

Le comportement d'un système hydrologique en climat semi-aride ; Apport des approches corrélatoires. Étude de cas dans le Hodna (Algérie)

S. TARMOUL¹, A. NEMOUCHI¹, S. SLIMANI² et B. LAIGNEL³.

¹Laboratoire des sciences du territoire, ressources naturelles et environnement « LASTERNE »,

Université des frères Mentouri constantine, Algérie. tarmoul.sabrina@umc.edu.dz / am_nemouchi@yahoo.fr

²Ecole d'ingénieurs en Agro développement à l'international (ISTOM), 95000 CERGY, France. s.slimani@istom.net

³Morphodynamique continentale et Côtière UMR CNRS 6143, Université de Rouen (France). Benoit.laignel@univ-rouen.fr

ملخص : يقترح هذا المقال دراسة تصرف الهيدرولوجي لمصب الحوض شبه جاف باستعمال المقاربات (المرتبطة عادية ومقاطعة)

طبقات هذه المقاربات على معطيات الأمطار اليومية (المدخل) والتدفق (المخارج) في ثلاث أحواض شبه جافة (واد اللحم، واد سوبلة وواد لوقمان). تعتبر هذه الأودية من بين المجاري المائية الناتجة عن مصب الحوض الكبير. تهدف هذه الدراسة إلى إبراز دور هذه المقاربات في فهم نظام الهيدرولوجي للأحواض شبه الجافة. سمحت هذه التحليلات بالوصول إلى عدة إستنتاجات حول سيرورة هذه الأنظمة الهيدرولوجية وإمكانية تواجد أو غياب مخزون مائي جوفي في هذه الأنظمة كما استنتجنا بأن زمن استجابة الحوض للأمطار سريع ومتغير من حوض إلى آخر حسب الاختصاص الجيولوجية، الجيومورفولوجية، والنباتية للأحواض. و يتميز حوض سوبلة برد فعل أقل سرعة من واد اللحم واد لوقمان الذي يتميز بعوامل جد ملائمة للجريان السطحي، إن استعمال النهج الإحصائي وسيلة مميزة لفهم الأنظمة الهيدرولوجية.

الكلمات الأساسية : تدفق، تساقط، مقاربات مرتبطة، حوض، تصرف، الجزائر.

Résumé : Cet article se propose d'étudier le comportement hydrologique d'un bassin versant semi-aride en utilisant des approches corrélatoires (corrélogrammes simples et croisés). Ces approches ont été appliquées sur des séries chronologiques des pluies (entrée) et des débits (sortie) au pas de temps journalier sur trois bassins versants des oueds L'ham, Lougmane et Soubella qui font partie des multiples cours d'eau drainant le grand bassin versant du Hodna. L'objectif de cette étude est de montrer l'apport des approches corrélatoires dans la compréhension d'un système hydrologique des bassins semi-arides en Algérie. Ces analyses nous ont permis de faire des déductions sur le fonctionnement de ces systèmes hydrologiques, sur la présence

ou l'absence de stockage des eaux dans ces systèmes. Aussi on a déduit que le temps de réponse des bassins à une sollicitation pluviométrique est très rapide, mais il diffère d'un bassin à un autre en raison des caractéristiques morphologiques, géologiques et de l'occupation du sol de chaque bassin. Le bassin de Soubella qui se caractérise par un dense couvert végétal et la prédominance des formations peu perméable a une réactivité moins rapide que les bassins de L'ham et Lougmane qui se caractérisent par des facteurs très favorables au ruissèlement. L'utilisation de ces approches statistiques est un excellent moyen (outil) pour la compréhension de ces systèmes hydrologiques.

Mots clés : Débit, pluie, analyse corrélatoire, bassin versant, comportement, Algérie.

Abstract : This article offered to study the hydrological behavior of a semi-arid basin using correlative analysis (simple and crossed correlograms). These methods have been applied on time series of rainfall (input) and flow rates (output) at a daily database in three semi-arid watersheds of wadi L'ham, Lougmane and Soubella which are parts of multiple streams draining the great watershed of Hodna. The objective of this study is to show the contribution of the correlative analysis in understanding the hydrological system of semi-arid basin in Algeria. These analyzes have enabled us to make inferences about the functioning of these water systems, the presence or absence of water storage in these systems. Also it was deduced that the response time of the basins a solicitation rainfall is very fast, but it differs from one basin to another because of the morphological, geological and land use of each basin. The Soubella basin is characterized by dense vegetation and the predominance of low permeability formations slower reactivity than other basins as L'ham and Lougmanewhich are very favorable to the dripping

of factors. The use of these statistical methods is a great way (tool) for understanding the hydrological systems.

Keywords : Flow, rain, correlative analysis, watershed, behavior, Algeria.

1. Introduction

Le comportement hydrologique des cours d'eau est la résultante de l'interaction complexe des facteurs climatiques et des facteurs physico-géographiques du bassin versant. En effet sur un même contexte climatique, la réponse des bassins versants diffère selon la nature du milieu (relief, lithologie, pentes, occupation du sol, altitudes, végétations, etc.). Des bassins versants différents impliquent des comportements hydrologiques différents dans un même domaine bioclimatique [AlainGiret, 1986]. Plusieurs méthodes ont été appliquées pour comprendre la réaction d'un bassin versant à une sollicitation : analyse des hydro grammes, approches statistiques [Hurst, 1951, 1956, Wallis, 1972, Jackson & al., 1973, Richardson, 1981 In : Mangin 1984], et les modèles mathématiques [Sherman, 1941, Dooge, 1959, Nash, 1959, Roche, 1970, Jacquet, 1971 In : Mangin 1984].

Dans cette recherche, nous nous intéressons à comprendre le fonctionnement d'un système hydrologique dans la région du Nord –Est algérien, et on a pris des exemples des bassins versants des oueds L'Ham, Soubella, Lougmane qui font partie du grand hydrosystème endoréique du Hodna en climat semi-aride (figure 1). Dans cette étude nous utilisons des approches statistiques corrélatrices qui sont peu utilisées en milieu endoréique au Maghreb surtout en Algérie, qui est l'originalité de la présente recherche.

Ces approches ont été appliquées dans les bassins versants en climat méditerranéen étudié par Bouanani et al., [2005].

