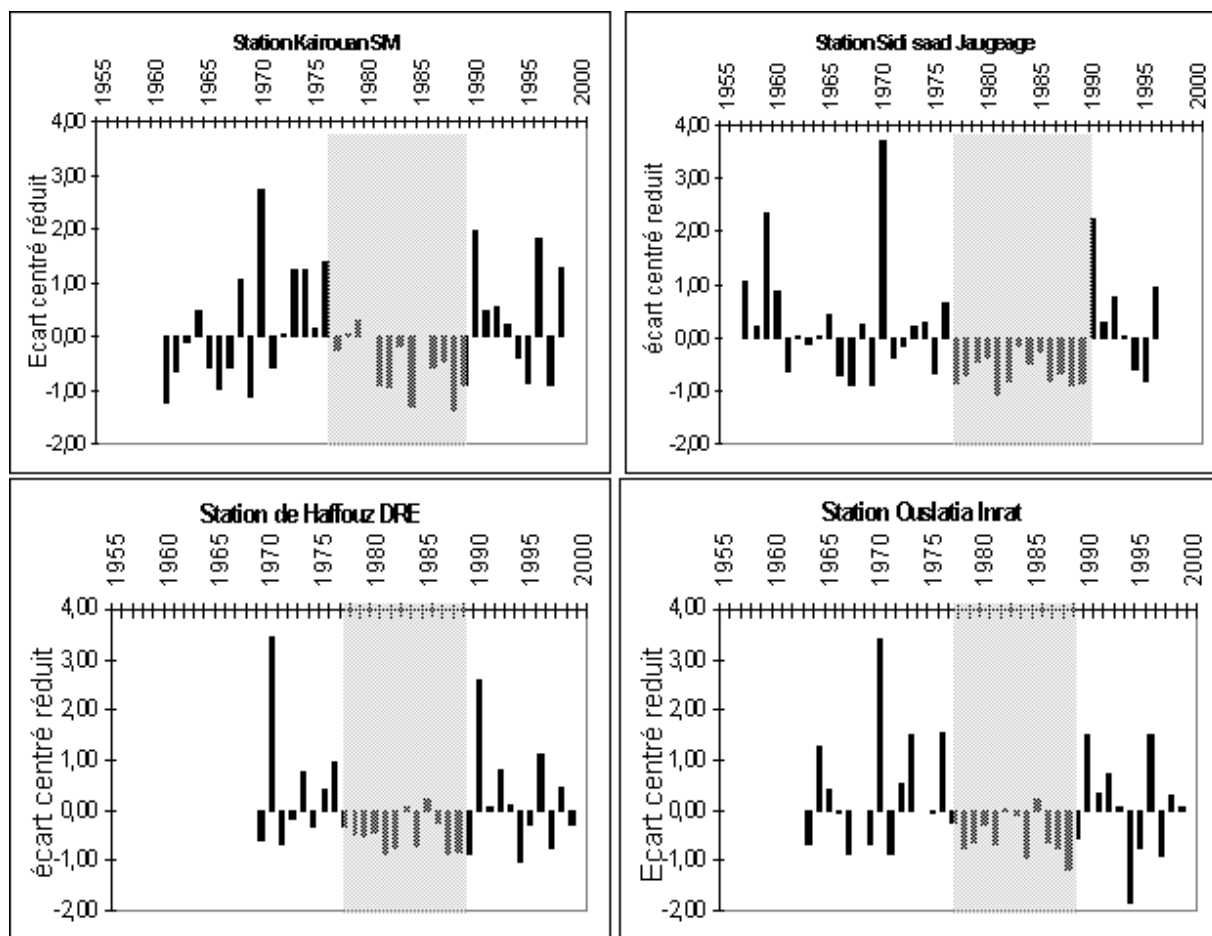


Fig. 2: Écarts centrés réduits sur quatre stations de la Tunisie Centrale

La Procédure de segmentation des séries hydrométéorologiques (Hubert P. et al., 1989)

La procédure de segmentation a pour principe le découpage d'une série en m segments de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit nettement différente de la moyenne du (des) segment (s) voisin (s).

