

Caractérisation Du Signal D'entrée (PLUIE) et De Sortie (DÉBIT) du bassin de Lougmane (Région Semi-Aride Du Hodna), par Analyse Statistique de Type ANOVA et en ONDELETTES

Tarmoul Sabrina ¹, Achite Mohammed², Slimani Smail³, Nemouchi Abdelmalek¹, Laignel Benoit⁴

¹ Laboratoire des Sciences du Territoire, Ressources Naturelles et Environnement « LASTERNE », Université des Frères Mentouri Constantine1, 25000 Constantine, Algérie.

tarmoul.sabrina@umc.edu.dz/ am_nemouchi@yahoo.fr

² Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Laboratoire Eau – Environnement, université Hassiba Benbouali Chlef, BP 151, Hay Es-Salem, Chlef, Algérie. achitemohammed@gmail.com

³ Ecole d'ingénieurs en Agro développement à l'international (ISTOM), 95000 CERGY, France. s.slimani@istom.net

⁴ Morphodynamique continentale et Côtière UMR CNRS 6143, Université de Rouen (France). Benoit.laignel@univ-rouen.fr

Abstract

This article proposes the study of the hydrological variability of a semi-arid Lougmane watershed which is part of the multiple rivers draining the large endorheic Hodna watershed (Northeastern Algeria).

The objective of this study is the characterization of the input (rain) and output (flow) signal, to define the modes and temporal evolution of the hydrological variability of the Lougmane watershed, using statistical methods; wavelet analysis (Grossman and Morlet (1984) and ANOVA statistical tests. These analyzes were carried out on the whole of the chronics flows and rains of the station of cedfagues over several years at the pace of the daily time. From the results of the statistical test analyzes; the flow history shows insignificant trends, that the chronic rainfall is explained by the semi-arid climate of this region which is characterized by irregular rainfall, The wavelet spectrums of the flows show different modes of variability at the annual to interannual scale (1 year, 1-2 years, 2-4 years). The multiannual band of 4-8 years is specific for the rains.

Keywords: Rain, wavelets, hydrology, semi-arid, Watershed.

Résumé

Cet article propose, l'étude de la variabilité hydrologique d'un bassin versant semi-aride du Lougmane qui fait partie des multiples cours d'eau drainant le grand bassin versant endoréique du Hodna (Nord Est algérien).

L'objectif de cette étude est la caractérisation du signal d'entrée (pluie) et de sortie (débit), pour définir les modes et l'évolution temporelle de la variabilité hydrologique du bassin versant de Lougmane par utilisation des méthodes statistiques; analyse en ondelette (Grossman et Morlet (1984) et les tests statistiques de type ANOVA. Ces analyses ont été effectuées sur l'ensemble des chroniques débits et pluies de la station de Cedfagues sur plusieurs années au pas du temps journalier. D'après les résultats des analyses de tests

Statistiques ; la chronique des débits montre des tendances peu significatives, que la chronique des pluies ceci s'explique par le climat semi-aride de cette région qui est caractérisée par des pluies irrégulières. Les spectres en ondelette des débits montrent des différents modes de variabilité à l'échelle annuelle à interannuels (1 an, 1-2ans, 2-4ans). La bande pluriannuelle de 4-8 ans est spécifique pour les pluies.

Mots clé : Pluie, ondelettes, hydrologie, semi-aride, bassin versant.

Introduction

La compréhension de la variabilité hydrologique des bassins versants traduit souvent par l'obtention des chroniques des pluies et aux débits, l'analyse de ces chroniques peut être réalisée à des fins très différentes. Pour les systèmes hydrologiques de surface, elle est presque orientée vers la prévision ; se fonde, soit des modèles mathématiques [Sherman, 1941, Dooge, 1959, Nash, 1959, Roche, 1970, Jacquet, 1971 In: Mangin 1984], ou bien sur une approche statistique [Hurst, 1951, 1956, Wallis, 1972, Jackson & al., 1973, Richardson, 1981, In: Mangin 1984], cette approche statistique a été appliquée dans notre étude pour la caractérisation des chroniques pluies et débits du bassin de Lougmene, premièrement nous avons analysé les tests statistiques pour mieux expliquer les fluctuations et les tendances des séries, et par la suite nous avons utilisé les ondelettes continues, qui ont été appliquées autour du monde dans les divers domaines hydrologiques et climatiques par exemple en Europe nous citons [Mangin 1975, Larocque et al. 1998, Labat et al. 2000, Valdes et al. 2005, Massei et al. 2006, Slimani, , 2009, Mesquita, 2009]. Ces approches sont peu utilisées dans les régions du Nord d'Afrique, par exemple au Maroc nous citons l'étude de Zamran et al, 2016 et en Tunisie, Jelassi, 2014 et en Algérie par Turkiet al, 2016.

