



# Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement

12 - 14 Mars 2019, Ouargla (Algérie)



## Changement climatique observé dans le bassin versant de l'Oued Sly : étude des ruptures dans les séries des précipitations.

Brahimi Samiha<sup>(1)</sup>, Meddi Mohammed<sup>(2)</sup>, Hallouz Faiza<sup>(2),(3)</sup>

<sup>1</sup>Université Hassiba Benbouali, Ouled Fares, Chlef 02000, Algérie; [samihabrahimi9@gmail.com](mailto:samihabrahimi9@gmail.com).

<sup>2</sup>Laboratoire Génie de l'Eau et de l'Environnement, Ecole Nationale supérieure D'Hydraulique, Blida 09000, Algérie; [m.meddi@ensh.dz](mailto:m.meddi@ensh.dz).

<sup>3</sup>Laboratoire Génie de l'Eau et de l'Environnement, Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana, Ain Defla 44225, Algérie; [hallouzfaiza@gmail.com](mailto:hallouzfaiza@gmail.com)

### Résumé

L'étude du changement climatique et de la variabilité climatique est d'une très grande importance pour la gestion et la planification des ressources en eau.

Ce travail examine l'impact du changement climatique sur l'évolution de l'Oued Sly. Les séries chronologiques de pluies ont été utilisées à cet effet. L'application des tests statistiques de détection de ruptures (test de Hubert, test de Lee Heghinian et test de Pettitt) ont permis d'une part de mettre en évidence une variabilité climatique caractérisée par une alternance de période humide et sèches, et d'autre part de détecter une rupture en 1979. Cette rupture s'accompagne d'une tendance de la baisse de la pluviométrie. Ce travail constitue une base indispensable pour une meilleure connaissance des ressources en eau du bassin étudié.

**Mots clés:** Variabilité climatique ; ruptures ; séries des précipitations ; bassin versant de l'Oued Sly ; tests statistiques.

### I. Introduction

Depuis plus de 20 ans, le Nord-Ouest algérien ainsi que le centre subissent des déficits pluviométriques importants qui se traduisent par des sécheresses sévères. Cela affecte sérieusement les ressources en

eau du point de vue qualitatif et quantitatif [11]. Pour réaliser cette étude, un nombre de postes pluviométriques a été retenu afin de constituer une base de données annuelle la plus complète et la plus représentative possible de la zone d'étude. Ainsi, 07 postes ont été retenus disposant de séries chronologiques suffisantes pour permettre une étude de tendance du régime pluviométrique. Nous avons utilisé de nombreux tests statistiques de rupture dans la stationnarité pour rendre compte de l'évolution temporelle du régime pluviométrique.

### II. Bassin d'étude

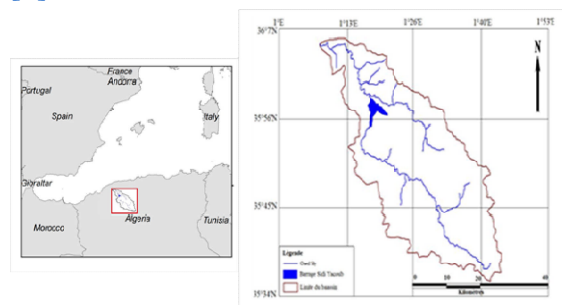
Le bassin versant de l'Oued Sly s'étend sur 1384 km<sup>2</sup> et est situé à environ 194 km au Sud-ouest d'Alger, l'Oued Sly est un affluent de l'Oued Chélif, Ce bassin est contrôlé par 7 stations pluviométriques et une station hydrométrique, le bassin de l'Oued Sly est limité à l'Est par le bassin versant de l'oued Fodda, à l'Ouest par le bassin versant de l'oued Rhiou, au Nord par l'Oued Chélif, au sud par le bassin versant de Nahre Ouassle et Tiguiquest. Il s'étend entre les longitudes 1°6' et 1°44' E et entre les latitudes 35°36' et 36°6' N (figure 1).

Le bassin versant de l'Oued Sly est influencé par le climat méditerranéen avec une moyenne pluviométrique de 433,9 mm. La température moyenne est de 19,7 C°. Le débit moyen annuel est de l'ordre de 1,507 m<sup>3</sup>/s.

