

LA RELATION PLUIE - DEBIT DANS UN HYDRO SYSTEME SEMI-ARIDE MEDITERRANEEN : CAS DU BASSIN DE L'OUED ENDJA, A L'AMONT DU BARRAGE BENI HAROUN (ALGERIE ORIENTALE).

LAKACHE Halima¹, NOUACEUR Zeineddine², MEBARKI Azeddine¹, MESNAGE Valérie³

⁽¹⁾Laboratoire des Sciences du Territoire, Ressources Naturelles et Environnement « LASTERNE », Faculté des Sciences de la Terre, Géographie et Aménagement du Territoire, Université Frères Mentouri Constantine 1, Algérie.

⁽²⁾UMR IDEES CNRS 6226, Université de Rouen, France.

⁽³⁾UMR CNRS 6143 M2C, Université de Rouen, France.

Reçu le 12/04/2018 – Accepté le 01/07/2019

Résumé

L'étude de la variabilité du signal d'entrée (pluie) et de sortie (débit) dans le bassin versant de l'oued Endja (affluent de l'oued Kébir-Rhumel), à l'amont du barrage Beni Haroun, est basée sur les données hydro-pluviométriques, disponibles au pas de temps mensuel, sur une période de 30 années (de 1973/1974 à 2004/2005). L'indice centré réduit annuel, paramètre à la fois puissant et simple d'utilisation, permet de distinguer les périodes extrêmes (cycles humides et secs). Par ailleurs, l'utilisation des méthodes spectrales des ondelettes et la cohérence en ondelettes ont permis de montrer que l'évolution des pluies et des débits est structurée selon plusieurs modes de variabilité qui s'expriment pour différentes échelles temporelles. Les spectres de cohérence (débit/pluie) traduisent une forte variabilité ; ils montrent aussi une importante liaison pour les différentes échelles de temps. La bande fréquentielle d'un (1) an est marquée par le plus fort taux de cohérence (96 % calculé pour les débits de la station de Douar Tassadane et la lame d'eau précipitée sur le bassin). La bande 2-4 ans est marquée par un taux de 81 % (évalué pour les débits à la station Koudiat Tendart et la lame d'eau précipitée sur le bassin).

Mots clés : débit, pluie, ondelettes, bassin d'oued Endja, Algérie.

Abstract

The variability of input (rainfall) and output (flow) signal in the Oued Endja watershed (affluent of the oued Kebir-Rhumel), upstream of the Beni Haroun dam, is studied using hydro-rainfall monthly data, available in a period of 30 years (from 1973/1974 to 2004/2005). The annual reduced centered index is a powerful parameter to use in order to distinguish extreme periods (wet and dry cycles). also, due to the use of spectral methods including wavelet and its coherence, it possible to show that the evolution of the rain and the flows is structured according to several modes of variability, which concerns various temporal scales. The spectrum of coherence (flow/rainfall) indicates a strong variability and shows a significant connection for the various scales of time. The frequency band of one year is marked by the strongest rates of coherence (96 % calculated for the flows of Douar Tassadane gauging station and the average rainfall on the catchment area). Moreover, the band (2-4) years is marked by a rate of 81 % (evaluated for the flows of KoudiatTendart station and the average rainfall on the catchment area).

Keywords: flow, Rainfall, wavelet, Oued Endja watershed, Algeria

ملخص

تستند دراسة تغير المداخل (الأمطار) والمخارج (الجريان) في الحوض النهري لوادي النجا (رافد من حوض كبير الرمال) على مستوى الجزء العلوي لسد بني هارون، إلى البيانات الهيدر ومناخية الشهرية لفترة 30 سنة (من 1973/1974 إلى غاية 2004/2005)، يميز مؤشر الوسط المنخفض السنوي، وهو قوي وسهل الاستخدام، بين الفترات القصوى (الدورات الرطبة والجافة)، علاوة على ذلك، فإن استخدام طريقة أطيف الموجات وأطيف الترابط قد أوضح أن تطور هطول الأمطار وتدفقها منظم وفقاً لعدة أنماط من التباين يتم التعبير عنها في نطاقات زمنية مختلفة، أطيف الترابط (أمطار، تدفق) تترجم قوة التغيرات وتوضح قوة الارتباط بين النطاقات الزمنية. يتميز نطاق التردد لمدة لسنة بأعلى معدل تماسك (96% محسوب لمعدلات التدفق في محطة دوار تسعدان وصفيحة المياه المتساقطة في الحوض)، الشريط 2-4 سنوات يظهر بنسبة ترابط تقدر بـ 81 % (يتم تقييمها من طرف معطيات صبيب محطة كدية تندرار وصفيحة الامطار المتساقطة في الحوض).

الكلمات المفتاحية : منسوب، تساقط، الحوض النهري، وادي النجا، الجزائر.

I. INTRODUCTION :

La compréhension et la quantification de l'impact de la variabilité climatique à l'échelle continentale et régionale représentent aujourd'hui une préoccupation majeure pour l'ensemble du globe. En effet, les implications de cette variabilité sur certains systèmes hydrologiques peuvent être parfois désastreuses (inondations, sécheresse) et nécessitent donc, une meilleure connaissance des principaux processus hydrologiques, et de leur variabilité.

De nombreux travaux réalisés, pour comprendre le fonctionnement des systèmes hydrologiques dans le monde [17] [42] [27] [25] [18] [19] concluent à une augmentation du ruissellement global en relation avec le réchauffement climatique. Ces études montrent également l'existence des relations entre le cycle hydrologique continental et des forçages climatiques, comme le phénomène ENSO (« El Niño Southern Oscillation ») ou la NAO (« North Atlantic Oscillation »). Cette relation a été aussi établie en Amérique du Nord, au Brésil et en Chine [4] [45] [5].

