

Contribution à l'analyse des tendances pluviométriques et hydrométriques dans la basse vallée de la Soummam

Amina Amel ADEM^{1*}, Idir DEHMOUS^{1*}, Mohamed MESBAH², Mohamed CHETTIH³

Abstract

La présente étude consiste à analyser l'évolution des régimes pluviométriques et hydrométriques au niveau de la basse vallée de la Soummam. Elle vise à extraire les informations susceptibles de nous renseigner sur les caractéristiques, les tendances, le mode de variabilité des pluies et des débits, et d'identifier les extrêmes en utilisant des tests statistiques et la méthode de l'analyse en ondelette continue.

Les résultats mettent en évidence plusieurs modes de variabilité des chroniques étudiées; avec une tendance à la baisse observée à partir des années 70.

Variabilité, Précipitations, Débits, Basse vallée de la Soummam, Transformée en Ondelettes

¹ Office National de la Météorologie (CNPM-ONM), Dar El Beida, Alger

² Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene (USTHB-FSTGAT), Bab-Ezzouar, Alger

³ Université Amar Telidji (Laboratoire de Recherche en Génie Civil), Laghouat

*Correspondant: adem.amina.amel@gmail.com

Contents

Introduction	1
1 Caractéristiques des données	1
2 Méthodes d'approches	2
3 Résultats et discussions	2
4 Conclusion	5
References	6

Face aux besoins en eau sans cesse croissants et devant l'hypothèse d'un changement climatique, l'intérêt porté à l'étude des précipitations s'est nettement renforcé. En effet, de nombreux travaux ont été menés dans ce sens en Algérie, certains évoquent des déficits pluviométriques qui se traduisent par des sécheresses persistantes [1], d'autres mettent l'accent sur la récurrence des inondations [2]. La variabilité spatio-temporelle des précipitations est considérable et peut parfois générer des situations extrêmes, dont les impacts sur l'environnement sont non négligeables. Ces fluctuations représentent donc un sérieux problème pour le développement du pays ; où de nombreux aspects tels que l'agriculture et les ressources hydriques y sont sensibles. Ils doivent alors faire l'objet d'une caractérisation détaillée. La présente étude se veut être une contribution à la compréhension de la variation des précipitations et des débits dans une région de l'Est de l'Algérie. Elle consiste à analyser l'évolution des régimes pluviométriques et hydrométriques; à travers des tests statistiques et la transformée en ondelettes, une méthode qui a influencé de nombreux domaines, entre autres celui de la climatologie. La zone d'étude concerne la basse vallée de la Soummam (Fig1); située à 150 km à l'Est d'Alger. Cette région occupe le sous-bassin versant de la Soummam et s'étend de Sidi Aïch jusqu'à la mer sur environ 35 km de longueur et jusqu'à 2 km de largeur par

endroits [3].



Figure 1. Localisation de la zone d'étude

1. Caractéristiques des données

Les données ayant fait l'objet de cette étude sont issues de la station météorologique de l'aéroport de Béjaïa et de la station hydrométrique de Sidi Aïch (tableau 1), obtenues respectivement de l'Office National de la Météorologie et l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Le tableau n°1 illustre les caractéristiques des stations utilisées, leurs coordonnées géographiques ainsi que les échelles et les périodes des données utilisées. Il convient par ailleurs de noter que le choix des stations météorologique (aéroport de Béjaïa) et hydrométrique (Sidi Aïch), est conditionné surtout par la disponibilité des données et que les chroniques des débits sont lacunaires à l'échelle journalière.

Table 1. Caractéristiques des données

Station	Code	X	Y	Echelle	Période
Béjaïa	60402	36,716	5,066	Mensuelle	1936-2012
				Annuelle	1936-2012
				Journalière	1970-2012
Sidi Aïch	151001	36,602	4,678	Annuelle	1953-1996
				Journalière	1953-1986

2. Méthodes d'approches

La méthode de la moyenne mobile : elle permet de réduire l'amplitude des variations interannuelles et de ne faire apparaître que les grandes tendances.

