

# Variabilité climatique et détection de tendance dans la relation pluie-débit pour l'évaluation des risques de sécheresse dans le bassin de l'oued Ouahrane (Algérie)

■ Y. ELMEDDAHI<sup>1,2</sup>, M. REMAOUN<sup>1</sup>, S. ABAIDIA<sup>1</sup>, A. ISSAADI<sup>3</sup>

Mots-clés : variabilité climatique, sécheresse, modélisation pluie-débit, matrice de simulations croisées, bassin de l'oued Ouahrane

Keywords: climate variability, drought, rainfall-runoff modeling, matrix cross simulations, basin of Ouahrane Wadi

## Introduction

Dans les régions arides à semi-arides, la pluviométrie constitue un facteur déterminant de la caractérisation climatique. L'étude de l'évolution et de la variabilité récente du climat, nécessaire pour une meilleure gestion des ressources en eau, s'affirme comme un outil incontournable pour la recherche de solutions générales optimales aux problèmes qui résultent du rapport entre les besoins en eau et les disponibilités offertes par la nature.

L'Algérie compte parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque mondiale à 1 000 m<sup>3</sup> par habitant et par an [ELMEDDAHI *et al.*, 2015]. Cette situation liée à la faiblesse de la ressource est aggravée par une succession de périodes persistantes de la sécheresse dont le pays a souffert au cours des trois dernières décennies comme d'autres pays méditerranéens [BAHIR *et al.*, 2002 ; VICENTE-SERRANO, 2006]. Cette situation de pénurie de la ressource en eau et ses contraintes ont souvent été appréhendées en matière de réalisation

des infrastructures de mobilisation. Malgré les efforts considérables fournis et l'importance des investissements consentis, cette approche s'est révélée insuffisante, dans la mesure où elle n'a pas permis une bonne satisfaction des besoins, la qualité de l'offre reste conditionnelle et insuffisante. Ce problème de l'offre est dû à plusieurs facteurs, dont les potentiels hydriques du pays qui sont limités et affectés par la variabilité climatique.

L'Algérie a connu une diminution de la moyenne annuelle des précipitations depuis les années 1970 [MEDDI *et MEDDI*, 2007 ; ELMEDDAHI *et al.*, 2014]. La diminution des précipitations se poursuivra au cours du prochain siècle [MATE, 2001, 2010 ; GIORGI *et LIONELLO*, 2008 ; TRAMBLAY *et al.*, 2012].

Les potentialités en eau souterraine ou leur disponibilité étant intimement liées aux fluctuations pluviométriques ont subi tout comme les eaux superficielles un impact négatif et des baisses significatives des niveaux piézométriques ont été observées [ACHOUR *et al.*, 1998 ; ELMEDDAHI *et al.*, 2014]. La diminution des ressources en eau superficielle a conduit à la surexploitation des eaux souterraines disponibles pour satisfaire les différents besoins.

L'objectif mené dans cette étude est d'analyser la variabilité temporelle hydrométéorologique et de détecter les tendances dans la relation pluie-débit à

<sup>1</sup> Faculté de génie civil et d'architecture – Université Hassiba Ben Bouali – Chlef – Algérie.

<sup>2</sup> Faculté des sciences et sciences appliquées – Université Oukli Mohand El Hadj – Bouira – Algérie.

<sup>3</sup> Faculté de science de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire – Université Houari Boumediene – Alger – Algérie.

partir d'une modélisation conceptuelle mensuelle dans le bassin de l'oued Ouahrane. La méthodologie a consisté d'abord à analyser la variabilité hydro-météorologique en s'appuyant sur des tests statistiques non paramétriques de détection de rupture au sein des séries pluviométriques et hydrométriques, ensuite à évaluer le modèle utilisé sur le bassin test à partir des critères de performance et de robustesse et, enfin, à appliquer la méthode des simulations croisées en utilisant le modèle conceptuel global GR2M.

Le choix de la zone d'étude est motivé par l'absence d'études spécifiques pour ce sous-bassin et l'absence des aménagements susceptibles de modifier le fonctionnement naturel des rivières. Le modèle pluie-débit utilisé ne prend pas en compte le fonctionnement des barrages.

## 1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de l'oued Ouahrane, petit affluent de l'oued Cheliff, est situé dans la partie nord du grand bassin du Cheliff au nord-ouest de l'Algérie (figure 1). Il se situe entre la longitude 1° et 1°3' E et entre la latitude 36° et 36°24' N. Ce bassin qui s'étend sur une superficie de 270,15 km<sup>2</sup> pour un périmètre de 88 km [BENKHALED, 2006; REMAOUN, 2007] présente une forme allongée (coefficient de compacité égale à 1,49). Il est contrôlé par trois postes pluviométriques et une station hydrométrique (figure 1), ce bassin est influencé par le climat méditerranéen semi-aride [GOMER, 1994] caractérisé par

des étés chauds et secs peu orageux et des hivers doux et humides avec une moyenne annuelle de température de 18,9 °C. La pluviométrie inter-annuelle est de l'ordre de 389 mm, sa distribution spatiale montre deux tranches pluviométriques entre deux secteurs distincts [BENKHALED et RIMINI, 2003] :

- le secteur d'Ouled Fares recevant moins de 400 mm de pluie, qui se situe au-dessous de 200 m. Il occupe près de 40 % de l'étendue du bassin ;
- le secteur de Bénairia situé à plus de 350 m d'altitude, où la moyenne pluviométrique annuelle varie entre 280 et 740 mm. Ce secteur occupe environ 60 % de l'étendue du bassin.