Au Maghreb, plusieurs travaux menés sur la variabilité hydrologique dans les bassins versants ont détecté des discontinuités temporelles des débits en relation avec le changement climatique. Pour l'Algérie, nous citons les travaux de [2] [33] [32] [7]. Au Maroc, nous notons les publications de [3] [20] [17]. Enfin, pour la Tunisie, il convient de citer [14] [21].

Notre étude s'inscrit dans la continuité de ces travaux qui visent à définir les modes de variabilité des pluies et des débits. L'analyse de la relation entre ces deux paramètres dans le bassin versant de l'oued Endja. Deux méthodes de travail seront utilisées pour réaliser cet objectif, les écarts centrés réduits et l'analyse en ondelettes. La méthode des écarts centrés réduits a été largement vulgarisée dans la recherche scientifique. [12] [13] l'ont utilisé dans le but de comprendre l'évolution des séries pluviométriques de la Tunisie centrale. [9] l'ont également adopté pour analyser la variabilité interannuelle des débits de N'zi et N'zo (Chine). Enfin, [36] ont utilisé cet indice pour déterminer les périodes caractéristiques de changement climatique au Maghreb. Cet indice est à la fois puissant et simple d'utilisation. Il permet de distinguer les

périodes caractéristiques des cycles pluviométriques ou hydrologiques.

La méthode de la transformée en ondelettes a été utilisée dans plusieurs domaines dans le monde, dont la géophysique par [35]. Elle a été aussi utilisée en hydrodynamique [8] ainsi que dans les domaines hydrologiques et hydrogéologiques. L'analyse en ondelettes a été exploitée pour caractériser la variabilité des différents paramètres, tels que la température, l'humidité de l'air, les précipitations, les fluctuations climatiques, les débits journaliers [47][41][42][27][6].

Les linéarités pluie et débit seront traitées par la cohérence en ondelettes pour la vérification des modes déjà existants dans les signaux pluie et débits. Ceci permettra de définir les périodes sèches ou humides ainsi que la réactivité du bassin de l'oued Endja à l'échelle événementielle.

II. CONTEXTE DU BASSIN VERSANT

1. Contexte physiographique

L'oued Endja draine la partie occidentale du bassin versant du Kébir-Rhumel, sur une superficie de 2 225 km², soit plus de 25 % de la superficie totale du bassin (8 815 km²) (**Figure 1**). Il recouvre une zone intermédiaire entre le domaine tellien à très forte influence méditerranéenne au Nord, et le domaine des hautes plaines semi-arides à forte influence continentale au Sud.

La partie amont du bassin de l'oued Endja est formée par la confluence des oueds Dehamcha et Menâa, le premier prenant sa source au seuil des Hautes Plaines, au Nord d'El Eulma, et le second aux environs d'Ain el Kébira, dans les massifs de la petite Kabylie [29]. Dans la partie aval, l'oued Endja ne reçoit pas d'affluents importants sur sa rive gauche, mais sur sa rive droite, il collecte les eaux des oueds Djemila, Bouselah, Redjas et Melah.

Le **Tableau 1** résume les résultats de la morphométrie calculés pour les deux sous-bassins jaugés aux stations hydrométriques de Douar Tassadane et de Koudiat Tendart [29]. La surface du sous bassin de l'oued Kébir-amont contrôlée par la station de Douar Tassadane est égale à 960 km², avec un périmètre de 125 km. La superficie drainée par l'oued Bouselah et contrôlée par la station de Koudiat Tendart se limite à 170 km², avec un périmètre de 53 km.

Ces deux sous-bassins se caractérisent par une classe de relief « fort » et des valeurs de la densité de drainage sensiblement élevées (4.6 et 5.5 km/km²).

Sur le plan géologique, le bassin de l'oued Endja forme une dépression constituée essentiellement des formations mio-plio-quadernaires. La nappe de flysch numidienne limite le bassin dans sa partie Nord, alors que les nappes telliennes constituent sa partie centrale. La partie Sud du bassin est constituée par des formations calcaires de la nappe néritique constantinoise.

2. Contexte hydro climatique

Le climat dominant est de type semi-aride méditerranéen, et le relief élevé favorise la présence de pluies relativement abondantes. Caractérisé par des pluies en hiver et une sécheresse en été, il se distingue par son irrégularité. La lame d'eau précipitée moyenne est évaluée à 540 mm dans le bassin de l'oued Endja à la station de Douar Tassadane et La lame d'eau précipitée moyenne est évaluée à 421 mm à la station de Koudiat Tendart. Ces valeurs ont été estimées sur la période de (1973/74-2004/05).

La moyenne annuelle des températures de la période 1990/2003, est de 15,6°C. Les températures annuelles, varient de 14 à 16°C, l'année 1991/1992, a enregistré une température minimale de 14,1°C. Les températures maximales on atteint leur pic durant l'année 2002 - 2003 avec 16,4°C.

L'oued Endja présente un rythme hydrologique qui se caractérise par une évolution irrégulière des débits, ainsi que par la brutalité et la puissance des crues qui se produisent à l'automne et au printemps.

Le module évalué durant la période 1973/74-2004/05 à la station de Douar Tassadane représente 3,2 m³/s. A la station hydrométrique de Douar Tassadane, le débit le plus faible de la série (0,42 m³/s) a été enregistré pendant l'année 1996/97. Le débit le plus élevé (10,1 m³/s) a été observé durant l'année 1984/1985

III. DONNEES ET METHODES

1. Les données hydro-pluviométriques

Les données des précipitations couvrent une période de 31 ans de mesures (1973/74-2004/05). Elles sont issues des grilles mensuelles des pluies établies par l'ANRH (2011) sur la base d'un modèle de régression pluies-relief [31].

Les données des débits (1973/74-2004/05) sont issues des jaugeages effectués aux deux stations hydrométriques de Douar Tassadane et de Koudiat Tendart (**Tableau 2**). Ces postes sont gérés par l'Agence Nationale des Ressources en eau d'Alger et de Constantine (Algérie).