L'indice pluviométrique de Nicholson : c'est un indice utilisé pour déterminer les différentes phases de cycle sec et humide des pluies et des débits. L'indice de Nicholson apparaît comme une variable centrée réduite des pluies annuelles, il s'exprime comme suit :

$$I_p = (X_i - X_m) / \sigma \quad (1)$$

I_p : indice pluviométrique

X_i : pluviométrie de l'année i

X_m : pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence

σ : écart type de la pluviométrie interannuelle sur la période de référence [4].

Le coefficient d'hydraulicité (coefficient de débit) : il correspond au rapport du débit annuel (ou mensuel) au débit moyen de la série d'observation, il permet de positionner le débit d'une année donné (ou mois) par rapport à une année (ou un mois) considérée comme normale. Pour un coefficient supérieur à 1, c'est une année humide à écoulement important; s'il est inférieur à 1 le cours d'eau est de faible débit et l'année est considérée comme sèche [3].

Les tests statistiques : nous avons opté pour le test de Pettitt; un test non paramétrique particulièrement sensible à un changement de moyenne, la procédure bayésienne de Lee et Heghinian; une approche paramétrique qui requiert une distribution normale des variables étudiées [5]. Ainsi que la procédure de segmentation d'Hubert; adaptée à la recherche de multiples changements de moyenne dans la série [4]. Ces tests sont utilisés dans l'objectif de détecter les changements brusques (ruptures) qui opèrent au sein séries étudiées.

La transformée en ondelettes continue :

elle nous permet de déterminer le mode de fluctuation des précipitations et des débits, elle se prête à différentes études ; comme l'identification des oscillations climatiques, les fronts froids atmosphériques, la dispersion des vagues de l'océan, ou encore la variabilité hydrologique et son lien avec la l'Oscillation Nord Atlantique (NAO) au Nord-est de l'Algérie [6]. Cette méthode décompose le signal en ondelettes filles à longueur finie et localisée dans le temps à partir d'une référence fonction

d'onde (ondelette mère).

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

Où

$\psi_{a,b}(t)$: ondelette analysante ou ondelette fille.

a : paramètre d'échelle.

b : paramètre de position.

t : temps.

3. Résultats et discussions

La non-stationnarité de la variance :

Une série de données est dite stationnaire lorsque l'on ne retrouve pas de variations temporelles significatives, autres que les fluctuations aléatoires dans les valeurs classées chronologiquement. La non-stationnarité des données journalières est examinée à travers la variance calculée sur des intervalles de temps de plus en plus grands avec un pas d'incrément de 25 jours choisi dans la majorité des cas [7]. La variance des précipitations (Fig.2) se caractérise par l'existence de sauts dus à la présence de fortes précipitations, mais qui tend progressivement vers une limite fixe sans sauts (valeur constante).

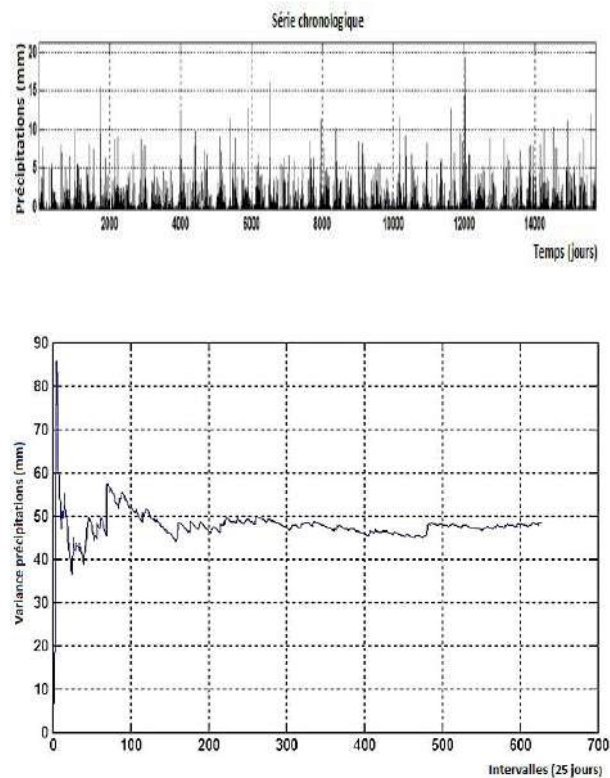


Figure 2. Mise en évidence d'un phénomène de non-stationnarité de second ordre. Précipitations journalières à la station de Béjaïa (1970-2012)