Notre objectif est de montrer l'apport de ces méthodes pour la compréhension d'un comportement hydrologique et d'établir des comparaisons sur la réponse hydrologique entre ces bassins différenciés situés dans un même contexte bioclimatique. Nous analyserons les données des chroniques pluies et débits au pas de temps journaliers par l'utilisation des corrélogrammes simples, puis nous analyserons les intercorrélations des bassins (corrélogrammes

croisés des pluies et débits) qui nous permettent d'apprécier la réactivité du bassin versant au signal d'entrée (pluie).

2. Présentation de la zone d'étude

2.1 Contexte géomorphologique

Le bassin versant du Hodna d'une superficie de 26 000 km² est le cinquième grand bassin de l'Algérie (Figure 1), il est situé à 150 km à vol d'oiseau au sud de la côte méditerranéenne (Golf de Bejaïa). La situation du bassin du Hodna entre deux séries de montagnes au nord et au sud organise le bassin autour d'une cuvette fermée presque plate à 400 m d'altitude [Hasbaia & al., 2012]. Cette cuvette reçoit les apports liquides et solides des 17 oueds du Hodna, dont les oueds L'ham, Lougmane et Soubella qui font objet de notre étude (Figure 1). Le premier qui est situé au nord-ouest du Hodna, il draine une aire de 5600 km², le second qui est limitrophe au précédent draine une surface de 334 km² et enfin le bassin de Soubella qui est situé au nord-est du Hodna couvre une aire de 192 km².

Les paramètres morphométriques des bassins versants ont été établis avec le SIG qui est considérée comme un outil permettant de faire aisément les différentes manipulations ; la délimitation des bassins versants, la mesure (de la géométrie, de l'hypsométrie, des pentes. Etc.). Les résultats sont synthétisés dans le Tableau 1. Les valeurs relatives à la taille (longueur du drain, longueur et largeur du rectangle équivalent et le périmètre) sont hétérogènes pour les trois bassins. La plus forte densité de drainage est obtenue dans le bassin de Soubella (3.10 km/km²) qui montre un réseau hydrographique très développé, alors que la plus faible est obtenue dans le bassin de L'Ham (1.10 km/km²). Les altitudes des bassins sont diversifiées, ainsi l'altitude moyenne est de 1197.00 m dans le bassin de Soubella, 951.21 m dans le bassin de Lougmane et 754 m dans le bassin de L'Ham, ce qui témoigne que le bassin de Soubella se caractérise par un relief important.

Sur le plan géologique, les bassins de L'ham et Lougmane sont constitués par de faciès variés allant des argiles gypseuses triasiques aux formations quaternaires continentales (Figure 2). Le bassin de Soubella se caractérise par des roches du Crétacé, Jurassique et Quaternaire, une grande

partie est recouverte par du calcaire, calcaires marneux, grès et argile rouge (Figure 2). Ce bassin recèle des capacités a qui fères importantes par rapport aux autres bassins. Du point de vue de l'occupation du sol, les surfaces ruisselantes (sol nu et les cultures) sont importantes dans

les bassins de Lougmane et L'Ham et le contraire a été observé dans le bassin de Soubella qui se caractérise par un dense couvert forestier (Institut National des sols, de l'irrigation et de drainage ; INSID, 2011).

Tab 1. Les paramètres morphométriques des bassins versants.

Paramètres	L'ham	Lougmane	Soubella
S : Surface (km ²)	5601.2	335.2	191.4
P : périmètre (Km)	385	126.4	96.6
Kg : Coefficient de Gravelius	1.44	1.93	1.95
H moy (m) : Altitude moyenne	754	951.2	1197
H min (m) : Altitude minimale	435	550	718
max (m) : Altitude maximale	1802	1865	1840
Lr : Longueur du réseau(Km)	6183.3	645.1	586.1
Dd : Densité du drainage (km/km ²)	1.1	1.9	3.1
F1. Fréquence de drainage ordre.1 (km ⁻²)	0.8	4.6	7.9
L : Longueur de drain principal (Km)	131	35	33
Tc : Temps de concentration (Heure)	34.7	7.85	5.99
I : largeur du rectangle équivalent (km)	35.7	5.8	4.4
Ig : indice de la pente globale (m/km)	3.8	14.8	14.6
Ds : Dénivelé spécifique (m)	286.43	271.39	201.6

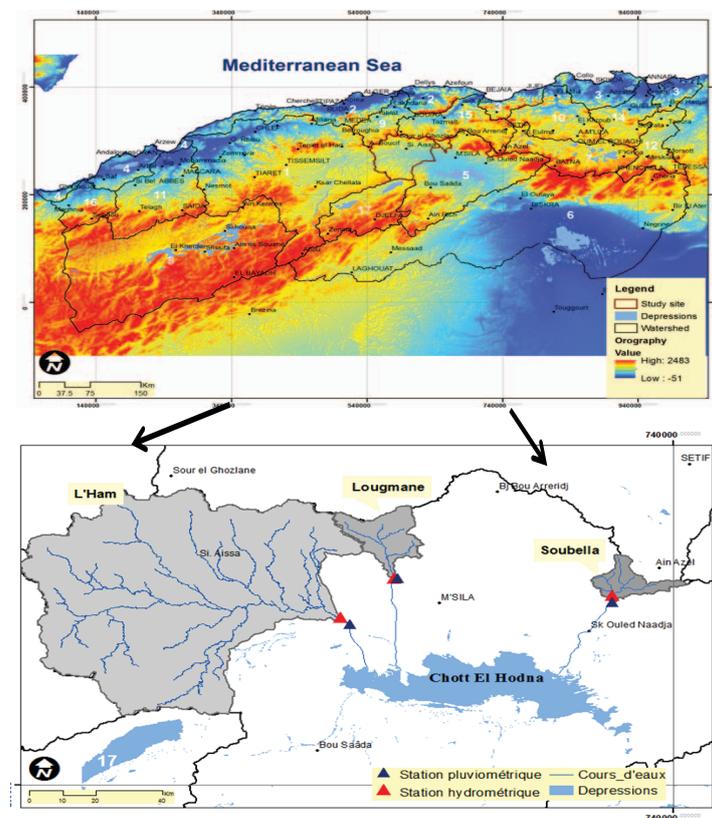


Fig. 1 Localisation de la zone d'étude.