Tableau 2 : Les caractéristiques des stations des débits du bassin de l'oued Endja

Sous bassins	Stations	X (km) Coordonnées Lambert	Y (km) Coordonnées Lambert	Z(m)
O. Endja Oued Kébir amont	Douar Tassadane 100109	785.683	359.395	/
O. Endja Oued Bouselah	Koudiat Tendart 100208	788.21	340.117	635

2. Méthodes

Afin de comprendre les modes de variabilité pluie-débit sur cet important affluent, alimentant le plus grand barrage d'Algérie (Beni Haroun), nous avons utilisé deux méthodes de travail :

- L'indice centré réduit annuel, paramètre à la fois puissant et simple d'utilisation qui permet de distinguer les périodes extrêmes (cycles humides et secs).

$$V_{cr} = (P_i - P_m) / \sigma$$

Avec

V_{cr} : Indice de Nicholson (pluviométrique ou hydrologique)

P_i : Hauteur de pluie ou débit pendant une année i

P_m: Pluie moyenne annuelle (ou débit moyen annuel) au bassin

σ : Ecart type des précipitations annuelles (ou débits annuels)

LA RELATION PLUIE - DEBIT DANS UN HYDRO SYSTEME SEMI-ARIDE MEDITERRANEEN : CAS DU BASSIN DE L'OUED ENDJA, A L'AMONT DU BARRAGE BENI HAROUN (ALGERIE ORIENTALE).

- Les méthodes spectrales des ondelettes et la cohérence en ondelettes permettent de montrer l'évolution des pluies et des débits selon différentes échelles temporelles.

L'ondelette est une fonction comportant un paramètre temporel (b) et un paramètre de forme (a). Le premier permet de dilater l'ondelette pour l'analyse des fréquences voulues et le deuxième permet de translater l'ondelette sur l'axe des temps pour analyser cette fréquence au voisinage d'un moment du signal : fonction de l'ondelette [27].

La transformée en ondelettes est réalisée en décomposant le signal, en signaux définis sur une certaine période de temps (ou d'espace), ce qui permet d'analyser les variations du contenu fréquentiel au cours du temps.

La Cohérence en ondelettes [22] définit la fonction de cohérence $CO_{xy}(f)$ comme une relation de la linéarité entre le signal d'entrée et de sortie, grâce à l'utilisation des spectres simples d'énergie S_x et S_y et du spectre d'énergie de la fonction d'intercorrelation S_{xy}

La fonction de cohérence indique le déphasage entre le signal d'entrée et de sortie [27]. La valeur de la linéarité de la relation « entrée-sortie » est comprise entre 0 et 1 ;

$$CO_{xy}(f) = S_{xy}(f) / S_x(f) S_y(f)$$

Avec :

$S_{xy}(f)$, transformée de Fourier de la fonction d'intercorrelation des variables d'entrée x et de Sortie y.

$S_x(f)$ et $S_y(f)$, transformées de Fourier des autocorrelogrammes du signal d'entrée x et du signal de sortie y.

IV. RESULTATS

1. Analyses des chroniques des pluies et débits selon la méthode des centrés réduits

Afin d'étudier et de déterminer les différentes phases des cycles de déficit et d'excédent pour la pluviométrie et les débits, nous avons calculé dans un premier temps les indices centrés réduits pour les stations Douar Tassadane (Figure 2) et Koudiat Tendart (Figure 3)

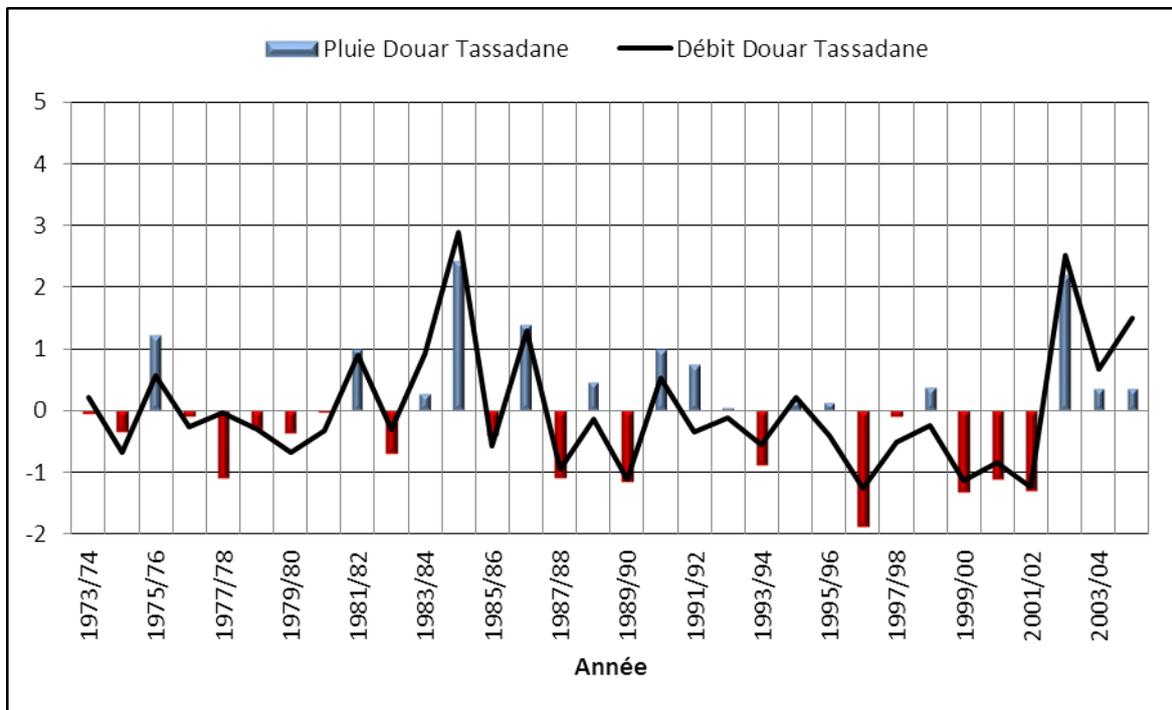


Figure 2 : Evolution interannuelle de la pluviométrie et des débits au niveau de sous bassin d'oued Kébir amont