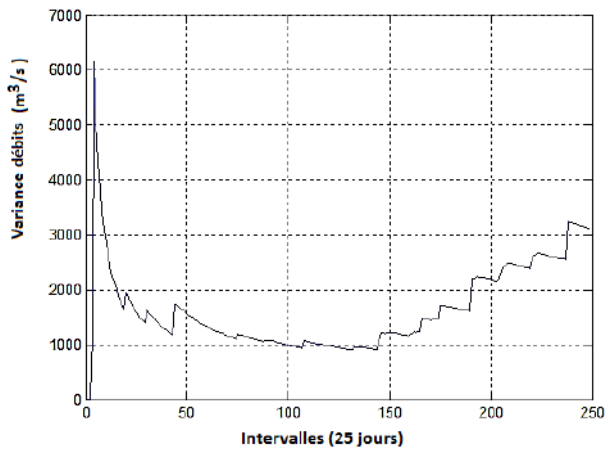
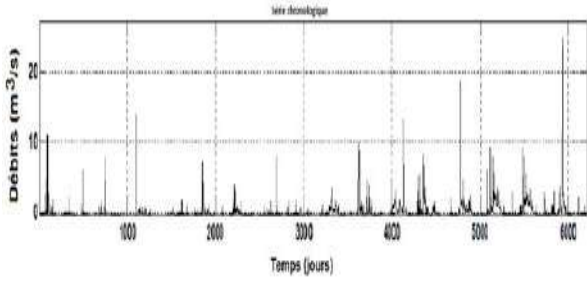


Figure 3. Mise en évidence d'un phénomène de non-stationnarité de second ordre. Débits journaliers à la station de Sidi Aïch (1958-1973)

Les chroniques des débits sont subdivisées en deux périodes en raison de quelques lacunes, leur variance est également caractérisée par des sauts due à des crues qui concentrent une importante part d'énergie (Fig.3).

La non-stationnarité de la variance des pluies journalières à la station de Béjaïa à cette échelle est donc peu évidente, contrairement à celle des débits journaliers qui présente une forte variabilité des moments (phénomène d'intermittence) dès l'ordre 2 (variance).

Les tendances évolutives des chroniques pluies et débits :

L'analyse des courbes de pluies (Fig.4) et de débits (Fig.5) lissées sur un pas de temps de cinq ans indique une tendance à la baisse dès l'année 1974 pour les pluies et une tendance à la baisse à partir des années 70 pour les débits.

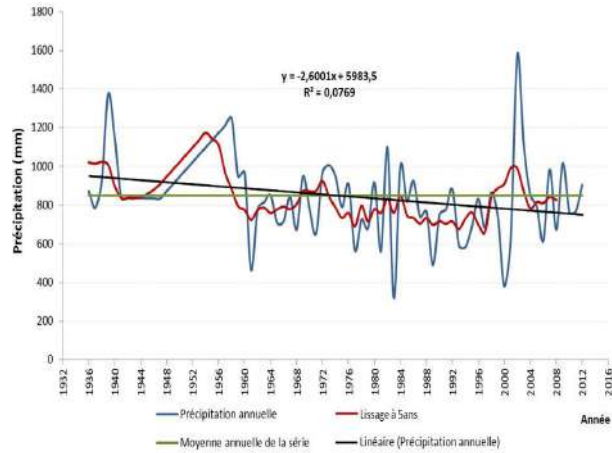


Figure 4. Évolution des pluies moyennes annuelles à la station de Béjaïa (1936 -2012)