La présente étude concerne le bassin de Lougmene, qui est situé au Nord-Ouest du grand bassin versant endoréique du Hodna de l'Algérie (figure.1), il est localisé entre 4° et 5 ° de longitude Est, entre 35° et 36° de latitude Nord. Ce bassin couvre une superficie de 335 km², il résulte à la confluence de deux principaux influents; oued El Ansar qui s'étend sur la partie orientale du bassin et l'oued Ras el ma qui draine la partie occidentale du bassin versant.

Sur le plan géologique, le bassin de Lougmene est constitué par des faciès variés allant des argiles gypseuses triasiques aux formations quaternaires continentales. Le climat de la région est semi-aride, caractérisé par des pluies en hiver et une sécheresse en été, il se distingue par son irrégularité.

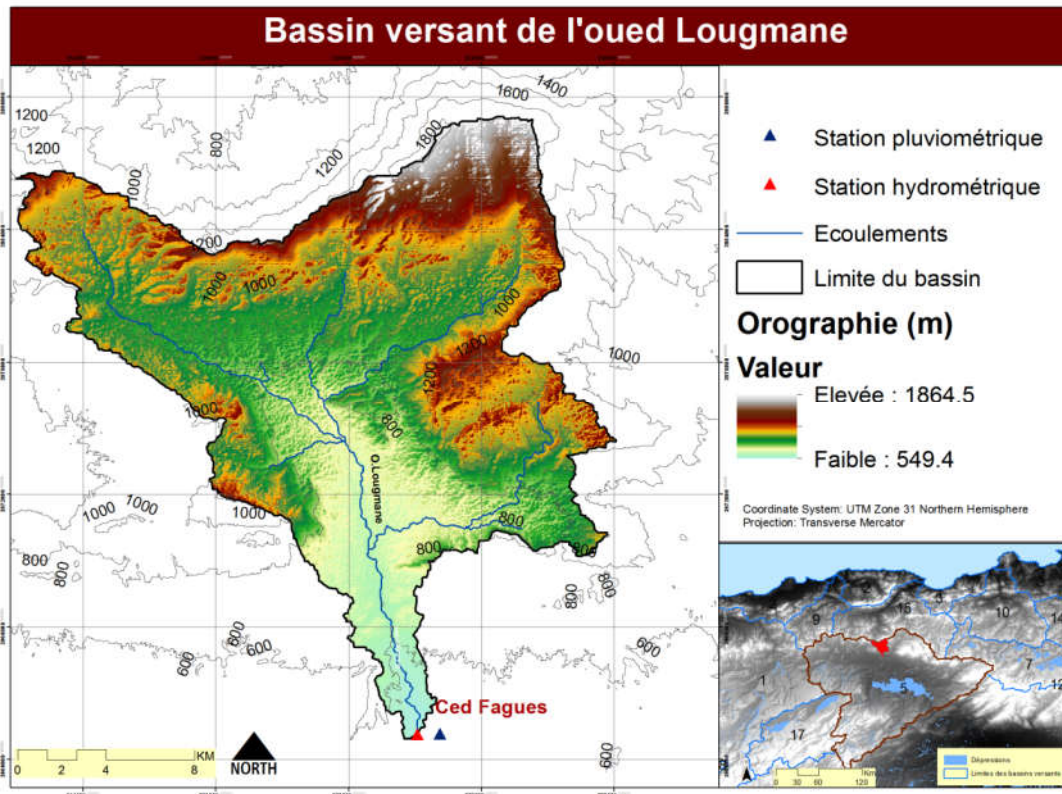


Figure 1: localisation de la région d'étude.