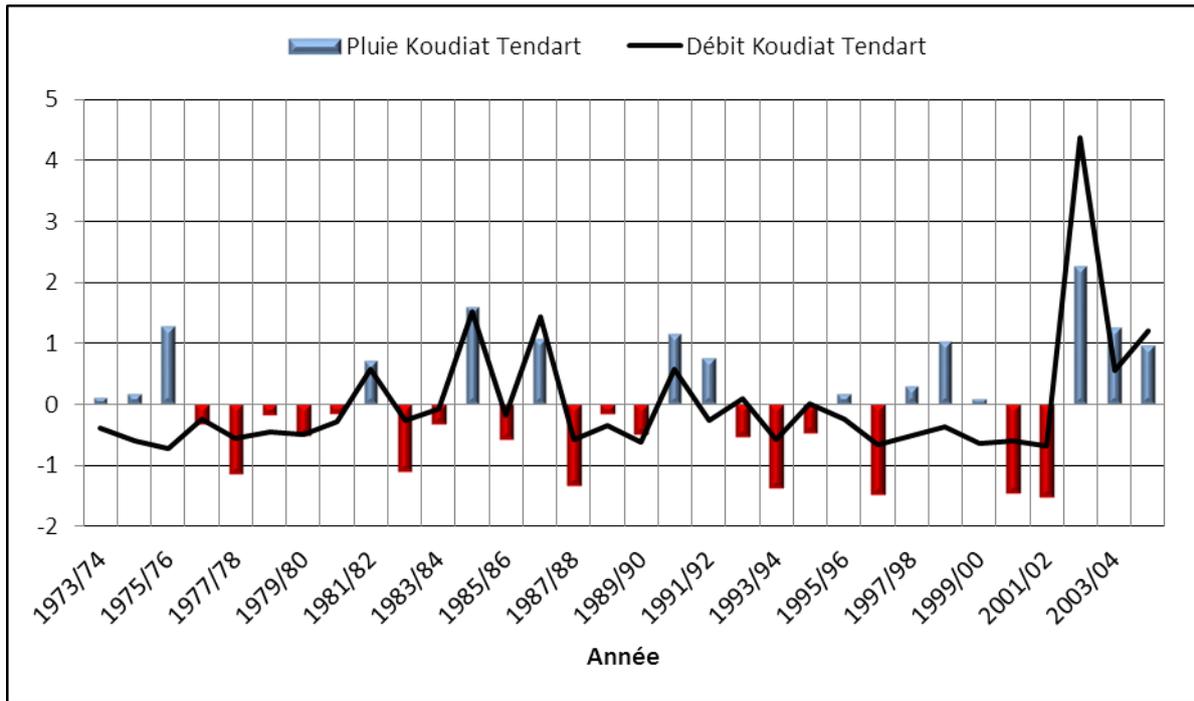


Figure 3 : Evolution interannuelle de la pluviométrie et des débits au niveau de sous bassin de Bouselah

Le graphique établie pour Douar Tassadane montre une première phase sèche comprise entre 1973/74 et 1980/81 (seule l'année 1975/76 est humide). La deuxième phase concerne la décennie (1981/82 et 1991/92). Cette période montre une succession d'années excédentaires et déficitaires pour les deux paramètres étudiés. La troisième phase comprise entre les années 1992/93 et 2001/02 est plus marquée par la sécheresse. Enfin, une quatrième période montrant un retour des pluies qui apparait entre les années 2002/03 et 2004/05.

Les courbes des débits et des pluies de la station Koudiat Tendart montrent les mêmes caractéristiques déjà observées pour la station de Douar Tassadane. Une première phase déficitaire est notée entre 1973/74 à 1983/84 (seules deux années sont humides 1975/76 et 1981/1982). Une deuxième phase qui commence en 1984/85 et se termine en 1991/92, montre une succession de cycles court d'années excédentaires et déficitaires. La troisième phase concerne les années comprises entre 1992/93 et 2001/02. Cette période est marquée par une importante sécheresse même si quelques années montrent une bonne pluviométrie et un écoulement important, comme ce fut le cas pour l'année 1990/1991. Sur la dernière période, 2002/03 et 2004/05, nous retrouvons les mêmes fluctuations déjà évoquées à la station Douar Tassadane (un retour de la période humide).

2. Analyses en ondelettes continues des chroniques des pluies et débits.

Pour consolider les résultats obtenus avec la méthode des centres réduits, nous proposons une analyse des données selon la méthode des ondelettes. Les spectres en ondelettes locaux des pluies de chaque sous bassin nous ont permis d'identifier les modes de variabilité à différentes échelles annuelles à interannuelles, et les éventuelles discontinuités, et les périodicités (la subdivision des périodes dépend de la date des discontinuités identifiées pour chaque bassin versant).

Les spectres obtenus pour le sous bassin d'oued Kébir amont (station de Douar Tassadane) (**Figure 4**) mettent en évidence des variabilités communes des paramètres climatiques pluie et débit. Ces fluctuations se traduisent par différents modes de variabilité à l'échelle annuelle à pluriannuelle (1an, 1-2ans et 2-4 ans).