La segmentation est retenue lorsque l'écart quadratique entre elle et la série est minimum. Cette condition est nécessaire mais non suffisante pour la détermination de la segmentation optimale. Il faut lui adjoindre, par application du test de Scheffé, la contrainte selon laquelle les moyennes des deux segments contigus doivent être significativement différentes.

Cette méthode présente l'avantage de pouvoir rechercher des changements multiples de moyenne dans une série hydrométéorologique. Elle est considérée comme un test de stationnarité ; « la série étudiée est stationnaire » constitue l'hypothèse nulle de ce test. Elle a été utilisée dans plusieurs études de changements climatiques notamment en Roumanie (Carbonnel J.P. et Hubert P., 1994) et surtout en Afrique de l'ouest où elle a été appliquée aux séries des précipitations et des débits de cette région (Hubert P. *et al.*, 1989).

La puissance de cette procédure a été confirmée par Lubès-Niel H. *et al.* (1998) surtout au niveau de signification 0.01 du test de Scheffé. Elle s'est révélée particulièrement robuste en confirmant les discontinuités détectées initialement après l'allongement (de dix ans) des séries étudiées en Afrique de l'Ouest (Hubert P., *et al.*, 1998).

Etude de changement dans la persistance temporelle

Les deux méthodes utilisées plus haut, sont adaptées à la recherche de changements éventuels de la moyenne et de la variance dans les séries chronologiques. Comme l'a démontré Bardossy (1994), les persistance spatiale et temporelle peuvent avoir une influence majeure sur le cycle de l'eau. Partant des résultats des méthodes présentées ci-dessus, une étude de la persistance temporelle des classes de pluies sera effectuée. Il

s'agira de calculer la distribution des classes de pluies (entre 0 et 5 mm, 5 et 10 mm, 10 et 30 mm et les pluies supérieures à 30 mm) pour les différentes périodes de changements qui auront été détectées.

résultats

Evolution de la pluviométrie annuelle de la Tunisie centrale

L'étude de la variable centrée réduite des précipitations annuelles a permis de dégager trois périodes (fig. 2). La première concerne les années antérieures à 1977 et correspond à une succession d'années sèches et humides. La deuxième période commence avec l'année 1977 et va jusqu'à l'année 1989, elle est caractérisée par une succession d'années sèches seulement. La période après 1989 est caractérisée par une certaine reprise pluviométrique et les successions d'années sèches et humides sont comparables à celles observées dans la première. Deux années excédentaires se dégagent particulièrement du lot, 1969-1970 et 1989-1990. La première caractérisée par les écarts qui vont parfois au delà de 4 unités est d'ailleurs considérée comme exceptionnelle dans l'histoire pluviométrique récente de la Tunisie Centrale.

Il est aussi à remarquer une persistance de faibles pluviométries annuelles entre 1977-1989, période caractérisée par une variance faible, alors que les périodes antérieure et postérieure connaissent d'importantes fluctuations (tableau 3).

Etude de la stationnarité des séries pluviométriques de la Tunisie Centrale

La procédure de segmentation des séries hydrométéorologiques a donné des résultats qui sont consignés dans le tableau 1. Pour les pluies annuelles, ce test montre qu'il n'y a eu aucune rupture de la stationnarité pour l'ensemble des stations de la Tunisie centrale. En ce qui concerne les totaux saisonniers, aucune rupture ne s'est non plus dégagée mis à part le poids saisonnier du printemps qui présente une certaine rupture en 1992 sur trois stations (Haffouz, Skhira et Ouslatia).

Si on s'intéresse au nombre de jours de pluie (> 0 mm), on observe rupture vers les années 1976 sur cinq stations : Kairouan, Sidi Saad, Ouslatia, Kesra et Sidi Hamada. De même, la contribution des pluies supérieures à 30 mm ainsi que le cumul > 30 mm présentent une rupture identique pour les stations de Sidi Saad, Haffouz, El Ala et Kesra entre 1975 et 1977.