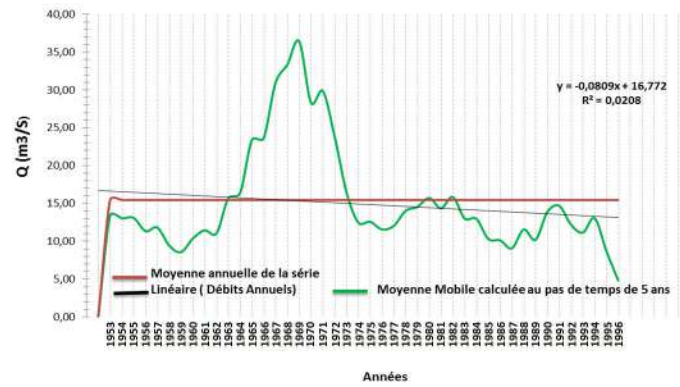


Figure 5. Évolution des débits moyens annuels à la station de Sidi Aïch (1953 -1996)

Les modes de variabilité :

Les indices centrés réduits (équation 1) que nous avons calculé pour les précipitations (Fig.6) et les débits (Fig. 7), indiquent une succession d'années excédentaires et déficitaires. Un déficit assez marqué est enregistré au cours de l'année 1983, une date déjà signalée dans d'autres travaux relatifs aux études des variations climatiques dans le Nord de l'Algérie [8].

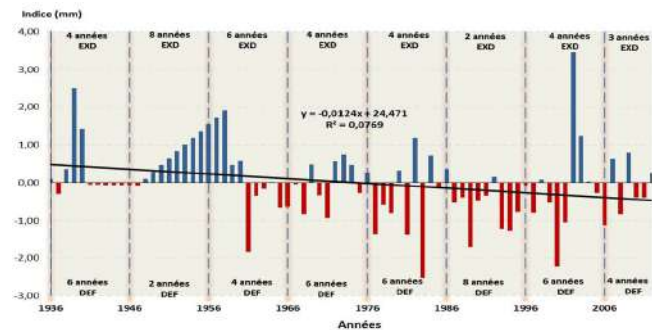


Figure 6. Indices centrés réduits des valeurs moyennes des précipitations annuelles à la station de Béjaïa (1936 -2012)

Concernant les années d'abondance hydrologique (Fig.7), l'année 1969 est la plus ponctuée. Ceci est confirmé à travers les inondations exceptionnelles enregistrées dans le pays; dont une récidive de l'oued au niveau de la commune de Sidi Aïch [9].

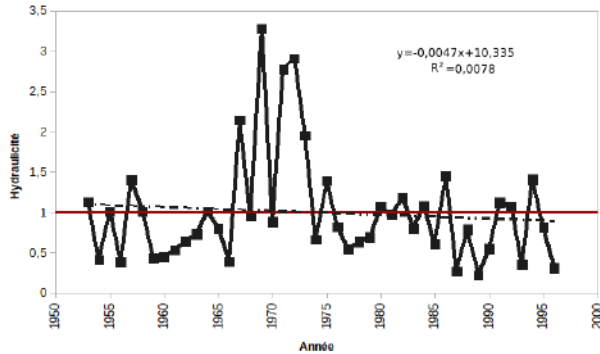


Figure 7. Diagramme de l'évolution de l'hydraulicité à la station de Sidi Aïch (1953 -1996)

L'identification des ruptures :

Les résultats des tests statistiques (Tab.2) indiquent l'existence d'une rupture en 1960 pour les données pluviométriques (Fig.8), et deux dates de rupture (1966 et 1986) pour les données hydrométriques. Ces ruptures correspondent à des modifications des régimes pluviométriques et hydrométriques (tendance à la baisse).