Du point de vue géologique, le bassin versant de l'oued Sly est caractérisé par la prépondérance du crétacé inférieur (formation argileuse rouge) au centre du bassin le reste du bassin est dominé par le Crétacé supérieur (formation marneuse) [2].

Dans le bassin de l'Oued Sly, la superficie occupée par les formations forestières est 59700 ha soit 43,14 de la superficie totale, suivie par les terrains agricoles et les zones de parcours qui occupent successivement 31,52% et 17,27 % de sa superficie, donc la typologie du sous bassin est sylvo-agro-pastorale.

Les sols du bassin versant de l'Oued Sly sont principalement des sols alluviaux [4].



**Figure 1.** Situation géographique du bassin versant de l'oued Sly

### III. Données et Méthodes

#### III.1 Données utilisées

Les postes pluviométriques sélectionnés dans le cadre de cette étude l'ont été sur la base de critères de durée de l'information disponible et de qualité des données. Le choix des postes s'est également effectué de manière à permettre une couverture optimale de la région étudiée. Une centaine d'entre eux a ainsi été retenue qui présentent des séries chronologiques de

hauteurs précipitées annuelles de 42 ans. Les caractéristiques des stations pluviométriques retenues au niveau de la zone d'étude sont listées dans le tableau.1. Elles ont été fournies par l'Agence Nationale de ressources hydraulique (ANRH).

**Tableau.1.** stations pluviométriques retenues

N°	Nom de station	Code de station	X (km)	Y (km)	Z (m)	Dure d'observation	Nbre d'années
01	Fodda Barrage	012108	400,5	305,4	430	1970-2011	42
02	Souk EL Hadd	012304	394	272,5	720	1970-2011	42
03	Bordj Bou Naama	012306	402,6	284,1	1050	1970-2011	42
04	Ouled Ben AEK	012308	371,2	304,2	160	1970-2011	42
05	Oued-Sly	012309	364,8	312,4	87	1970-2011	42
06	Saadia	012316	377,2	289,6	1000	1970-2011	42
07	Sidi Yakoub BGE	012318	375	298,3	272	1970-2011	42

(ANRH, 2015)

### III.2 Méthodes utilisées

#### III.2.1 Méthodes statistiques de détection des ruptures au sein des séries pluviométriques annuelles

Les analyses statistiques ont été menées avec le logiciel KHRONOSTAT de l'Institut de Recherche et de Développement.

Selon [10], Une « rupture » peut être définie par un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives définissent les séries chronologiques étudiées.

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) [13].

Ces méthodes permettent principalement d'effectuer l'identification et la modélisation des changements des

paramètres statistiques et stochastiques liés à la série chronologique. Ces paramètres statistiques sont éventuellement caractérisés par le changement des moyennes d'une série temporelle [5].

Dans cette étude, nous avons retenu le test de Pettit et la méthode bayésienne de Lee et Heghinian, segmentation d'Hubert) pour leur puissance et leur robustesse [13].

#### a) Test de Pettit

La série étudiée est divisée en deux sous échantillons, respectivement de taille m et n. Les valeurs des deux échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque sous échantillon dans l'échantillon total. Une statistique est définie à partir des deux sommes ainsi déterminées, et testées sous l'hypothèse nulle d'appartenance des deux sous échantillons à la même population.

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 :  $U_{t, i} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}(1)$

Avec :

$D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$  Avec  $\text{sgn}(X) = 1$  si  $X > 0$  et -1 si  $X < 0$

Soit k la variable correspondant au maximum en valeur absolue de  $U_{t, N}$  sachant que t varie de 1 à  $N^{-1}$ . Pour tout  $K_N$  prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur k est donnée par :

$$\text{Prob}(K_N > k) \approx 2 \exp[-6k^2/N^3 + N^2](2)$$

Pour un risque  $\alpha$  de première espèce donné, si  $\text{Prob}(K_N > k)$  est inférieur à  $\alpha$ , l'hypothèse nulle est rejetée. Ce test est réputé pour sa robustesse [3].