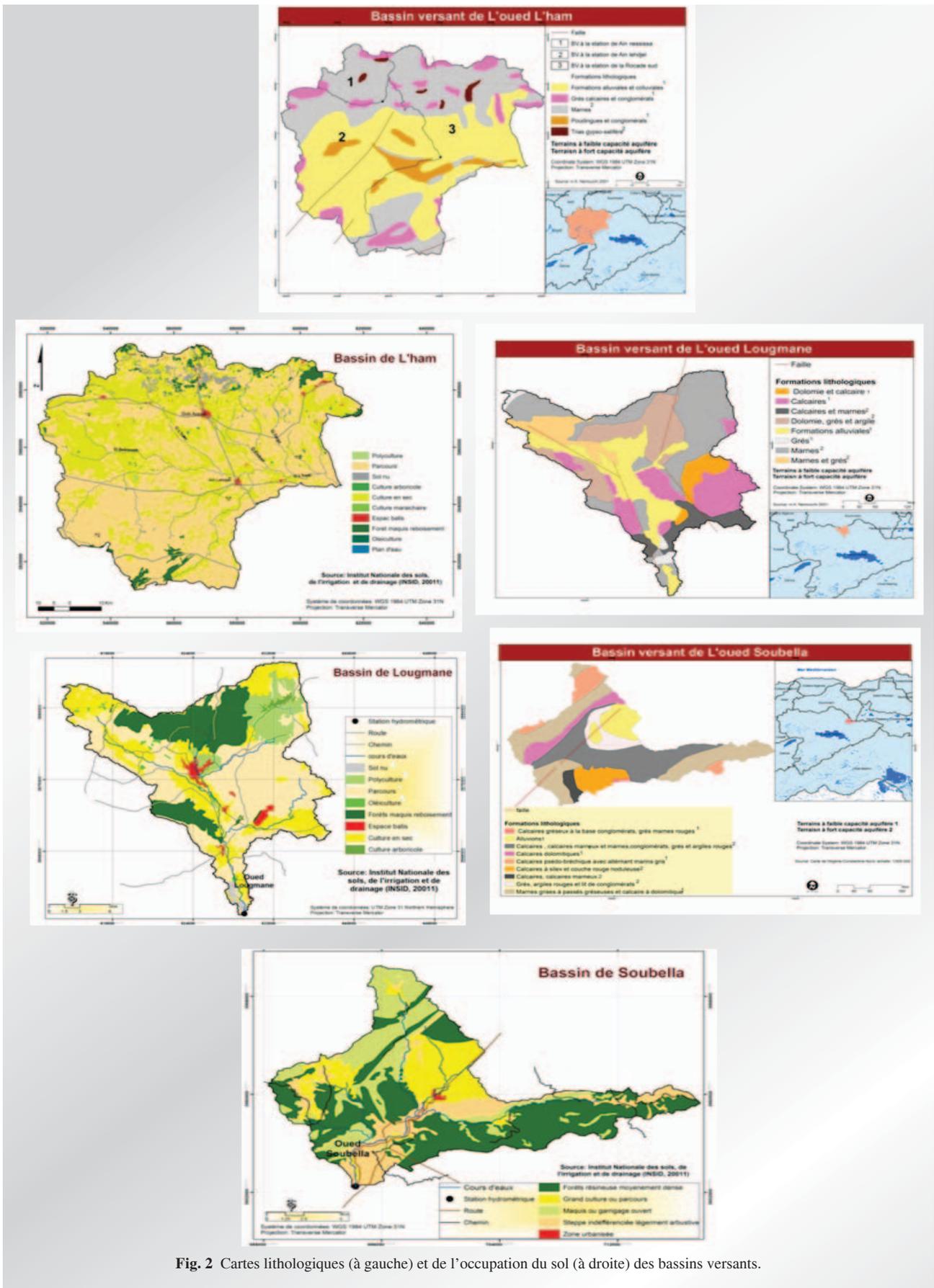


Fig. 2 Cartes lithologiques (à gauche) et de l'occupation du sol (à droite) des bassins versants.

2.2 Contexte climatique et hydrologique

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. La lame d'eau précipitée moyenne est évaluée à 203 mm dans le bassin de L'ham, 272 mm sur le bassin de Lougmene et 300 mm sur le bassin de Soubella. Ces valeurs ont été estimées sur la période de 1966/1995. Les températures maximales moyennes varient de 14° à 38.7°C et pour les températures minimales moyennes, elles varient de 3° à 23°C. Ces températures ont été estimées à la station météorologique de M'sila qui est représentative de ces bassins.

Du point de vue hydrologique, les débits moyens annuels (modules) des bassins versants se caractérisent par leurs nuances spatiales remarquables. Le bassin de L'ham montre un module de 1.06 m³/s à la station de la rocade sud, le bassin de Lougmene enregistre un module de 0.16 m³/s à la station de Ce dfaguet et le bassin de Soubella présente

un module de 0.13 m³/s à la station de Sidi Ouadahsur la période de 1974/1993.

La Figure 3 montre les hydrogrammes des (pluies-débits) journaliers pour chaque bassin versant. L'oued L'ham présente un rythme hydrologique périodique caractérisé par une évolution irrégulière de débit et la brutalité et la puissance des crues qui se produisent à l'Automne et au Printemps. L'oued Lougmene se caractérise par un écoulement saisonnier, qui est en relation direct avec les averses et leur intensité, chaque forte averse engendre une montée brutale de l'eau de l'oued et à la fin de l'averse, on observe la chute de l'écoulement. En revanche, le bassin de l'oued Soubella se caractérise par un écoulement permanent ; le rythme hydrologique se caractérise par l'évolution des débits irréguliers et toutes les crues sont d'ampleur très faible sauf celle de mois de novembre qui est importante (18.20 m³/s).