Table 2. Principaux résultats des tests statistiques

Test	Précipitation	Débit
Période	1936-2012	1953-1996
Pettitt(KronoStat)	1960	Absence de rupture
Pettitt(Xlstat)	1960	1966
Méthode Bayésienne	1960	1986
Hubert(début)	1936-1961	Pas de rupture
Hubert(fin)	1960-2012	Pas de rupture

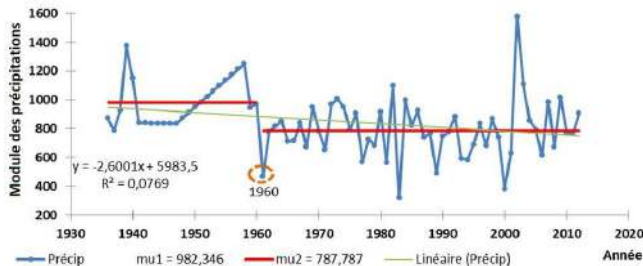


Figure 8. Résultats du test de segmentation appliqué aux précipitations moyennes annuelles à la station de Béjaïa (1936 -2012)

La moyenne glissante représentée sur le graphique (figure 8) montre une légère tendance à la baisse des précipitations à partir de 1960.

L'analyse en ondelettes continue

Les spectres en ondelettes de Morlet permettent d'analyser les variations localisées de puissance (variance) et de visualiser les instationnarités du contenu fréquentiel d'un signal. Appliquée aux chroniques étudiées sur un pas de temps journalier, les spectres obtenus mettent en évidence différents modes de variabilité à l'échelle saisonnière, annuelle et pluri-annuelle (2 – 32 semaines, 52 semaines et 130 semaines).

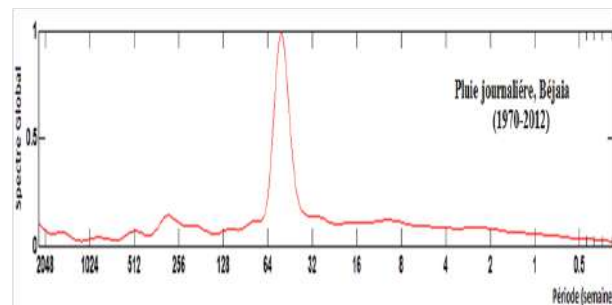
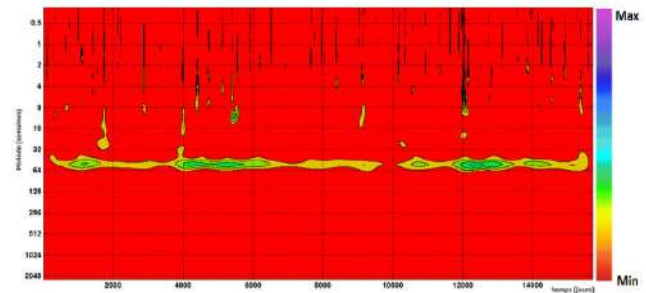
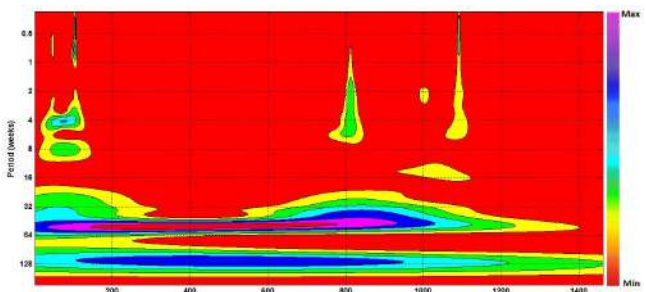


Figure 9. Graphique de la transformée par ondelette de la série pluviométrique de Béjaïa (spectre en ondelettes de Morlet et spectre global)

Le spectre local des pluies (Fig. 9) indique la présence quasi-continue de la saisonnalité annuelle (52 semaines), mais qui est tout de même interrompue durant l'année 1997. Avec la sécheresse intense et persistante qu'a connue l'Algérie entre 1975 et 1998, cette discontinuité temporelle correspond donc à une phase déficitaire [10]. Les périodicités trimestrielles et semestrielles sont présentes mais pas majoritaires sur la série, elles s'observent surtout avant l'année 1997 avec évidemment un pouvoir inférieur à celui de l'annuelle.