Pour deux stations situées hors de la Tunisie centrale, il a été constaté à Tunis une rupture vers les années 1950 pour plusieurs des paramètres étudiés ; mais aucune rupture n'est mis en évidence à Gafsa.

Le test de Pettitt a été programmé sous l'environnement Turbo Pascal. En considérant un risque α de 5 %, seule une rupture dans le nombre de jours de pluies (> 0 mm) a été détectée en Tunisie Centrale (pour les stations de Kairouan et Sidi Saad). Tous les résultats de ce test pour les probabilités $\text{Prob}(K_N > k) \leq 0.5$ sont donnés dans le tableau 2. Ils montrent qu'il y aurait eu une certaine baisse, à partir de 1976, de la pluviométrie annuelle (station de Sidi Saad), des pluies d'été (station de Kairouan, Sidi Saad et Kesra), du cumul de pluies supérieure à 30 mm et de sa contribution dans le total annuel (station de Sidi Saad, Haffouz, El Ala et Kesra). Il semble aussi qu'une baisse des pluies d'automne aurait été détectée en 1992, alors que le cumul de pluies supérieure à 30 mm et sa contribution dans le total annuel (station de Kairouan et Skhira) auraient connu une hausse à partir de 1989.

De même que pour la procédure de Pierre Hubert, on remarque qu'il n'y a pas de concomitance dans les ruptures éventuelles entre les stations de la Tunisie centrale et celles de Tunis au nord et Gafsa au sud.

Tableau 1: Résultats de l'application de la procédure de segmentation de Pierre Hubert sur les séries chronologiques étudiées

Détection de ruptures dans les séries chronologiques par la procédure de segmentation de Pierre HUBERT										
Variable/Station	Kairouan SM (1961-1998)	Sidi Saad J (1957-1996)	Haffouz DRE (1969-1999)	El Ala GN (1970-1998)	Skhira KL (1975-1999)	Ouslatia INRAT (1963-1999)	Kesra Forêt (1967-1996)	Sidi Hamada (1961-1991)	Tunis Manoubia (1902-1998)	Gafsa SM (1962-1998)
Pluies annuelles	-	-	-	-	-	-	-	-	1948	-
Pluies saisonnière d'automne	-	-	-	-	-	-	-	-	1950	-
Pluies saisonnière d'hiver	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pluies saisonnière de printemps	-	-	-	-	-	1993	-	1989	1952	-

Plan

Pluies saisonnière d'été	-	1964	-	-	1988	1976	-	-	-	-
Poids saisonnier d'automne	-	-	-	-	1992	-	-	-	-	-
Poids saisonnier d'hiver	-	-	-	-	-	-	-	-	1949	-
Poids saisonnier de printemps	-	-	1992	-	1992	1992	1975	1971	-	-
Poids saisonnier d'été	-	-	-	-	-	-	1988	1969	-	-
Nombre de jours de pluie	1976	1976	-	-	-	1976	1973	1976	1922	-
Nombre de jours de pluie > 5 mm	-	-	-	-	-	-	1972	1989	1951	-
Nombre de jours de pluie > 10 mm	-	1989	1989	-	-	-	-	1989	1952	-
Nombre de jours de pluie > 30 mm	-	-	-	-	1988	-	-	-	-	-
Cumul des pluies > 30 mm	-	1974	-	-	1989	-	-	-	-	-
Contribution du cumul de pluies > 30 mm	-	1975	1976	1975	1989	-	1977	-	-	-

Tableau 2: Résultats de l'application du test de Pettitt sur les séries chronologiques étudiées