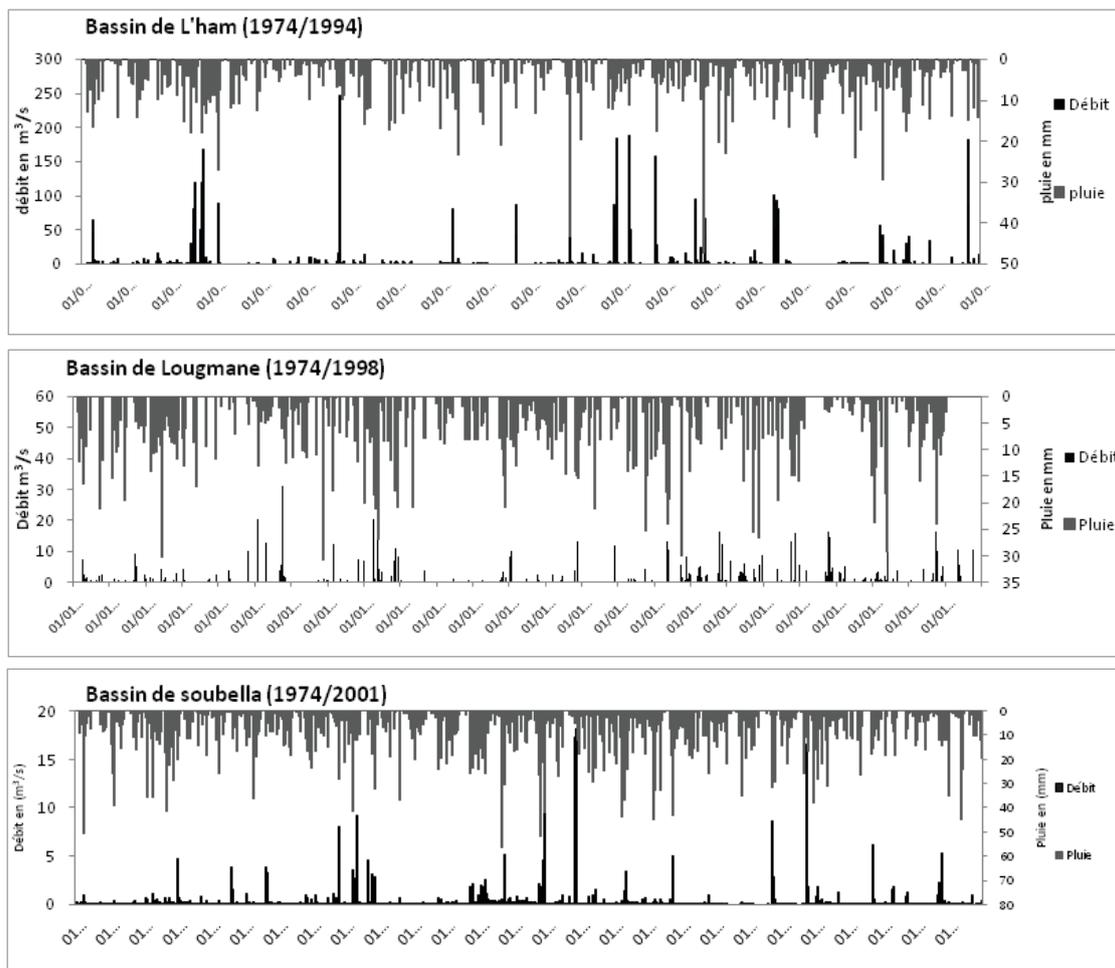


Fig. 3 Hydrogrammes des débits- pluies des bassins versants des oueds L'ham, Soubella et Lougmene.

3. Données et méthodes

3.1 Source des données

Cette étude repose sur l'utilisation des données hydrométéorologiques au pas du temps journalier aux trois différentes stations des bassins qui sont situés à l'exutoire de chaque bassin (Tableau 2).

Ces données ont été obtenues auprès de l'Agence Nationale de la Ressource en Hydraulique (ANRH) et l'Office National Météorologique (ONM). Le choix

de ces stations repose sur les critères de la fiabilité des données et des longueurs des séries pluviométriques. Nous avons utilisé une période commune entre les bassins versants de 1974/1993 qui ne présente aucune lacune et qui nous a permis de faire des comparaisons entre les bassins.

Tab 2. Les données et les stations utilisée

Bassin versant.	Paramètre	Stations	X	Y	Z(m)	Période d'étude
L'Ham	Précipitation	Rocade sud	642.75	260.6	433	1974/1994
	Débit	Rocade sud	642.75	260.6	433	
Lougmane	Précipitation	Ced fagues	277,9	504	504	
	Débit	Ced fagues	651.1	277.9	550	
Soubella	Précipitation	Sidi ouadah	721.5	268.75	720	
	Débit	Sidi ouadah	721.6	269.45	770	

3.2 État de l'art et méthodes utilisées

Les analyses corrélatoires du signal d'entrée (pluie) et du signal de sortie (débit) permettent de donner des informations sur les structures des chroniques, donc sur le fonctionnement du système hydrologique. Cette approche est basée sur le corrélogramme simple et croisé des chroniques.

Ces approches corrélatoires ont été utilisées dans plusieurs domaines partout dans le monde, tel que les domaines de l'informatique, mathématique, et la médecine [Bouhaddiouia, 2005, Yuan, 2004, Cappuro, 2005]. Dans le domaine de l'hydrologie au Maghreb des études ont été réalisées par Abdessalem [1995] et Bouanani [2005] et au Maroc par Riad [2003]. Le plus souvent, elles ont été appliquées pour l'étude de la réponse hydrogéologique en milieu karstique, en Europe par Mangin[1984], Larocque [1997], Bailly 2009, Labat, [2000], Mathvet [2002], Slimani [2009], Mesquita [2009] et Massei [2006]. Ces analyses peuvent être utilisées aussi bien pour l'étude des paramètres hydrométéorologiques que pour la température ou le chimisme des eaux [Mangin, 1984].

3.2.1 Analyse simple (Autocorrélation)

L'outil autocorrélation permet de décrire le degré de dépendance temporelle d'une série par rapport à elle-même (degré de la conservation de l'information dans une série) [Larocque & al., 1997], il correspond à la durée d'influence d'un événement sur la chronique. Le corrélogramme

sera donc utilisé pour identifier le caractère structuré ou aléatoire du signal. L'autocorrélation compare une série chronologique avec elle-même pour évaluer des décalages temporels. Un coefficient d'autocorrélation est calculé pour chaque décalage selon l'équation :

$$C_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-k} (z_t - z)(z_{t+k} - z) \tag{1}$$

$$r_k = \frac{C_k}{C_0}$$

Où C_k est l'auto-covariance, C_0 la variance, (r_k)est le coefficient d'autocorrélation, k, le décalage, et N, le nombre d'observations.