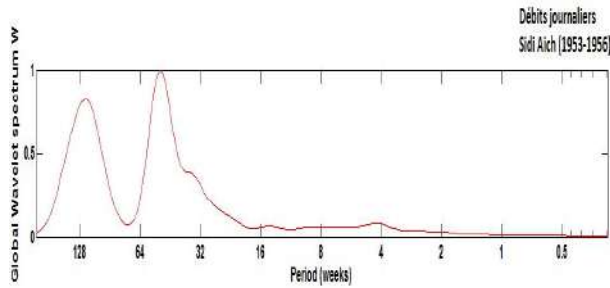
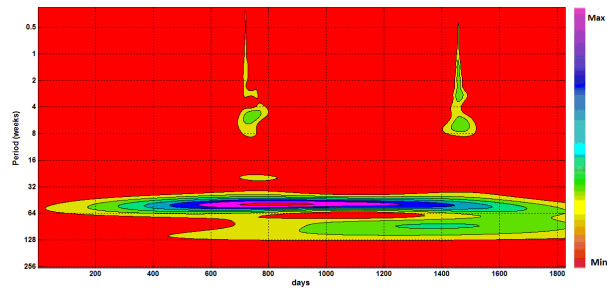


Figure 10. Graphique de la transformée par ondelette de la série hydrométrique de Sidi Aïch entre 1953-1956 (spectre en ondelettes de Morlet et spectre global)



Les spectres des débits présentent des anomalies au cours de la période 1979 – 1986 (Fig.12). Un minimum d'énergie est observé en 1981 ; pouvant correspondre à une phase déficitaire, et un maximum en 1982 qui pourrait être une crue. La variabilité saisonnière (4 – 32 semaines) est visible sur certains spectres des deux figures 10 et Fig12, mais l'est moins sur le spectre local des débits relatifs à la période 1958 – 1973 (Fig.11).

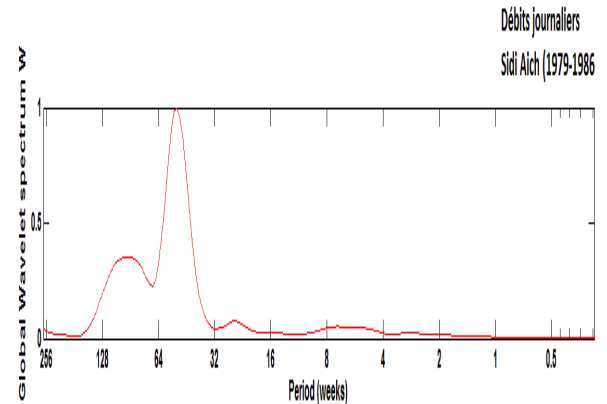
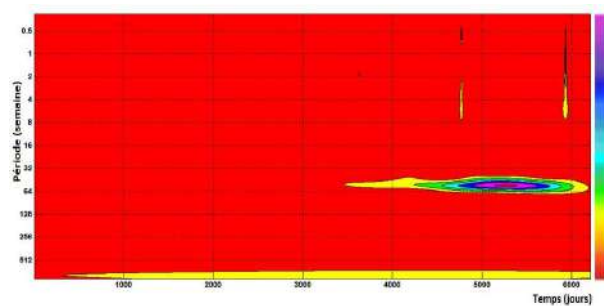


Figure 12. Graphique de la transformée par ondelette de la série hydrométrique de Sidi Aïch entre 1958-1973 (spectre en ondelettes de Morlet et spectre global)



À titre de comparaison, les résultats des ondelettes et du coefficient de l'hydraulicité, indiquent que les années 1981 et 1982 ont enregistré respectivement une phase de déficit et d'excès. Une autre anomalie est visible pour l'année 1973 (Fig.11), elle présente une hydraulicité élevée, qui comparée à d'autres travaux [9] pourrait correspondre à une crue (les inondations de 1973).