1. Données et méthodes

1.1 Données

Cette étude repose sur l'utilisation des données hydrométéorologiques au pas du temps journalier de la station Cedfagues qui est situé à l'exutoire du bassin versant de Lougmane (Tableau 2). Ces données ont été obtenues auprès de l'Agence Nationale de la Ressource en Hydraulique (ANRH) et l'office national météorologique (ONM).

Tableau.2 : Les caractéristiques des stations des pluies et débits du bassin de Lougmane.

Bassins	Stations (pluies/débits)	Code	X	Y	Z (m)	période d'étude
BV Lougmane	Cedfagues(pluie)	657,1	277,9	504	504	1968/1998
	Cedfagues (débit)	50801	651.1	277.9	550	1965/1998

1.2 Méthodes

1.2.1 Tests statistiques de type ANOVA

Nous avons utilisé des tests statistiques types ANOVA (test de Fischer, test de student, test p value probabilité associée) qui sert à identifier les différents comportements, les tendances les plus significatives et les moins significatives pour les chroniques pluies et débits.

1.2.2 Transformation en ondelettes continue

Les analyses en ondelettes continues permettent une localisation temporelle de la variabilité d'un signal donné. Elle décompose le signal à la fois en temps et en fréquence, qui permettent de décrire correctement ces fluctuations hydrologiques ou climatiques, périodiques ou non. Grossman et Morlet (1984) ont introduit la transformée en ondelettes qui, contrairement à la transformée de Fourier, décompose le signal en une somme de fonctions de taille finie localisées dans le temps pour chaque fréquence repérée dans le signal. Pour cela, une ondelette mère est dissociée en ondelettes filles pour retrouver la fréquence donnée et est ensuite translatée pour analyser les fréquences voisines. Donc ces analyses ont été développées pour pallier les inconvénients de l'analyse de fourrier classique.

Les ondelettes filles ont le résultat de la décomposition de l'ondelette de référence (ondelette mère), Chaque ondelette a une longueur finie (une échelle) et est fortement localisée dans le temps. L'ondelette mère comprend deux paramètres pour l'exploration en temps-fréquence : un paramètre d'échelle a et un paramètre de localisation temporelle b (éq. 1) :

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

Le paramétrage en échelles et la translation des ondelettes filles permettent la détection des différentes fréquences composant le signal. De plus, ces composantes fréquentielles peuvent être détectées et étudiées au cours du temps, ce qui permet une meilleure description des processus nonstationnaires (Torrence et Compo, 1998). La transformée en ondelettes continues d'un signal $S(t)$ produit un spectre local en ondelette, comme définit par (éq. 2)

$$S(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \cdot \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) \cdot dt$$

Dans la transformée en ondelettes, il existe nombreux types d'ondelettes tels que Morlet, dérivées d'ondelettes gaussiennes, Paul. Dans cet article nous avons utilisé celle de Morlet car, elle offre une bonne résolution fréquentielle et des résultats de bonne qualité sur les types des données (Rossi, 2010; Mesquita, 2009 ; Torrence and Compo 1998).

1. Résultats et discussions

1.1 Détermination de la variabilité hydrologique du bassin de Lougmane

Les données pluviométriques et hydrométriques de la station de Cedfagues du bassin de Lougmane ont été représentées dans les graphes de la figure 2. Ces derniers montrent que la

variabilité de chronique des pluies est importante que la variabilité de la chronique des débits de bassin de Lougmane.