#### b) Procédure Bayésienne de Lee et Heghinian

La méthode bayésienne de Lee et Heghinian ne s'exprime pas comme un test statistique classique. Toutefois son

interprétation vise à confirmer ou à infirmer l'hypothèse d'un changement de moyenne dans la série. Il s'agit d'une approche paramétrique qui requiert une distribution normale des variables étudiées. Le modèle de base de la procédure est le suivant :  $X_i =$

$$\begin{cases} \mu + \varepsilon_i i = 1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i i = \tau + 1, \dots, N \end{cases} \quad (3)$$

Où les  $\varepsilon_i$  sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2 \cdot \tau$  et  $\delta$  représentent respectivement la position de la rupture dans le temps et l'amplitude du changement sur la moyenne.

L'approche bayésienne est basée sur les distributions marginales a posteriori de  $\tau$  et  $\delta$ . L'étude est ici limitée à la distribution a priori de  $\tau$  est uniforme, a posteriori de  $\tau$ .

Quand la distribution est unimodale, l'instant de la rupture est estimé par le mode de la distribution a posteriori de  $\tau$ . L'estimation est d'autant plus précise que la dispersion de la distribution est faible [9].

#### c) Segmentation d'Hubert

La procédure de segmentation de séries chronologiques a été présentée par [8]. Elle a été ensuite complétée par [9]. Le principe de cette procédure est de « découper » la série en m segments (m) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s). La segmentation est définie de façon suivante : Toute série  $X_i, i = i_1 \text{ avec } i_1 \text{ et } i_2 \leq N \text{ ou } (i_1 < i_2)$  constitue un segment de la série initiale des  $(X_i), i=1, \dots, N$ ; l'hypothèse nulle  $H_0$  est « la série étudiée est stationnaire ». Si la procédure ne produit pas de segmentation d'ordre supérieur ou égal à 2, l'hypothèse nulle n'est pas acceptée [6].

#### III.2.2 Application des tests de rupture

Les tests de rupture sont appliqués aux séries chronologiques annuelles observées

pour toutes les stations pluviométriques retenues au niveau de la zone d'étude.

Nous qualifions une rupture faible signifie lorsque elle est détectée par un seul test, ce qui indique donc une probabilité plus faible de rupture ou un événement de moindre amplitude. Une rupture probable signifie que la rupture est détectée par au moins 2 tests statistiques.

Une rupture avérée signifie que la rupture est détectée par les trois tests, ce qui indique donc une probabilité importante de rupture ou un événement de grande amplitude [7].

#### IV. Résultats et Discussions

Les résultats de l'application de ces tests statistiques sont consignés dans le tableau suivant.

**Tableau 2.** Principales dates de rupture des séries pluviométriques aux différentes stations retenues

Nom de station	Période d'observation	Moy.obs. (mm/an)	Date de rupture
Fodda Barrage	1970-2011	418,3	1979*,1979**,1979***
Souk EL Hadd	1970-2011	383,7	1979*,1979**,1979***
Bordj Bou Naama	1970-2011	479	1979*,1979**,1979***
Ouled Ben AEK	1970-2011	404,8	1979*,1979**,1979***
Oued-Sly	1970-2011	299,9	1979*,1979**,1979***
Saadia	1970-2011	593,9	1979*,1979**,1979***
Sidi Yakoub BGE	1970-2011	272,8	1979*,1979**,1979***

\*Test de Pettit, \*\*Procédure Bayésienne de Lee et Heghinian, \*\*\*Segmentation de Hubert

**Tableau 3.** Année de rupture, moyennes des séries pluviométriques et déficits par rapport à la période avant rupture

Nom de station	Année de rupture	Moyenne (mm)		Déficit (%)
		Avant rupture	Après rupture	
Fodda Barrage	1979	509,6	413,2	19%
Souk EL Hadd	1979	467,2	380	19%
Bordj Bou Naama	1979	569,2	465,9	18%
Ouled Ben AEK	1979	506,4	413,7	18%
Oued- Sly	1979	364,7	300,2	18%
Saadia	1979	695,9	573,6	18%
Sidi Yakoub BGE	1979	315,2	258,2	18%