Les modes de variabilité (1an, 1-2 ans et 2-4 ans) pour les débits concernent les années de 1981/82 à 1984/85. Nous retrouvons aussi ces modes de variabilités (forte énergie) au-delà de l'année 2002/03. La bande 2-4 ans se révèle sur le graphique après les années 2002/03 et entre 1981-1985 (ce marqueur correspond à la phase

LA RELATION PLUIE - DEBIT DANS UN HYDRO SYSTEME SEMI-ARIDE MEDITERRANEEN : CAS DU BASSIN DE L'OUED ENDJA, A L'AMONT DU BARRAGE BENI HAROUN (ALGERIE ORIENTALE).

excédentaire déjà évoquée par l'étude des centrés réduits).

Dans le spectre en ondelettes des pluies, les modes (1 an et 1-2 ans) ont été observés entre les années 1981/82 - 1987/88 et après 2002/03 avec une forte énergie. La phase 1981/82-2001/02 caractérisée par une faible énergie correspond à la phase déficitaire.

- Le spectre en ondelettes de la pluie pour le sous-bassin d'oued Bouselah (station Koudiat Tendart) (**Figure 5**) montre trois bandes de variabilité. La bande de 1 an correspond au cycle hydrologique, elle est marquée par une forte atténuation entre 1979/80 et 1987/88 et après 2002/03. Les bandes interannuelles (1-2 ans et 4-8 ans) se caractérisent

par une forte puissance d'énergie qui apparaît après la période 2002/03.

Dans le spectre en ondelettes des débits, les bandes d'énergies ne sont pas similaires à ceux présentés pour la série des pluies. On retrouve le cycle hydrologique (1 an) et les fluctuations d'échelle interannuelle avec une forte puissance d'énergie (1-2, 2-4 et 4 -8 ans) observées entre 1984/85-1985/86 et après 2002/03. La bande 8-10 ans est détectée selon une forte puissance seulement pour le bassin de l'oued Bouselah (station Koudiat Tendart), après les années 2002/03 (cette période correspond aux années humides)

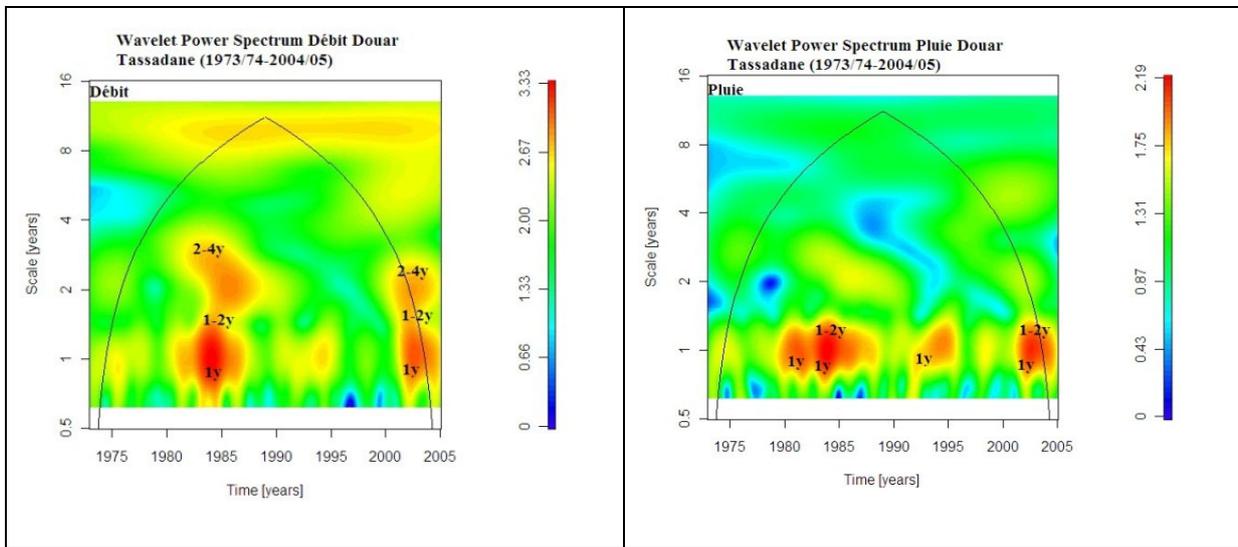


Figure 4 : les spectres en ondelettes continues des chroniques pluies et débits du sous bassin d'oued Kébir amont

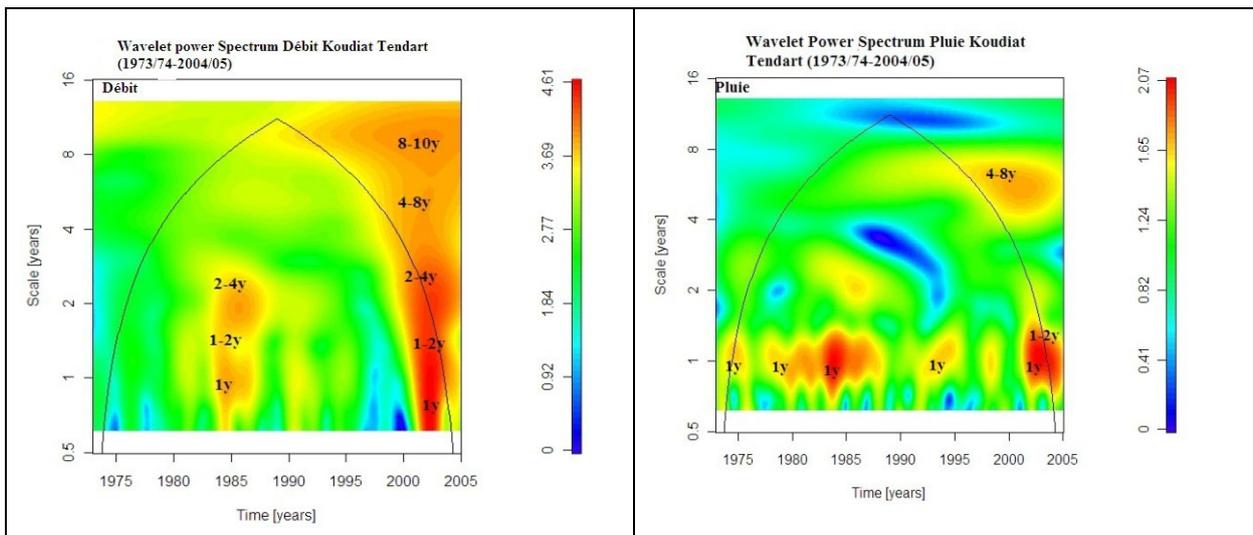


Figure 5 : les spectres en ondelettes continues des chroniques pluies et débits du sous bassin d'oued Bouselah