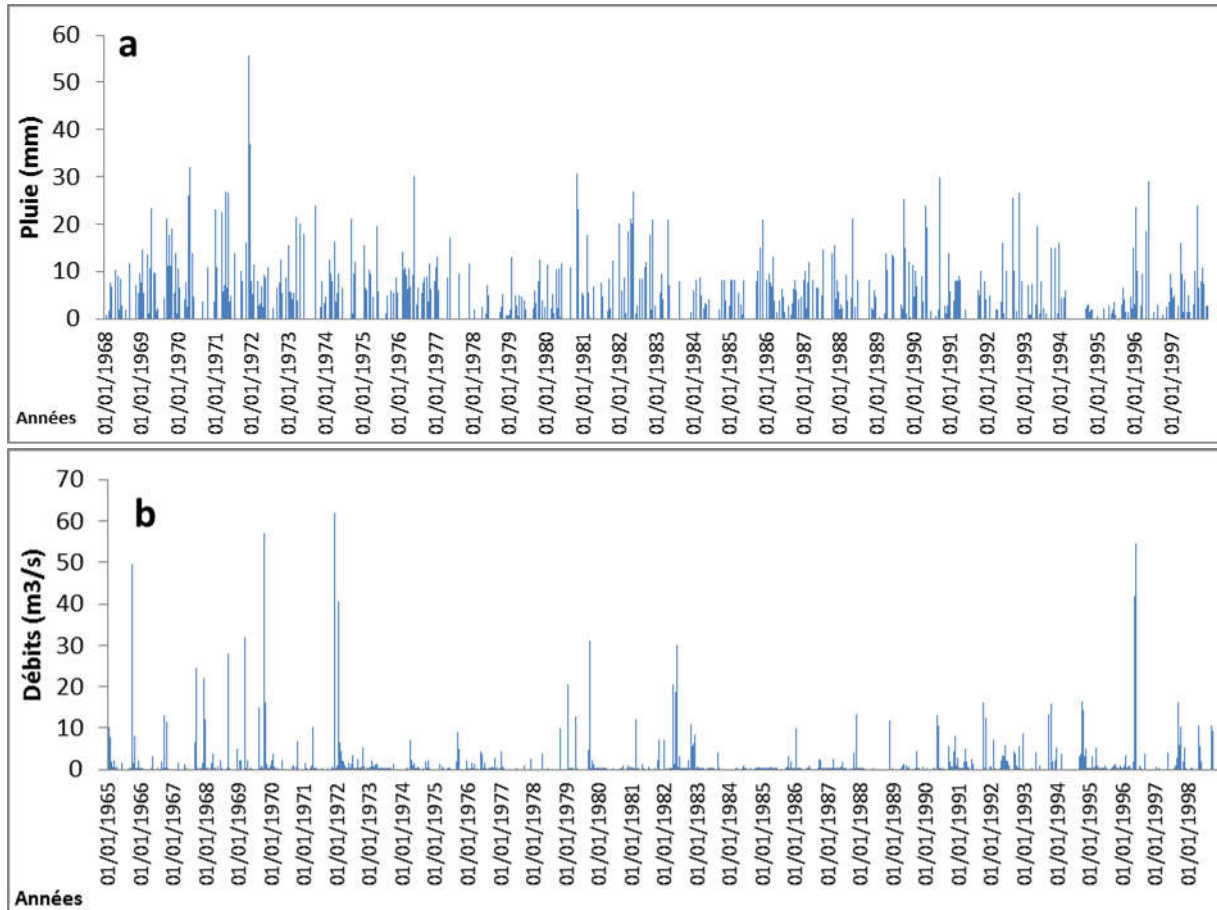


Figure.2: Variabilité des chroniques des pluies et débits du bassin de Lougmane.

2.1.1 Les fluctuations spatiales et les tendances évolutives des chroniques pluies et débit

D'après les tests statistiques réalisés sur les chroniques des pluies et débits (test de Fisher, test student et P Value probabilités associés) (figure .3, tableau.2), on notera que la chronique des débits montre des tendances peu significatives, que la chronique des pluies. Les tendances les plus significatives et les plus fortes sont observées pour la chronique des pluies avec $F=13.31$, $t=5.614$. Le même résultat a été obtenu dans quelques stations pluviométriques de la Haute-Normandie par exemple à la station de Rouen (slimani, 2009).

Les tests statistiques réalisés sur la chronique des débits montrent des tendances moins significatives que la chronique des pluies avec des valeurs $F=1.069$ $t=2.709$. Ceci s'explique par le climat semi-aride de ce bassin, qui est caractérisé par des pluies irrégulières. Ce bassin se caractérise par des formations lithologiques moins perméables donc les débits ne se produisent pas nécessairement dans cette région.