L'effet mémoire est un paramètre quantitatif de l'inertie, c'est le temps correspondant à une valeur de 0,2 de la lecture sur le corrélogramme qui a été utilisée la première fois par Mangin [1975] pour traduire l'effet mémoire de la chronique, et qui a été par suite repris dans de nombreuses publications [Massei & al.,2006, Slimani, 2009, Mesquita, 2009]. Il est possible d'utiliser une autre valeur (entre 0.3 et 0.4) pour des systèmes karstiques qui permettra une meilleure comparaison de la mémoire du système. Dans notre cas nous avons choisi la valeur de 0.2 pour comparer les vitesses de décroissance des signaux. La Figure 4 montre une décroissance rapide des corrélogrammes d'une longue chronique des débits (b) et des pluies (a) de la station de Sidi Ouadah (bassin versant de Soubella).

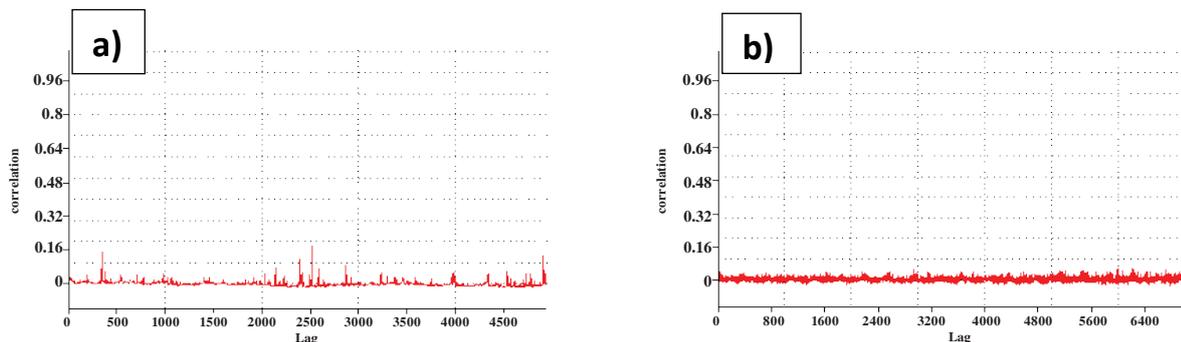


Fig. 4 Exemple d'auto corrélogrammes obtenus pour les précipitations (a) sur la période (1974/2010) et les débits (b) sur la période (1974/2000) ; (bassin de soubella).

3.2.2 Analyse croisée (intérrélation)

L'analyse croisée correspond à la fonction d'intérrélation, elle permet de calculer l'intensité de la corrélation entre deux chroniques [Mangin, 1984, Larocque, 1998, Labat, 2000, Valdès, 2005, Massei, 2006]. Elle correspond au corélogramme croisé $r(k)$ qui caractérise la dépendance linéaire entre deux chroniques la chronique d'entrée x_t et la chronique de sortie y_t . Cette approche a pour but d'estimer les valeurs de la réponse impulsionnelle du système au pas du temps considéré. Cette valeur nous permet donc d'avoir des indications concernant la réactivité du système.

$$C_{xy}(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{n+k} (x_i - \bar{x})(y_{i+k} - \bar{y})$$

$$C_{yx}(k) = \frac{1}{N} \sum (y_i - \bar{y})(x_{i+k} - \bar{x})$$

Où k est le lag (décalage) [Padilla et Pulido-Bosch, 1995 In : Mesquita, 2009].

\bar{x} et \bar{y} sont les moyennes des séries x et y .

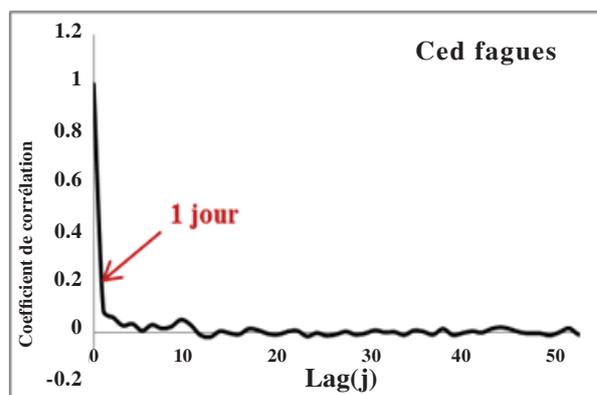
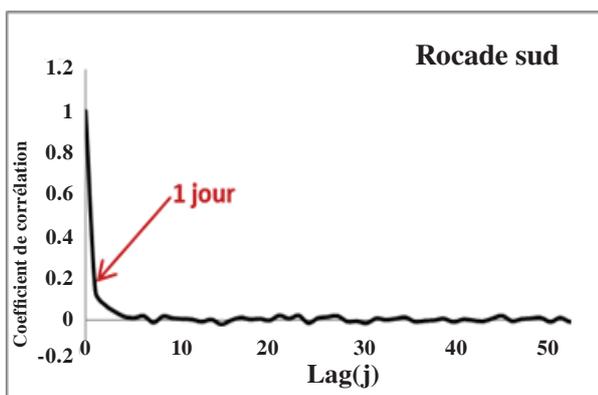
4. Résultats

4.1 Analyse simple des séries chronologiques des pluies et débits

Les analyses simples des chroniques pluies (Figure 5) et débits (Figure 6), montrent que les corrélogrammes sont

similaires entre les pluies et les débits, ils décroissent rapidement pour tous les bassins versants et la valeur de l'effet mémoire (valeur de décalage $r_k = 0.2$) atteinte 1 jour pour tous les corrélogrammes des pluies, et entre 1 jour et 5 jours pour les corrélogrammes des débits (1 jour pour le bassin de Lougmane, 2 jours pour le bassin de L'ham, et 5 jours pour bassin de Soubella), ces résultats montrent un fonctionnement stochastique des bassins versants.