4. Évaluation de degré de corrélation entre débits et pluies au cours du temps par la cohérence en ondelettes

Pour caractériser la variabilité commune (ou différente) entre les deux signaux (pluie, débit) et estimer l'impact des modes de variabilité des précipitations sur la variabilité des débits et la quantification simple du degré de la corrélation, on a utilisé l'analyse de la cohérence par ondelettes. Cette méthode permet de caractériser le degré de linéarité entre les pluies et les débits, suivant les différents niveaux d'échelles au cours du temps.

Les spectres de la cohérence en ondelettes (**Figure 6**) et (**Tableau 3**), montrent globalement que la variabilité des débits indique une forte cohérence avec les précipitations, pour les différentes échelles annuelles à interannuelles. Allant de 90.48 % pour (sous- bassin d'oued Kébir amont à la station de Douar Tassadane) à 75.03% (sous- bassin d'oued Bou Selah à la station de Koudiat Tendart).

La bande fréquentielle de 1an est caractérisée par une forte cohérence pour le sous bassin de l'oued Kébir amont à la station de Douar Tassadane (95.96 %). La bande 2-4 ans indique une forte cohérence pour le sous bassin de l'oued Bouseleh à la station de Koudiat Tendart (80.73 %) (**Tableau 3**).

On notera aussi, la présence de la perte des cohérences des débits avec les précipitations (signifiée en bleu sur le graphique) pour les spectres aux différentes échelles du temps observé, pour les deux sous bassins versants, oued el Kébir amont (avant 1980), Bouseleh sur la période avant 1980 et entre 1980 et 2002.

Ces pertes de cohérence, ou bien sa diminution sur quelques années correspondent aux périodes de sécheresses observées dans le sous bassin de l'oued Bouseleh (situé dans un contexte climatique semi-aride et caractérisé par de fortes températures et une importante évapotranspiration ; ce bassin est souvent soumis à des périodes de disettes pluviométriques). Ces conditions apparaissent sur les graphiques des centrés réduits annuels des séries « pluie et débit » (**Figure 2 et Figure 3**).

Malgré les pertes de cohérence observées, il apparait que la variabilité des débits du bassin

versant est très fortement influencée par une variabilité d'origine climatique. En effet, seulement **9.52 % (oued el Kébir amont) et 25 % (oued Bouseleh)** de la variabilité de ce paramètre hydrologique peuvent être attribués à d'autres facteurs cités précédemment pouvant influencer sur l'écoulement dans le bassin versant. Le même résultat a été obtenu dans le bassin du Mississippi, ou l'on constate qu'il y a seulement 10 % à 20 % de la variabilité des débits du Mississippi qui ne sont pas directement reliés aux variations des précipitations [40].

Tableau 3 ; Les degrés de la linéarité entre les pluies et les débits

	Sous- bassin d'oued Kébir amont (Douar Tassadane/Douar Tassadane)	Sous- bassin d'oued Bou selah (Koudiat Tendart/Koudiat Tendart)
Total	90.48 %	75.03 %
1Y	95.96 %	77.31 %
1-2Y	94.59 %	76.94 %
2-4y	90.26 %	80.73 %
4-8Y	84.22 %	72.92 %
8-10Y	92.66 %	56.40 %

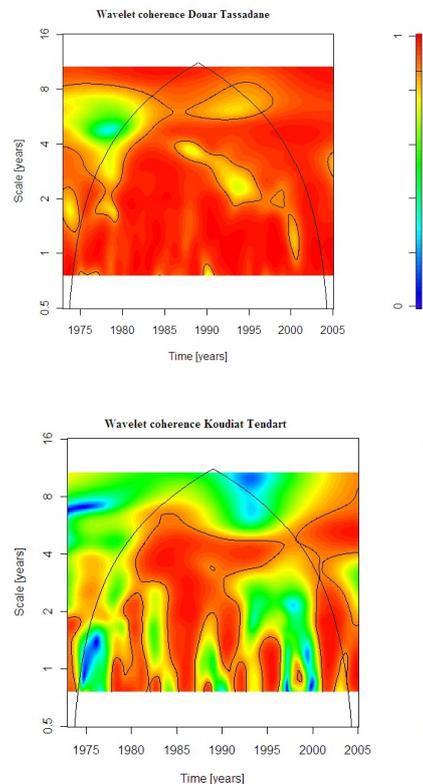


Figure 6 : Les spectres de la cohérence pluies et débits du bassin versant

VI. CONCLUSION

LA RELATION PLUIE - DEBIT DANS UN HYDRO SYSTEME SEMI-ARIDE MEDITERRANEEN : CAS DU BASSIN DE L'OUED ENDJA, A L'AMONT DU BARRAGE BENI HAROUN (ALGERIE ORIENTALE).

Cette étude propose l'identification de la relation des modes de variabilité des pluies et des débits dans la région méditerranéenne semi-aride (nord-est algérien), en utilisant des données hydro-pluviométriques au pas du temps mensuel sur plusieurs années.