Tableau 2 : Présentation des valeurs de tendances et les significativités statistiques

Stations	F (test de Fisher)	T (test de student)	P. Value probabilités associés
Cedfagues(pluie)	13.31	5.614	0.00045
Cedfagues(débit)	1.069	2.709	0.3012

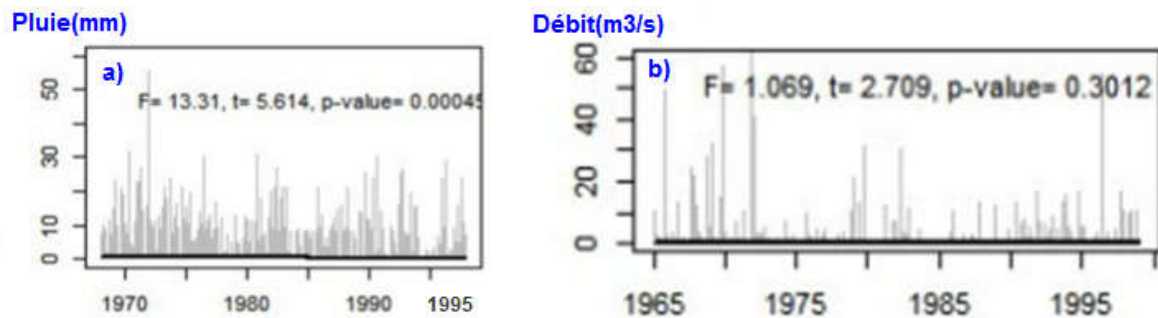


Figure 3 : Présentation des chroniques de pluie et débit ainsi que les tendances et les significativités statistiques (F ; T et p-value) : a) chronique pluie ; b) chronique débit

2.1.2 Identifications des modes de variabilité hydrologique par les analyses en ondelettes continues

Pour mieux expliquer les modes de variabilité des pluies et des débits du bassin de Lougmanenous analyseront d'un côté les centrés réduits annuels, qui est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer à la fois pour les pluies et les débits pour distinguer les périodes de différent cycle humide et sec. D'un autre côté, nous utilisons les méthodes en ondelettes pour mieux observer ces cycles et citer les éventuelles périodicités, les ruptures et les discontinuités temporelles susceptibles d'affecter dans les séries pluies et débits.

2.1.2.1 Les centrés réduits

Afin d'étudier et de déterminer les différentes phases de cycle sec et humide des pluies et des débits de la station Cedfagues, les indices centrés réduits ont été calculés de 1970 à 1997 pour les pluies et de 1965 à 1997 pour les débits. Les résultats sont présentés dans la figure 4.

Les moyennes annuelles de deux stations se caractérisent par une première phase excédentaire, qui s'étend de 1970 à 1976 avec la présence de deux années déficitaires 1973 et 1974 pour les pluies. Avant les années 1972 pour les débits. Une deuxième phase qui, commence en 1977 et se termine en 1994, indiquant une succession des années excédentaires et déficitaires pour les pluies. De 1973 jusqu' à 1994 pour les débits indiquant une période déficitaire avec quelques années excédentaires. La troisième phase, qui concerne les années

après 1995, elle est caractérisée par la phase humide pour les pluies et les débits de la station de Cedfagues.