La valeur de l'effet mémoire a été employée pour une première approche de propriété de filtrage des bassins. Selon Mangin [1984] les effets mémoire les plus élevés pourrai en être associés au stockage du système souterrain. Ce qui a été observé dans le bassin de Soubella qui est caractérisé par un effet mémoire le plus élevé par rapportaux autres bassins, ceci confirme la présence d'importants aquifères dans ce bassin. Le contraire a été observé dans les autres bassins qui s'expliquent par les nuances des paramètres géologiques et morphologiques et de l'occupation du sol analysé précédemment. Le bassin de Soubella se caractérise par la prédominance des terrains perméables qui facilitent l'infiltration des eaux et un dense couvert végétal qui joue un rôle tampon. Par contre les bassins de L'ham et Lougmane se caractérisent par des surfaces dénudées et la prédominance des formations peu perméables qui limitent le stockage des eaux.



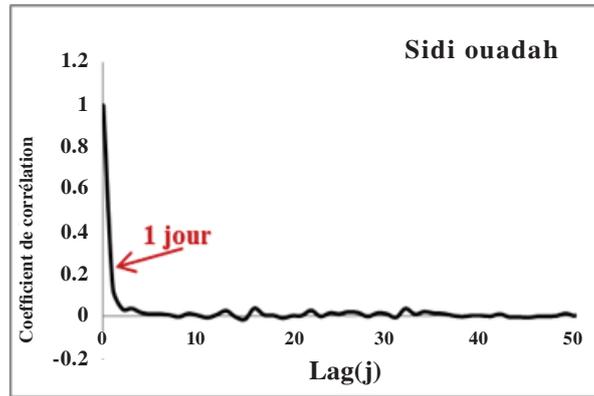


Fig. 5 Les auto corrélogrammes simples obtenus pour les pluies des bassins versant L'ham, Lougmane, Soubella ; (zoom sur les corrélogrammes avec lag de 50 jours).

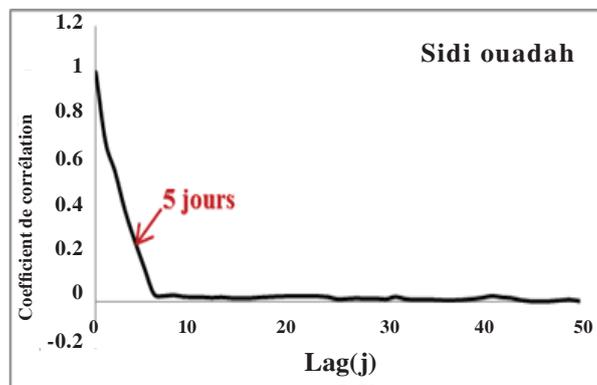
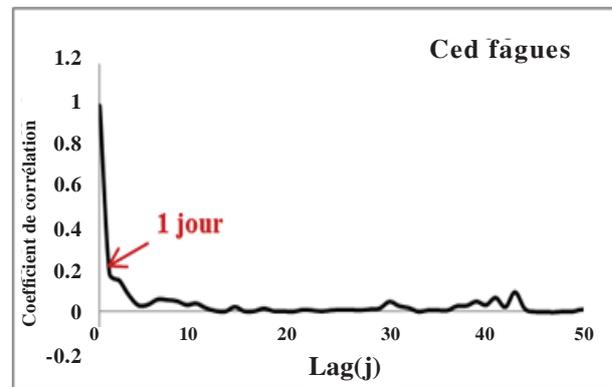
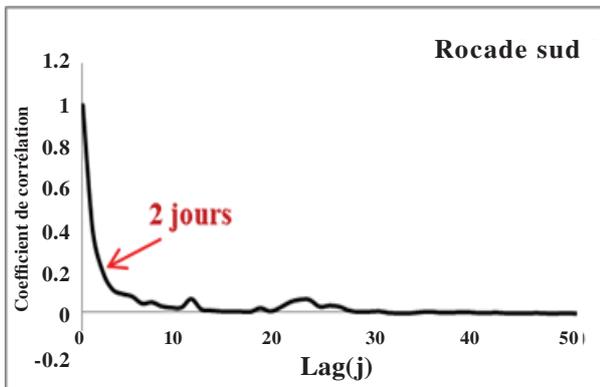


Fig. 6 Les auto corrélogrammes simples obtenus pour les débits des bassins versant L'ham, Lougmane, Soubella ; (zoom sur les corrélogrammes avec lag de 50 jours).

4.1 Analyse croisée des séries des pluies et débits

L'analyse de la fonction d'intercorrélation pluie-débit pour les bassins versants permet de quantifier la réactivité d'un bassin versant à une sollicitation pluviométrique, et cette réactivité est définie par le calcul de la valeur de la réponse impulsionnelle qui est la valeur du (lag) pour le pic de la corrélation des chroniques pluies et débits des bassins versants.

Dans notre cas d'étude (Figure 7) nous avons enregistré des valeurs de la réponse impulsionnelle qui varie de la valeur <1

jour pour les bassins de Lougmane et Soubella et 2 jours pour le bassin de L'hamen raison de son aire étendue (5600 km²). Le pic de corrélation se trouve dans la partie positive du spectre, cela montre la causalité en pluie et le débit des rivières, la pluie va influencer le débit avec un décalage dans le temps [Mesquita, 2009].

Les coefficients de corrélations $r(k)$ sont faibles : 0.23 pour le bassin L'ham, 0.29 pour Lougmanet enfin (0.16) pour le

bassin de Soubella. En effet les chroniques sont longues (duré de 19 ans), ce qui fait que l'échantillonnage au pas de temps journalier va beaucoup bruite le signal et peut diminuer l'intensité de la corrélation sur le long terme [Mesquita,2009].

Ces résultats montrent que la réactivité des bassins à une sollicitation pluviométrique est très rapide, elle est de l'ordre de quelques heures à une journée, vu que les données utilisées sont journalières. Ces bassins versants ne retiennent pas l'information pluviométrique, l'écoulement devient directement en relation avec les averses et leur intensité, ce qui montre que ces bassins ont donc un fonctionnement torrentiel. Ceci est lié aux facteurs géomorphologiques, lithologiques, topographiques et occupations du sol de ces bassins. Les bassins versants de Lougmane et L'hamprédominent par des surfaces

ruisselantes importantes (sol nu et les cultures), des fortes pentes et des formations peu perméables qui facilitent le ruissèlement et la réactivité de ces bassins.