Les résultats des méthodes en ondelettes qui ont été utilisées pour les séries des pluies et débits montrent des différents modes de variabilité pluie et débit à différentes échelles fréquentielles annuelles à interannuelles : 1 an, 1 - 2 ans, 2-4ans, 4-8 ans, et la bande fréquentielle 8-10 ans est spécifique pour le bassin de l'oued Bouselah. Ces divers modes impliquent bien que la variabilité hydrologique est différente d'un sous bassin à l'autre et ceci est lié aux facteurs physico géographiques des deux sous bassins étudiés.

Ces modes de variabilité ont été comparés en première approche à ceux observés dans les précipitations, dans le but de déterminer l'origine de la structuration observée dans les débits du bassin de l'oued Endja. La structuration de la variabilité des précipitations est identique à celle observée dans les débits, selon chaque sous bassin avec quelques différences en termes de fréquence, d'amplitude, et d'occurrence temporelle. Les fluctuations observées dans les débits sont rigoureusement observées dans les précipitations à l'exception de la bande 8-10 observée dans le débit de Bouselah et qui ne se présente pas dans la pluie mais aussi la bande 2-4 ans, observée dans le débit de l'oued Kébir amont et qui ne se présente pas dans la pluie.

La forte cohérence existant entre la variabilité des débits et des précipitations est de 90,48% (oued El Kébir amont) et 75,03 % (oued Bouselah). Elle correspond à la cohérence totale moyenne observée. Elle confirme définitivement une influence climatique sur la structuration de la variabilité des débits du bassin.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] BAILLY D. (2009) - Vers une modélisation des écoulements dans les massifs très fissurés de type karst : étude morphologique, hydraulique et changement d'échelle (thèse de doctorat, l'Institut National Polytechnique de Toulouse)

[2] BOUANANI A., BABA HAMED K. MANIA J.BENSALAH M. (2005)- Le comportement d'un système hydrologique en climat méditerranéen par l'analyse corrélatoire et spectrale des débits et des pluies. Cas de trois sous bassins sud-méditerranéens:(oued Sebdou, Moulah et Isser-Tafna-NW Algérie). *Rev. Sci. EauJournal Water Sci.* 18, 215–224.

[3] BOUCHAOU L., MANGIN A and CHAUVE P. (2002) - Turbidity mechanism of water from a Karstic spring: example of the Ain Asserdoune spring (Beni Mellal Atlas, Morocco). *Journal of Hydrology*, 265(1-4): 34-42.

[4] BOUHADDIOUI C., ROY R. (2006)- On the distribution of the residual cross-correlations of infinite order vector autoregressive series and applications. *Stat. Probab. Lett.* 76, 58–68.

[5] CAPURRO A., MALTA C. DIAMBRA I, CONTRERAS P. (2005)- Cross correlation of heartbeat and respiration rhythms, *physica*.

[6] CHADID O., (2003) - Analyse des séries hydrométéorologiques par la transformée en ondelettes (Phd Thesis). École de technologie supérieure.

[7] EL MAHI A., MEDDI M. MATARIA A. et KETROUCI K. (2004)- Etat de la pluviométrie en période de sécheresse en Algérie du nord et sa relation avec le phénomène ENSO. *Actes du colloque "Terre et Eau"* (Annaba, 2004), p. 420-423.

[8] FUTATANI S., BOS W J. DEL-CASTILLO-NEGRETE D. SCHNEIDER K. BENKADDA S. FARGE M. (2011)-Coherent vorticity extraction in resistive drift-wave turbulence: Comparison of orthogonal wavelets versus proper orthogonal decomposition. *Comptes Rendus Phys.* 12, 123–131.

[9] GAULA B. T., SAVANE I. KONAN B. FADIKA V. KOUADIO G.B. (2006) - Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide), *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 7 Numéro 1*

[10] GOUPIL PH., MAILHES C. KLAUS V. (1999) - Analyse par Ondelettes et Méthodes Paramétriques en Météorologie : Application aux Mesures de Température par Télédétection Radio-Acoustique, *Dix-septième colloque GRETSI, Vannes*, 13-17 septembre 1999