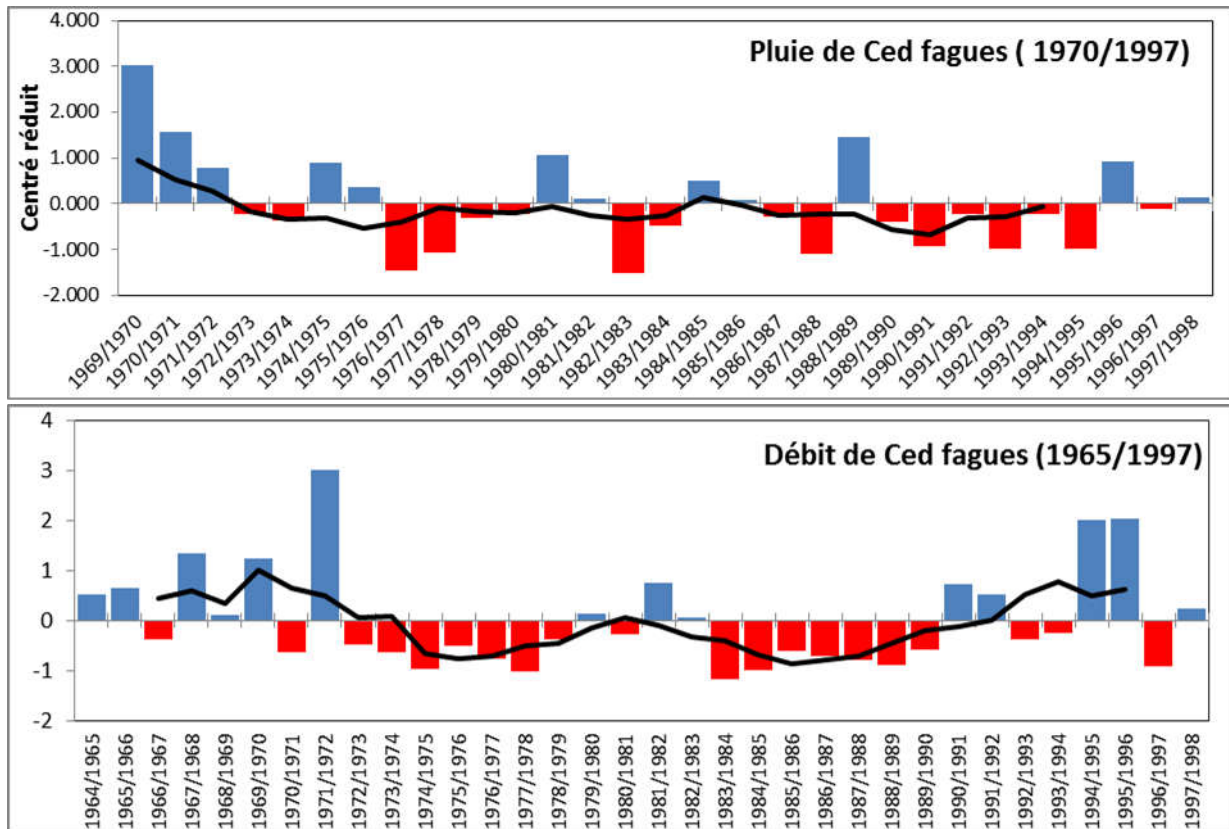


Figure 4 : Indices centrés réduits des valeurs moyennes des pluies et débits du bassin de Lougmane.

2.1.2.2. Les analyses en ondelettes continues des chroniques des pluies et débits du bassin de Lougmane

L'analyse en ondelettes représente un outil analytique efficace, car il permet non seulement d'identifier les fréquences, mais encore de les localiser dans l'espace temporel. Dans ces analyses, la transformée en ondelettes continues a été appliquée sur les données des pluies et des débits sur les années de 1970 à 1997, pour les pluies et de 1965 à 1997 pour les débits avec un pas de temps journalier (figure 5).

Les spectres obtenus mettent en évidence des variabilités communes aux deux stations pluie et débit, qui se traduisent par différents modes de variabilité à l'échelle annuelle à pluriannuelle (1 an, 1-2ans et 2-4 ans).

Les modes de variabilité (1an, 1-2ans ,2-4 ans et 4-8ans) sont situés dans les années avant 1975 et après les années 1976 pour les pluies. Dans le spectre en ondelettes des débits, les modes (1 an, 1-ans et 2-4ans) ont été observés avant les années 1975 avec une forte énergie. Et entre les années 1975 et 1994 avec une faible énergie qui correspond à la phase déficitaire. La bande 1-2ans est située après les années 1995, qui correspond à la phase excédentaire.

Au final, on distingue trois périodes pour les spectres des pluies et débits: avant 1975 caractérisée par le cycle annuel 1 an et la bande interannuelle de 1-2 ans pour les pluies et débits. Une deuxième période de 1975/1976 à 1993/1994, avec un maximum d'énergie pour les deux modes de variabilité observés (2-4ans et 4-8ans) et des spots sur le cycle annuel de 1 an, et un minimum d'énergie dans le spectre en ondelette des débits pour les modes de (1-2 ans, 2-4ans). Une troisième période concerne les années après 1994, elle est caractérisée par le mode de variabilité de 1-2 ans.