La réactivité du bassin Soubella est moins rapide que les autres bassins, malgré sa surface réduite (192 km²) mais sa réactivité est de l'ordre d'une journée comme le cas du bassin du Lougmane (335 km²), ceci s'explique par la structure du bassin du Soubella (prédominance des surfaces non ruisselantes importantes (forêts et reboisement) et des formations perméables) qui joue un rôle important ; elle lamine les crues et assure un débit tout au long de l'année à cause de son alimentation souterraine comme c'est montré dans les résultats des corrélogrammes simples des débits.

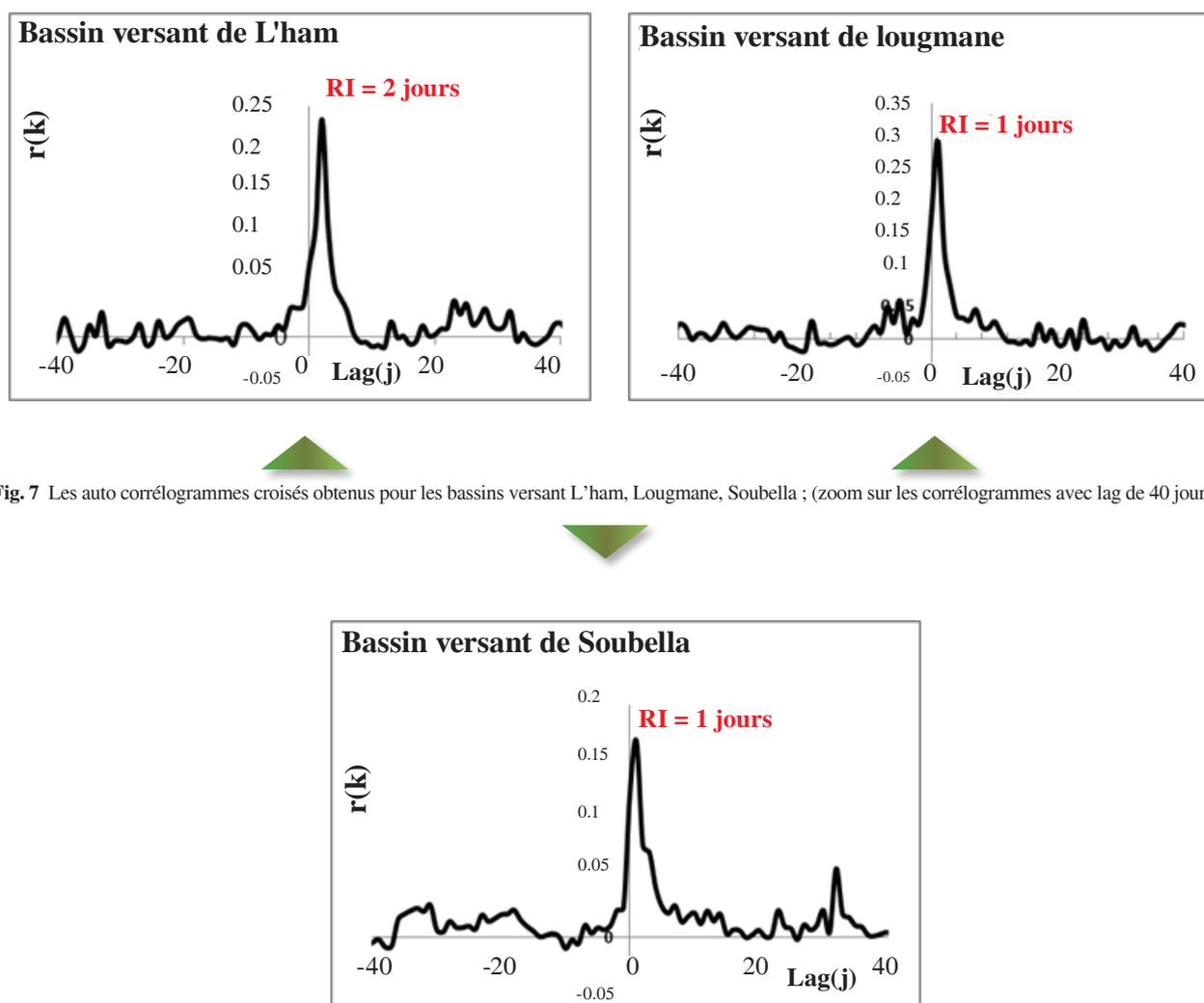


Fig. 7 Les auto corrélogrammes croisés obtenus pour les bassins versant L'ham, Lougmane, Soubella ; (zoom sur les corrélogrammes avec lag de 40 jours)

5. Discussion

Les résultats obtenus d'après les analyses corrélatoires des séries des pluies et des débits montrent que les corrélogrammes simples (pluies-débits) décroissent rapidement, les corrélogrammes des débits ressemblent, généralement, à ceux des séries stochastiques comme les pluies, témoignant d'un régime climatique semi-aride caractérisé par des pluies irrégulières. Cependant, dans le bassin de Soubella, le corrélogramme des débits décroît lentement par rapport aux autres corrélogrammes et ceci est lié à la différenciation des caractéristiques de ces systèmes hydrologiques ; le bassin de Soubella se caractérise par des réserves souterraines importantes. Le même résultat a été démontré par Bouanani, [2005] dans les bassins de Moulih et Isser (nord-ouest algérien) qui présentent un effet mémoire important. C'est aussi le cas dans les systèmes pyrénéens où la valeur des effets mémoire atteint 4, 5 et 60 jours ce qui implique que le déstockage de ces systèmes apparaît plus tard [Mangin, 1984]. C'est le même cas dans les bassins de la Haute-Normandie étudié par Slimani [2005, 2009] et Mesquita [2009]. Les résultats des corrélogrammes simples des débits des bassins de L'ham et Lougmane ont été observés dans le bassin de Sebdu (Nord-ouest algérien) avec un corrélogramme des débits qui décroît rapidement et sans mémoire [Bouanani, 2005], et au Maroc dans Tadla par Hsissou [1991] et dans le Moyen Atlas d'Oum Er Bia [Khalil, 2002]. Quant à la réponse des différents systèmes aux pluies, l'analyse croisée des séries chronologiques des débits et des pluies correspond aux valeurs du temps de concentration (tableau 1) qui ont été évaluées en heures et en fonction des paramètres physiques du bassin versant (longueur du drain principale, surface et les attitudes). Ce qui a été confirmé par les résultats obtenus dans la réactivité des bassins à une sollicitation pluviométrique. Ces derniers montrent que le bassin de Soubella ne réagit pas de la même façon que les autres bassins, en effet l'oued Soubella présente un système bien drainé et une réactivité moins importante que les deux autres bassins des oueds L'ham et Lougmane qui se caractérisent par des systèmes assez semblables sur le plan géologique (faible perméabilité) et qui implique l'absence des réserves souterraines dans ces bassins. La réponse de ces derniers au signal d'entrée pluies est très rapide. Le même résultat a été observé dans le bassin d'Austreberthe en France avec une valeur de la réponse impulsionnelle de 1 jour étudié par Mesquita [2009].