L'analyse et l'interprétation de la détection des ruptures a permis de constater que pour les pluies annulées (tableau 2), la rupture sur l'ensemble du bassin de l'oued Sly a été détectée à la fin des années 70. En effet, nous avons noté une rupture correspondant à une diminution des précipitations en 1979 (tableau 3) au niveau du bassin de l'oued Sly, date avancée par de nombreux chercheurs dont [14]; [1], qui ont déjà évoqué la tendance à la sécheresse à partir des années 1970 sur l'Algérie du Nord. Ces résultats sont en accord avec les travaux récents de [12] qui ont conclu à une diminution des pluies constatée durant les trente dernières années, qui a touché l'ensemble de l'Algérie mais surtout l'Ouest, se chiffrant à : (a) 30 à 40% à l'échelle annuelle

#### V. Conclusion

L'objectif de cet article est d'examiner l'existence d'une variabilité climatique au L'Ouest de l'Algérie, particulièrement à L'Oued Sly (affluent de l'Oued Chélif). Les tests statistiques ont été appliqués aux données de pluies des stations pluviométriques de la zone d'étude. Ces applications ont permis d'identifier de période humide, normale et sèche et de détecter des ruptures, en 1979 pour toutes

les stations pluviométriques de la zone d'étude. Le déficit pluviométrique dans les stations est de l'ordre de 19%. D'après ces résultats nous pouvons dire que L'Oued Sly subit la sécheresse depuis les années 1979.

### Références bibliographiques

**1. A.N.R.H., 2010.** Les changements climatiques et leur impact sur les ressources en eau en Algérie. *Assises Nationales sur l'Eau. ANRH. Alger, 41 p.*

**2. Achite, M., Meddi, M., Mania, J., 2005.** Etude comparative des méthodes d'estimation des crues en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'Oued Sly (Chélif, Algérie). *Ecole Polytechnique de Lille, UMR CNRS 8107, LML, Avenue Paul Langevin, F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France.*

**3. Bedoum, A, Biona, C.B, Alladoum, M, Adoum, I., et Baohoutou L., 2013.** Variabilités climatiques et ruptures dans les séries des précipitations en république du Tchad. *Rev. Ivoir. Sci. Technol., 21&22 (2013) 187 – 208. ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>.*

**4. Boulaine, J., 1956.** Etude des sols de la plaine du Chélif.

**5. Chadid, O., 2003.** Analyse des séries hydrométéorologiques par la transformée en ondelettes. *Mémoire présenté à l'Ecole de Technologie Supérieure.*

**6. Fossou R.M.N., Soro N., Traore V.B., Lasm T, Sambou S., Soro T, Orou R.K, Cisse M.T et Kane A., 2014.** Variabilité climatique et son incidence sur les ressources en eaux de surface : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro, Centre-Est de la Côte d'Ivoire en Afrique de l'Ouest. *Afrique Science 10(4) 118-134. ISSN 1813-548X, <http://WWW.afriquescience.info>.*

**7. Hallouz, F., Meddi, M., Mahe, G., 2013.** Modification du régime hydroclimatique dans le bassin de l'oued

Mina (Nord-Ouest d'Algérie). *Revue des Sciences de l'Eau, 26, 1, pp 33-38.*

**8. Hubert P., Carbonel J. P., 1987.** Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology, 95, 165-183.*

**9. Lubés, H., Masson, J.M., Paturel, J.E, Servat, E., 1998.** Variabilité climatique et statistiques. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des sciences de l'eau, Rev. Sci. Eau 383-408*

**10. Lubès, H., Masson, J. M., Servat, E., Paturel, J. E., Kouamé, B., Boyer., I.F. 1994.** Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par applications de tests statistiques. *Etude Bibliographique, Orstom, Montpellier, France.*

**11. Meddi, H., Meddi, M., (2009).** Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. *Sécheresse 2009;20(1):57-65.*

**12. Meddi M, Meddi H. Sécheresse météorologique et agricole dans le nord-ouest de l'Algérie, 2002.** Deuxième colloque méditerranéen sur l'eau et l'environnement, Alger.

**13. Soro, T.D., Soro, N., Oga, Y.S., Lasm, T., Soro, G., Ahoussi, K.E., Biémi, J., 2011.** La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Physio-Géo [En ligne], Volume 5 | 2011, mis en ligne le 20 février 2011, Consulté le 24 février 2016. URL : <http://physio-geo.revues.org/1581> ; DOI : 10.4000/physio-geo.1581.*

**14. Touazi, M., Laborde, J.P., 2000.** Cartographie des pluies annuelles en Algérie du Nord. *Association Internationale de climatologie, 13, pp 192-198.*