A titre de comparaison des résultats des centrés réduits des pluies et débits et les résultats des analyses en ondelettes. On remarque que les modes de variabilités observés dans les spectres en ondelettes des pluies et les débits correspondent bien aux phases excédentaires observées dans les graphes des centrés réduits. Des modes communs de la variabilité des débits sont observés dans les pluies, à l'exception de la bande pluriannuelle de 4-8 ans qui est spécifique pour les pluies. Ceci s'explique par la tendance la plus significative, qui a été observée dans les pluies d'après les tests statistiques utilisés déjà. Ces derniers sont dus au climat semi-aride de ce bassin, qui est caractérisé par des pluies irrégulières sous forme d'averses (pluies fortes et de courte durée).

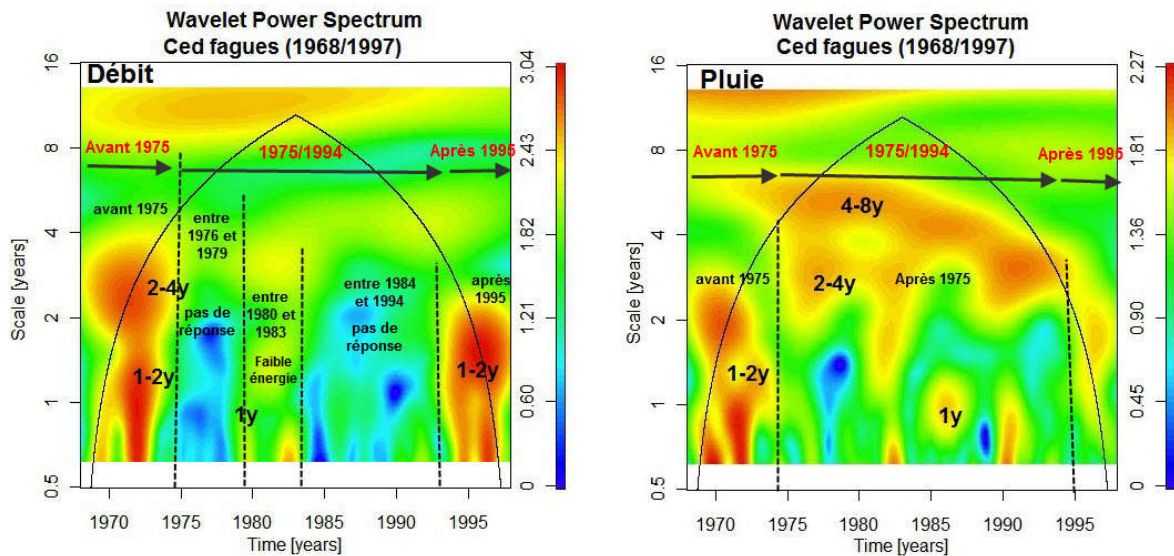


Figure 5: les spectres en ondelettes continues des chroniques pluies et débits du bassin de Lougmane.

Conclusion

L'analyse des débits et des pluies journalières du bassin versant du Lougmane sur une période de plusieurs années par la transformée en ondelettes, elle nous a permis de montrer que cette évolution est effectivement structurée par plusieurs modes de variabilité, s'exprimant pour différentes échelles temporelles et qui correspondent avec les résultats obtenus avec les tests statistiques de type ANOVA. Des modes communs de variabilité des débits sont observés dans les pluies, l'absence de la bande fréquentielle de périodes pluriannuelles 4-8 ans dans le spectre en ondelette des débits est liée à la situation de ce bassin dans un contexte climatique semi-aride qui est caractérisé par de fortes températures qui joue un rôle important dans l'évaporation, ces facteurs peuvent influencés sur la variabilité hydrologique de ce bassin par la dominance d'un débit faible et un écoulement temporaire durant toute l'année.