6. Conclusion

Les analyses corrélatoires utilisées dans cette étude nous ont permis d'obtenir des informations sur la réactivité d'un bassin versant, à partir des trois exemples des bassins versants de la région semi-arides en Algérie. Les résultats obtenus montrent bien la présence ou bien l'absence de stockage des eaux dans ces systèmes et les nuances entre la réponse hydrologique de ces bassins.

Ces analyses permettent de définir un comportement qui a une forte réactivité aux précipitations mais d'une façon différente entre les bassins ; le bassin de Soubella a une réponse moins rapide que les autres bassins qu'on peut expliquer par l'action des caractéristiques des facteurs conditionnels de l'écoulement (morphologie, lithologie, topographie et couvert végétal) qui peuvent accélérer ou réduire les temps de réponse des bassins à l'excitation du signal pluie. Donc ces paramètres jouent un rôle important sur la réponse hydrologique des bassins versants.

Le bassin versant de Soubella est influencé par la lithologie qui est de nature perméable et des surfaces non ruisselantes importantes. Les autres bassins des oueds, L'ham et Lougmane sont influencés par la pente, la lithologie qui est de nature imperméable, des formations dénudées importantes et par la surface qui semblent les paramètres les plus importants dans la réactivité à la pluie. Pour confirmer nos résultats il est nécessaire de poursuivre ce type d'approche avec l'analyse des composantes principale (ACP), mais sur un nombre plus important de bassins versants et également sur des chroniques de mesure plus longue et plus précise (mesure inférieure à un jour).

Références bibliographiques

- Abdesalem M., 1995. Structure et fonctionnement d'un karst de montagne sous climat méditerranéen, exemple de Djurdjura occidentale (Grand Kabylie, Algérie). Université Franche comté, Besançon.
- Bailly D., 2009. Vers une modélisation des écoulements dans les massifs très fissurés de type karst : thèse de doctorat, l'Institut National Polytechnique de Toulouse (France).
- Bouhaddioui C., Roy R., 2005. On the distribution of the residual cross-correlations of infinite order vector autoregressive series and applications. Montréal. *Revue Statistics & Probability Letters*.
- Bouanani A, Baba, Hamed K, Mania J, Bensalah M., 2005. Comportement d'un système hydrologique en climat méditerranéen par analyse corrélatoire et spectrale des débits et des pluies, cas d'étude de trois sous bassins sud méditerranéen (oued Sebdu, Moulah, Isser Tafna NW Algérie), *revues des sciences de l'eau, Rev. Sci. Eau* 18/2 (2005) 215-224.
- Capurro A, Maltaa CP, Diambra L, Contrer P, Migliaroc ER., 2005. Cross correlation of heartbeat and respiration rhythms, *Physica A* 356 (2005) 37-42.
- Dooge J.C.I., 1959. A general theory of unit hydrograph. *Geophys. Res.*, 64(2) : 241-256.
- Jacquet J., 1971. Aspects généraux de la représentation mathématique des phénomènes en hydrologie de surface. *Hoille lance*, 2: 105-110.

- Jakson R.E., Gilliland, J.A et Adamowsky, K., 1973. Time series analysis of the hydrologic regime of a groundwater discharge area. *Water Resour. Res.*, 9(5): 1411-1419.
- Hasbaia M, Hedjazi A & Benayada L, 2012. Variabilité de l'érosion hydrique dans le bassin du Hodna: cas du sous bassin versant de l'oued L'ham. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* (2012) 1:28-32.
- Hurst H.E., 1951. Long term storage capacity of reservoirs. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, 16: 970-808.
- Hasissou Y, 1991. L'aquifère des calcaires turoniens (bassin de Tadla, Maroc). Alimentations locales et lointaines à partir de l'Atlas. Th. Univ. Franche-Comté, Besançon.
- Giret A., 1986. Deux bassins versants en Touraine- Choisille et Brenne - Etude comparée. *Norois*, t.33, N° 131, Poitiers, Juillet-Septembre.
- Khalil N., 2002. Démarche méthodologique pour une meilleure connaissance de l'hydrologie et de la géochimie des aquifères de moyenne montagne: cas du haut bassin d'Oum Er Bia (Moyen Atlas, Maroc). Th. Doc. Etat. Univ. Cadi Ayad, Marrakech.
- Larocque M, Mangin A, Razack M, Banton O., 1997. Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France), *Journal of Hydrology* 205 (1998) 217-231.
- Mangina., 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*.
- Mathevet T., 2002. Analyse du fonctionnement du système karstique de Bange-L'eau-Morte (Bauges, Savoie & Haute-Savoie, France). Orléans France.
- 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).
- Nash J.E., 1959. Systematic determination of unit hydrograph parameters. *J. Geophys. Res.*, 64:111-145.
- Padilla A., Pulido-Bosch, A., 1995. Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis. *Journal of Hydrology* 168:73-89.
- 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 Ibnouzhir d'Agadir.
- Richardson C.W., 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.
- 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 université de Rouen (France).
- Valdès D., 2005. Variabilité spatiale du fonctionnement hydrologique de l'aquifère karstique de la craie (département de l'Eure, France). Université de Rouen, Rouen.
- Wallis J.R., 1972. Best one step ahead prediction in hydrology. *Water resour. Res.*, 8(2) : 529.
- Yuan J., Mills K., 2004. A cross-correlation-based method for spatial-temporal traffic analysis. *China, Performance Evaluation* 61 (2005) 163-180.