Détection de ruptures dans les séries chronologiques par le test de PETTITT										
Variable/Station	Kairouan SM (1961-1998)	Sidi Saad J (1957-1996)	Haffouz DRE (1969-1999)	El Ala GN (1970-1998)	Skhira KL (1975-1999)	Ouslatia INRAT (1963-1999)	Kesra Forêt (1967-1996)	Sidi Hamada (1961-1991)	Tunis Manoubia (1902-1998)	Gafsa SM (1962-1998)
Pluies annuelles	-	1976 (0.24)	-	-	-	-	-	-	1948 (0.27)	-
Pluies saisonnière d'automne	1966 (0.43)	1989 (0.50)	-	-	-	-	-	-	1948 (0.31)	-
Pluies saisonnière d'hiver	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pluies saisonnière de printemps	-	-	1992 (0.44)	-	1993 (0.09)	1992 (0.32)	-	1971 (0.45)	1951 (0.15)	-
Pluies saisonnière d'été	1976 (0.30)	1973 (0.16)	-	-	-	1976 (0.09)	-	1969 (0.16)	1949 (0.11)	-
Poids saisonnier d'automne	1976 (0.23)	1976 (0.41)	-	-	1992 (0.28)	-	-	-	-	-
Poids saisonnier d'hiver	-	-	-	-	-	-	-	-	1949 (0.22)	-
Poids saisonnier de printemps	-	-	1992 (0.14)	-	1992 (0.06)	1992 (0.23)	1975 (0.30)	1971 (0.31)	-	-
Poids saisonnier d'été	1969 (0.37)	1979 (0.32)	-	-	-	1976 (0.21)	-	1969 (0.17)	1945 (0.20)	-
Nombre de jours de pluie	1976 (0.04)	1973 (0.01)	-	-	1980 (0.14)	1986 (0.37)	1984 (0.16)	1976 (0.21)	1928 (0.00)	-

Nombre de jours de pluie > 5 mm	-	-	-	-	-	1977 (0.47)	-	-	1951 (0.01)	1987 (0.47)
Nombre de jours de pluie > 10 mm	-	1989 (0.47)	-	-	-	-	-	1981(0.27)	1951 (0.43)	1976 (0.48)
Nombre de jours de pluie > 30 mm	-	1975 (0.24)	-	1976 (0.37)	1988 (0.11)	-	-	-	1940 (0.27)	-
Cumul des pluies > 30 mm	1989 (0.18)	1975 (0.12)	1976 (0.36)	1976 (0.22)	1989 (0.18)	-	1977 (0.44)	-	-	-
Contribution du cumul de pluies > 30 mm	1989 (0.26)	1975 (0.21)	1976 (0.37)	1976 (0.23)	1989 (0.13)	-	1977 (0.32)	-	1940 (0.46)	-

(*) Prob($K_N > k$)