4. Conclusion

Pour déceler les changements des régimes pluviométriques et hydrométriques nous avons utilisé des tests statistiques et la méthode de la transformée en ondelettes continue. Cette dernière qui se base sur le traitement du signal, a pour objectif de déterminer les changements temporels et les modes de variabilité des pluies et des débits. Le recours à celle-ci peut-être qualifié comme une amélioration méthodologique qui peut déboucher sur des aspects nouveaux; dans la mesure où elle permet de détecter des tendances latentes invisibles par les autres méthodes, même si certains résultats semblent parfois insignifiants.

Durant notre étude, cette méthode avait permis d'identifier certaines valeurs non détectées par les tests statistiques. Les spectres des précipitations ont révélé une autre date de rupture (1997), qui correspond à une période de sécheresse. Les spectres relatifs aux débits mettent en évidence des anomalies,

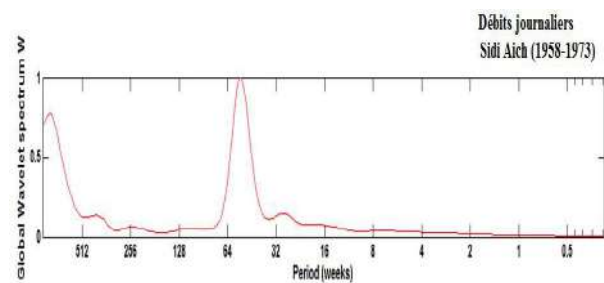


Figure 11. Graphique de la transformée par ondelette de la série hydrométrique de Sidi Aïch entre 1958-1973 (spectre en ondelettes de Morlet et spectre global)

ayant concentré un maximum d'énergie en 1973 et 1982; pouvant correspondre à des crues.

En dépit du fait que les résultats obtenus semblent en accord avec la littérature, il n'est pas évident de réaliser une synthèse convaincante à l'échelle de la zone étudiée, et cela en raison du nombre restreint des stations étudiées et du manque de test de signifiante analytique. Ce dernier peut être réalisé par la méthode de simulation aléatoire de Monte-Carlo.

References

- [1] Mohamed Meddi and PIERRE Hubert. Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord-ouest de l'algérie. *IAHS publication*, pages 229–235, 2003.
- [2] Khadidja Ketrouci, Mohamed Meddi, and Boucif Abdesselam. Étude des crues extrêmes en algérie: cas du bassin-versant de la tafna. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 23(4):297–305, 2012.
- [3] ADEM Amina Amel. Évaluation et gestion de l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau des zones côtières et des écosystèmes dépendants: Cas de la zone côtière de béjaia. 2014.
- [4] RMN Fossou, N Soro, VB Traore, T Lasm, S Sambou, T Soro, RK Orou, MT Cisse, and A Kane. 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: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 10(4):118–134, 2014.
- [5] Hélène Lubes-Niel, J Masson, J Paturel, and Eric Servat. Variabilité climatique et statistiques. 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/Journal of Water Science*, 11(3):383–408, 1998.
- [6] Zineb Zamrane. *Recherche d'indices de variabilité climatique dans des séries hydroclimatiques au Maroc: identification, positionnement temporel, tendances et liens avec les fluctuations climatiques: cas des grands bassins de la Moulouya, du Sebou et du Tensift*. PhD thesis, Université Montpellier, 2016.
- [7] David Labat. *Non-linéarité et non stationnarité en hydrologie karstique*. PhD thesis, Toulouse, INPT, 2000.
- [8] Mohamed Abdelkader BENYETTOU and Abdellah BOUKLIKHA. *Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie*. PhD thesis.
- [9] LAHLAH Salah. Les inondations en algérie. 2004.
- [10] A Demmak and A Ould Amara. La sécheresse en algérie des années 1970/1990 et son impact sur les ressources en eau. *Table ronde: sécheresse-changement climatique-désertification*, 10p, 2001.