- [11] GROSSMANN A., MORLET J. (1984) - Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelet of constant shape. *SIAM, J. Math. Anal.*, 15: 723-736.
- [12] JELASSI M A. (2014) - Caractérisation de la variabilité hydrologique de la Medjerda dans le cadre de la future mission spatiale SWOT, Mémoire de master, université Rouen (France)
- [13] KINGUMBI A., BERGAOUI Z. BOURGES J. HUBERT P et KALLEL R. (2000)- Etude de l'évolution des séries pluviométriques de la Tunisie Centrale.
File:///C:/Apacheroot/htdocs/medweb/WEB-documents/kingumbi.htm (1 sur 8) [07.12.2000 11:41:13]
- [14] KINGUMBI A. (2006)- Modélisation hydrologique d'un bassin affecté par des changements d'occupation. Cas du Merguellil en Tunisie Centrale. Thèse de Doctorat, Université de Tunis El Manar, 300 p.
- [15] LABAT. D, 2000. Non-linéarité Et non stationnarité En hydrologie karstique, L'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse(France).
- [16] LABAT D., RONCHAIL J. CALLEDE J. GUYOT J. (2004) - Wavelet analysis of Amazon hydrological regime variability, *geophysical research letters*
- [17] LABAT D. (2005) - Recent advances in wavelet analyses: Part 1. A review of concepts. *Journal of Hydrology*, 314(1-4): 275-288.
- [18] LABAT D. (2008)-Wavelet analysis of the annual discharge records of the world's largest rivers, *Advances in Water Resources*, 31(1), 109-117.
- [19] LABAT D. (2010) - Cross wavelet analyses of annual continental freshwater discharge and selected climate indices, *Journal of Hydrology*, 385(1-4), 269-278.
- [20] LAFTOUHI N. et PERSOONS E. (2007)- Influence des Variations Climatiques Sur Le Régime Hydrologique du Bassin Versant Du Ksob (Essaouira Maroc). *Technical Document In Hydrology*, Vol. 80, Édit. Unesco Et Hydrosociences-Montpellier, P. 85-98.
- [21] LAHACHE R. G., et PILLET G. (2008)- Projection des ressources en eau de la Tunisie sous les effets des changements climatiques globaux. *XIIIth World Water Congress* (Montpellier. 2008), 12 p.
- [22] LAROCQUE M., MANGIN A. RAZACK M. BANTON O. (1998) - Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France). *Journal of Hydrology* 205:217-231.
- [23] MANGIN A. (1984).- pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale, *journal of hydrologie*.
- [24] MANGIN A. (2008)- Caractérisation des propriétés des systèmes karstiques d'après l'étude des écoulements, Colloque Hydrogéologie et karst au travers des travaux de Michel Lepiller
- [25] MASSEI N., DUPONT J P. MAHLER B J. LAIGNEL B. FOURNIER M. VALDES D. OGIER S. (2006)- Investigating transport properties and turbidity dynamics of a karst aquifer using correlation, spectral, and wavelet analyses. *J Hydrologie*. 329, 244-257.
- [26] MASSEI N., COPARD Y., ROSSI A. SEBAG D. (2007)- The response of the Mississippi River to climate fluctuations and reservoir construction as indicated by wavelet analysis of streamflow and suspended-sediment load, 1950-1975 article in journal of hydrology 2007. 10.1016
- [27] MESQUITA j. (2009)- Facteurs de contrôle climatique et géomorphologique de la variabilité hydrologique de bassins versants en substrat carbonate Comparaison Haute Normandie (FR) et Région d'Austin, Texas (USA), l'université de Caen (France)
- [28] MATHEVET T. (2002)- Analyse du fonctionnement du système karstique de Bange-L'eau-Morte (Bauges, Savoie et Haute-Savoie, France), Université de Paris VI.
- [29] MEBARKI A. (1982)- le bassin du Kébir Rhumel, Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau, Thèse doctorat 3ème cycle, Université de Nancy II.
- [30] MEBARKI A. (2005)- Hydrologie des bassins de l'Est algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement, Thèse de doctorat d'Etat, Université Mentouri de Constantine, Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire,
- [31] MEBARKI A., LABORDE J.P. (2012)- Synthèse cartographique des bilans hydriques de l'Algérie du Nord, Colloque international, Eau et climat, Regards croisés Nord-Sud, Université de Rouen 25-26 sept 2012.
- [32] MEDDI M. et HUBERT P.(2003)- Impact de la modification du régime pluviométrique sur les

LA RELATION PLUIE - DEBIT DANS UN HYDRO SYSTEME SEMI-ARIDE MEDITERRANEEN : CAS DU BASSIN DE L'OUED ENDJA, A L'AMONT DU BARRAGE BENI HAROUN (ALGERIE ORIENTALE).

ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. In: *Hydrology of the Mediterranean and semiarid regions*, IAHS publication, n°278, p. 229-235.

[33] MEDDI H et MEDDI M. (2007)- Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord-Ouest de l'Algérie. *Geographia Technica*, n° 2, p. 49-55.

[34] MEDEJERAB A. HENIA L. (2011)- Variations spatio-temporelles de la sécheresse Climatique en algerie nord-occidentale. *Courrier du savoir* – n°11, mars 2011, pp.71-79

[35] MOREAU F. (1995)- Méthodes de traitement de données géophysiques par transformée en ondelettes. (Phd Thesis). Université Rennes 1.

[36] NOUACEUR Z. LAIGNEL B. TURKI I. (2013)- Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ? *Physio-Géo*,

[37] NOUACEUR Z, LAIGNEL B. (2015) - Caractérisation des événements pluviométriques extrêmes Sur la rive sud du bassin méditerranéen : Études du cas du « quart nord-est » algérien, colloque de l'association internationale de climatologie.

[38] NOUACEUR Z. (2010) - Évaluation des changements climatiques au Maghreb. Étude du cas des régions du quart nord-est algérien. In : *Risques et changements climatiques*, Actes du XXIIIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie (Rennes), p. 463-468.

[39] PADILLA A and PULIDO-BOSCH A.(1995)- Study of hydrographs of karstic aquifers by means of Correlation and cross-spectral analysis. *Journal of Hydrology*, 168(1-4): 73-89.

[40] RIAD S. (2003)- typologie et analyse hydrologique des, eaux superficielles à partir de Quelques bassins versants Représentatifs du Maroc, thèse de doctorat, université des sciences et technologies de Lille, & Université ibnou zohr d'Agadir.

[41] ROSSI.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, thèse de doctorat, Université de Rouen).

[42] 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 université de Rouen (France)

[43] TAIBI S., MEDDI M. SOUAG D. MAHEA G. (2013) -Evolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie (1936–2009), *Climate and Land Surface Changes in Hydrology*

[44] TORRENCE C., WEBSTER P J. (1998)- interdecadal changes in the enso–monsoon system, *American Meteorological Society*

[45] TOOTLE G A., PIECHOTA T C. Singh A. (2005)- Coupled oceanic-atmospheric variability and US streamflow. *Water Resour. Res.* 41.

[46] TURKI I., LAIGNEL B. MASSEI N. NOUACEUR Z .BENHAMICHE N . MADANI KH. (2016) - Hydrological variability of the soummam watershed (northeastern algeria) and the possible links To climate fluctuations, *arab journal geoscience* (2016) 9:477 Doi 10.1007/s12517-016-2448-0

[47] ZAMRANE, Z., 2016. 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.

REMERCIEMENTS : Ce travail, réalisé dans le cadre d'une thèse de doctorat, a bénéficié du soutien du projet de coopération PHC Maghreb (17 MAG 32), entre notre laboratoire (LASTERNE, Constantine) et nos partenaires de l'Université de Rouen (UMR CNRS 6143 M2C, et UMR IDEES CNRS 6226). Qu'ils soient tous remerciés pour cette fructueuse collaboration