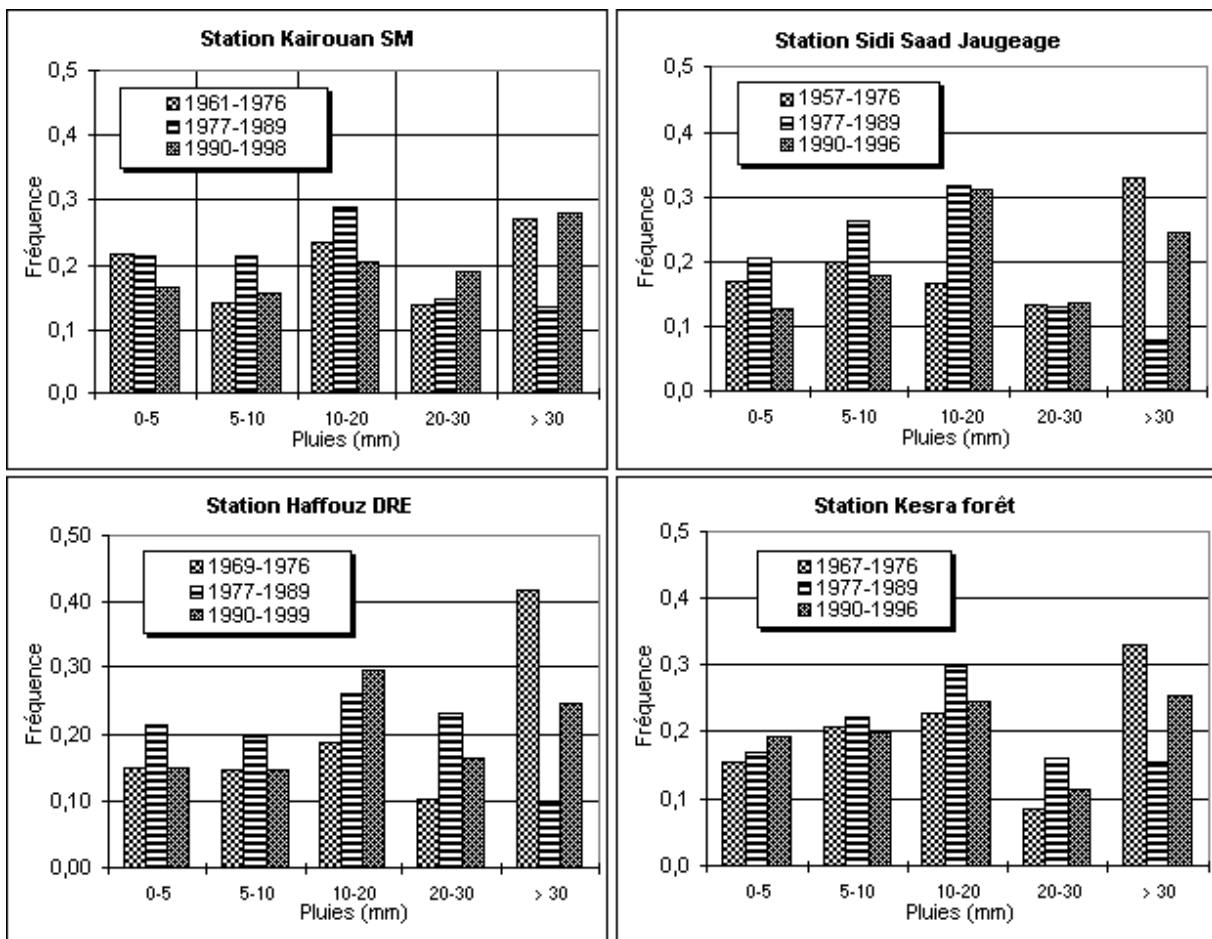


Fig. 3: Distribution des classes de pluies journalières aux stations de la Tunisie centrale durant 3 phases successives

Changement dans la persistance temporelle des pluies

En considérant les dates d'éventuelles ruptures qui apparaissent le plus souvent à travers les méthodes précédentes, nous avons représenté la distribution des classes de pluies journalières à différentes stations de la Tunisie centrale. Pour l'ensemble de ces stations, à l'exception d'Ouslatia Inrat, il apparaît que la contribution des pluies supérieures à 30 mm a considérablement baissé entre 1977 et 1989 (fig. 3). A titre d'exemple, pour la station de Sidi Saad elle est passée de 33 % (1957-1976) à 8 % (1977-1989), puis elle est remontée à 25 % pour la période de 1990 à 1999. Le tableau 3 donne une comparaison entre les contributions de ces pluies et les modules moyens annuels à Haffouz pour les périodes considérées.

Tableau 3: Comparaison des caractéristiques pluviométriques et hydrométriques à la station de Haffouz

Périodes	1969-1976	1977-1989	1990-1998
Pluie moyenne (mm)	393	242	362
Écartype (mm)	206	54	159
% pluie > 30 mm	43	10	25
Module (millions de m ³ /an)	39	20	23

Il ressort de ce tableau que la diminution des précipitations entre 1977-1989 a sensiblement affecté les écoulements de l'oued Merguellil durant cette même la période. La période postérieure, caractérisée par une nette reprise de la pluviométrie, n'a pas connu une augmentation aussi sensible des écoulements. Il conviendrait d'engager une étude plus précise des précipitations pour l'affirmer, mais cette baisse des apports du bassin pourrait être due à l'influence des aménagements et de l'anthropisation qui s'est intensifiée au cours de la dernière décennie.