Les résultats obtenus dans cet article, ils ne correspondent pas à ceux obtenus dans les bassins européens, par exemple les spectres en ondelettes de ces bassins de la Haute-Normandie sont caractérisés par des bandes fréquentielles de très forte énergie du signal et à des échelles pluriannuelles de 8-12ans, 12-32ans (Rossi, 2010). En revanche le même résultat a été obtenu dans les bassins versants semi-arides, comme les bassins de Tensift et K'sob en Maroc (Zamranne. et al 2016) et le bassin de la soummam en Algérie (Turkiet al, 2016).

References bibliographiques

- Dooge J.C.I, 1959, A general theory of unit hydrograph. *Geophys. Res*, 64(2): 241-256
- Grossmann A, Morlet J, 1984, Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. *SIAM Journal on Mathematical Analysis*, 15, 723-736. doi: 10.1137/0515056
- Hurst H.E, 1951. Long term storage capacity of reservoirs. *Trans, Am.Soc. Civ.Eng*, 16: 970.
- Jakson RE, Gilliland J.A, Adamowsky K, 1973, Time series analysis of the hydrologic regime of a groundwater discharge area, *Water Resour. Res*, 9(5): 1411-1419.
- Jelassi M, 2014, Caractérisation hydrologique de l'Oued Medjerda (Tunisie) dans le cadre de la future mission spatiale SWOT, Université de Rouen, Mont Saint Aignan, France.
- Jacquet J, 1971, Aspects généraux de la représentation mathématique des phénomènes en hydrologie de surface. *Hoille lance*, 2: 105-110.
- Labat D, Ababou R and Mangin A, 2000a, Rainfall-runoff relations for karstic springs, PartI: convolution and spectral analyses, *Journal of Hydrology*.
- Larocque M, Mangin A, Razack M and Banton O, 1998, Characterization of the Rochefoucauld karst aquifer (Charente, France) using correlation and spectral analysis. *Bulletin d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel*.

Mangin A, 1984, Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale, *journal of hydrologie*, 67 (1984) 25-43

Massei N, Dupont JP, Mahler BJ, Laignel B, Fournier M, Valdès D, Ogier S, 2006, Investigating transport properties and turbidity dynamics of a karst aquifer using correlation, spectral, and wavelet analyses, *journal of hydrology*.

Nash J E, 1959, Systematic determination of unit hydrograph parameters, *Geophys. Res*, 64:111-145.

Richardson CW, 1981, Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation, *Water Resour, Res*, 17(1): 182-190.

Roche M, 1970, Les divers types de modèles déterministes, *Cah. Off. Rech. Sci. Tech. Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.), Ser.Hydrol*, 7(4) : 39-66.

Roussi A, 2010, Analyse spatio-temporelle de la variabilité hydrologique du bassin versant du Mississippi : rôles des fluctuations climatiques et déduction de l'impact des modifications du milieu physique, Université de Rouen, Mont Saint Aignan. France

Sherman L K, 1941, The unit hydrograph and its applications. *Bull. Assoc. Stat. Eng, Soc.*, 17: 4-22.

Slimani S, 2009, Les fonctionnements hydrologiques de l'aquifère karstifié de la Craie de Haute- Normandie: conséquences des contextes morphologiques et structuraux. Thèse de doctorat Thesis, Université de Rouen, Mont Saint Aignan.

Torrence C, Webster p j, 1998, Interdecadal changes in the enso–monsoon system, *American Meteorological Society*

Turki.Iet al, 2016, Hydrological variability of the Soummam watershed (Northeastern Algeria) and the possible links to climate fluctuations. *Arab J Géosciences*.

Valdes D, 2005, Variabilité spatiale du fonctionnement hydrologique de l'aquifère karstique de la craie (département de l'Eure, France), Thèse de doctorat Thesis, Université de Rouen, Mont Saint Aignan.

Wallis J.R, 1972, Best one step ahead prediction in hydrology, *Water resour.Res.*, 8(2): 529.

Zamrane Z, Turki I, Laignel B, Mahé G and Laftouhi NE, 2016, Characterization of the Interannual Variability of Precipitation and Streamflow in Tensift and Ksob Basins (Morocco) and Links with the NAO, 2016, *Atmosphere*.