Conclusion

L'étude des séries pluviométriques de la Tunisie centrale, par la méthode des variables centrées réduites, a mis en évidence une certaine baisse des totaux annuels entre 1977 et 1989. Les méthodes statistiques de détection de ruptures de la stationnarité dans les séries chronologiques (le test de Pettitt et la procédure de segmentation de Hubert) n'ont pas montré de rupture dans les séries de pluviométries annuelles. Par contre elles ont détecté un certain nombre de changements : en 1976 dans le nombre de jours de pluie, dans le cumul de pluies supérieures à 30 mm et dans sa contribution dans le total annuel ; en 1992 dans la pluie printanière. L'année 1989 est aussi apparue dans plusieurs variables comme une année de rupture, sans pour autant caractériser une variable spécifique sauf le nombre de jours de pluies supérieures à 10 mm. Les années 1976 et 1989 ont d'ailleurs été mis en exergue par Crisciani F. *et al.* (1994) qui a montré que la période 1977-1988 était dominée par des basses pressions et des niveaux plus hauts de la mer à Trieste (Nord de la mer Adriatique - Italie), alors que les périodes antérieures et postérieures étaient caractérisées par les phénomènes inverses.

L'étude de la persistance temporelle de quelques classes de pluies en fonction des dates de rupture détectées par les méthodes précédentes a confirmé le changement dans la contribution des pluies supérieures à 30 mm. Ces pluies qui occupent une place importante dans la production du ruissellement, ont enregistré une baisse significative (5 à 25%) après 1976, surtout entre 1977 et 1989 (10 à 35%). Ceci fait ressortir que la baisse de la pluviométrie annuelle constatée, durant cette période, en Tunisie Centrale est concomitante avec à celle des pluies supérieures à 30 mm. Il ressort aussi que la reprise pluviométrique enregistrée à partir de 1990 n'a pas occasionné une augmentation équivalente d'écoulement, ce qui met en évidence l'action anthropique.

La comparaison avec d'autres parties de la Tunisie, le nord et le Sud, n'aboutit pas aux mêmes conclusions ce qui limite sensiblement la portée des résultats.

Références bibliographiques

- Assani Ali .A., 1999 : Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphérique (oscillation australe) et océanique (El Niño/La Niña). *Sécheresse*, 10(4), pp 245-252.
- Bardossy, 1994 : Statistical persistence in hydroclimatological time series. *Working Paper*, University of Stuttgart, pp 219-233.
- Bello N.J., 1998 : Evidence of climate change based on rainfall records in Nigeria. *Weather*, 52(12), pp 412-418.
- Bouzaïane & Lafforgue, 1986 : Monographie hydrologique des oueds Zéroud et Merguellil. DGRE - ORSTOM - Tunis, 1058p.
- Cantat Olivier, 1995 : Variabilité et variation climatiques en Normandie - L'évolution récente des températures à Caen-Carpiquet. *Sécheresse*, 6(3), pp 273-279.
- Carbonnel J.P. et Hubert P., 1994 : Etude statistique de quelques séries roumaines et bulgares. Indices sur l'évolution climatique récente. *Romanian Journal of Hydrology & Water Resources*, 1(2), pp 107-113.
- Cavadias Georges, 1994 : Detection and Modelling of the impact of climatic change on river flows. *Kluwer Academic Publishers*. Printed in the Netherlands, pp 207-218.
- Crisciani Fulvio, Ferraro Salvatore et Raicich Fabio, 1994 : Evidence of recent anomalies at Trieste (Italy). *Climatic change*, 28(4), pp 365-374.
- Houndénou C. & Hernandez K., 1998 : Modification de la saison pluvieuse dans l'Atakora (1961-1990). Un exemple de sécheresse au nord-ouest du Bénin (Afrique occidentale). *Sécheresse*, 9(1), pp 23-34.
- Hubert P., et Carbonnel J.P., 1987 : Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology*, 95, pp 165-183.
- Hubert P., Carbonnel J.P., et Chaouche A., 1989 : Segmentation des séries hydrométéorologiques - Application à des séries de précipitations et

de débits de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology*, 110, pp 349-367.

Hubert P., Servat E., Paturol J.E., Kouame B., Bendjoudi H., Carbonnel J.P et Lubès-Niel H., 1998 : La procédure de segmentation, dix ans après. Proceedings of the Abidjan '98 conference on the Water Resources variability in Africa during the XXth Century. *IAHS Publ. n° 252*, pp 267-273.

Kingumbi A., 1999 : Bilan et modélisation de la retenue du Barrage d'El Haouareb. Mémoire de diplôme d'études approfondies à l'ENIT, 110p + annexes.

Lubès H., Masson J.M., Servat E., Paturol J.E., Kouame B., et Boyer J.F., 1994 : Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par applications de tests statistiques - Etude bibliographique. Rapport n° 3 Programme ICCARE, ORSTOM Montpellier, 21p.

Lubès-Niel H., Masson J.M., Paturol J.E. et Servat E., 1998 : Variabilité climatique et statistique. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des sciences de l'eau*, 11(3), pp 383-408.

Mahé G. & Olivry J.C., 1995 : Variation des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et Centrale de 1951 à 1989. *Sécheresse*, 6(1), pp 109-117.

Moron Vincent, 1994 : Guinean and Sahelian rainfall anomaly indices at annual and monthly scales (1933-1990). *International Journal of Climatology*, 14(3), pp 325-341.

Opoku-Ankomah y. & Amisigo B.A., 1998 : Rainfall and runoff variability in the southwestern river system of Ghana. Proceedings of the Abidjan '98 conference on the Water Resources variability in Africa during the XXth Century. *IAHS Publ. n° 252*, pp 307-321.

Ouarda Taha B.M.J., Rasmussen P.F., Cantin J.F., Bobée B., Laurence R., Hoang V.D. et Barabé G., 1999 : Identification d'un réseau hydrométrique pour le suivi des modifications climatiques dans la province du Québec. *Revue des sciences de l'eau*, 12(2), pp 425-448.

Paturol J.E., Servat E., Kouamé B., Boyer J.F., Lubès H., et Masson J.M., 1995 : Manifestations de la sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahélienne. Cas de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Bénin. *Sécheresse*, 6(1), pp 95-102.

Paturol J.E., Servat E., Kouamé B., Lubès H., Ouedraogo M. et Masson J.M., 1997 : Climatic variability in humid Africa along the gulf of Guinea. Part II : an integrated regional approach. *Journal of Hydrology*, 191, pp 16-36.

Servat E., Paturol J.E., Lubès H., Kouamé B., Ouedraogo M. et Masson J.M., 1997 : Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part I : detailed analysis of the phenomenon in Côte d'Ivoire. *Journal of Hydrology*, 191, pp 1-15.

Servat E., Paturol J.E., Lubès-Niel H., Kouamé B., Masson J.M., Travaglio M., et Marieu B., 1999 : De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. *Revue des sciences de l'eau*, 12(2), pp 363-387.

Sircoulon J., 1976 : Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale - Comparaison avec les sécheresses de « 1913 » et « 1940 ». *Série Hydrologie - Cahiers ORSTOM*, 13(2), pp 75-174.

Sircoulon J., 1987: Variation des débits des cours d'eau et des niveaux des lacs en Afrique de l'ouest depuis le début du 20^{ème} siècle. Proceedings of the Vancouver Symposium on the Influence of Climatic Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources. *IAHS Publ. n° 168*, pp 13-25.

Tarhule Aondover & Woo Ming-ko, 1998 : Changes in Rainfall characteristics in Northern Nigeria. *International Journal of Climatology*, 18(11), pp 1261-1271.

Vandiepenbeeck M., 1998 : El Niño : l'enfant terrible du pacifique. *Ciel et Terre*, 114(2), pp 52-56.

WMO, 1966 : Climatic change. Report of a working group of the commission for climatology - Technical Note N° 79. Secretariat of World Meteorological Organization - Geneva - Switzerland, 79p.