Le secteur d'étude est caractérisé par un substratum marneux imperméable couvrant 80 % de la surface du bassin, localisé au nord du bassin. Ces formations lithologiques favorisent le ruissellement. En revanche, dans le sud du bassin, les formations constituées de conglomérat et de sable rouge caractérisées par une perméabilité moyenne sont prédominantes. Du point de vue de l'occupation du sol, on note la prédominance des cultures céréalières et maraîchères.

## 2. Données et méthodes

### 2.1. Données

Les données traitées sont les totaux annuels et mensuels des précipitations et des débits obtenus auprès de l'Agence nationale des ressources hydriques (ANRH) et de l'Office national de la météorologie (ONM) (tableau 1). Par ailleurs, d'après l'historique de ces stations, il a été impossible de sélectionner une période commune assez longue relative à toutes les stations pluviométriques couvrant ce sous-bassin.

L'analyse statistique a été effectuée sur les données de deux stations, Bénairia et Ouled Fares, parce qu'elles présentent de longues séries d'observation et peu de lacunes. La moyenne interannuelle des totaux pluviométriques de ces deux stations varie respectivement de 506,3 mm à 377,7 mm avec un écart type qui s'échelonne entre 139,4 mm et 103,2 mm. La moyenne des variations interannuelles des lames d'eau écoulées sur une période de 37 ans (1971-2007) est de 26,1 mm. La moyenne est assez proche de la médiane (24,1 mm) et montre que la loi de distribution de la série est symétrique. Au cours de

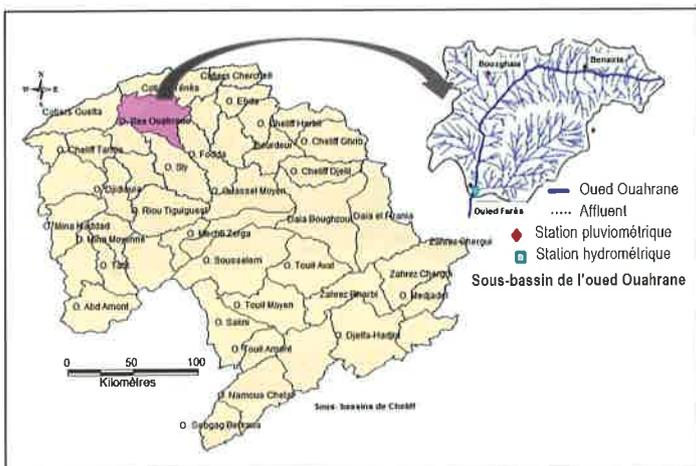


Figure 1. Situation du sous-bassin versant de l'oued Ouahrane

Code Station	Nom de la station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'observation	Paramètres
01 22 01	Ouled Fares	1° 24' E	36° 24' N	116	1968-2010	Précipitation
01 22 05	Bénairia	1° 35' E	36° 35' N	400	1968-2010	Précipitation
01 22 01	Ouled Fares	1° 24' E	36° 24' N	116	1971-2007	Débit

Tableau I. Caractéristiques des stations pluviométriques et hydrométriques de la zone d'étude

cette période, les lames d'eau écoulées enregistrent un maximum de 71,9 mm (1978) et un minimum de 4,5 mm (1984), avec un coefficient de variation qui dépasse 55 % qui reflète cette variabilité des débits.

## 2.2. Méthode

L'appréciation de la tendance et de la variabilité du régime pluviométrique et hydrologique est réalisée au moyen de l'indice du déficit hydrométéorologique, la pente de Sen, le test de Mann-Kendall et le test de Pettitt. Le modèle conceptuel GR2M a été utilisé pour détecter la tendance dans la relation pluie-débit.

### 2.2.1. Indice de déficit hydrométéorologique (indice de Nicholson)

La méthode de l'indice hydrométéorologique permet de dégager les grandes tendances dans les séries chronologiques et de mieux visualiser les périodes déficitaires et excédentaires à l'échelle annuelle [NICHOLSON *et al.*, 1988]. Cet indice se définit comme une variable centrée réduite selon la formule :

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad \text{Équation [1]}$$

Avec  $I_i$  : indice annuel de la variable hydrométéorologique ;  $X_i$  : module annuel de la variable enregistrée au cours de l'année  $i$  ;  $\bar{X}$  : moyenne interannuelle de la variable enregistrée sur la période d'étude ;  $\sigma$  : écart type de la variable enregistrée sur la période d'étude.

### 2.2.2. Détection de tendances et ruptures

#### 2.2.2.1. Test de Mann-Kendall

Le test non paramétrique de Mann-Kendall [MANN, 1945 ; KENDALL, 1975] a été utilisé pour déterminer les tendances monotones dans les séries hydrométéorologiques de distribution non normale [YUE *et al.*, 2002 ; HAMED, 2008]. Ce test est basé sur les rangs [HELSEL et HIRSCH, 2002]. La signification des tendances détectées a été obtenue à un niveau de signification de 5 % et 10 %. Avant la mise en œuvre

des tests de détection de tendances, l'autocorrélation des séries à analyser a été vérifiée à l'aide du test non paramétrique de Wald-Wolfowitz [WALD et WOLFOWITZ, 1943]. Selon HAMED [2008], la présence d'autocorrélation dans les séries peut induire des tendances artificielles (tendances non déterministes).

Ce test non paramétrique basé sur le rang est utilisé pour détecter d'éventuelles tendances dans les séries et pour mesurer le degré de signification de cette tendance.

Soit  $(X_1, \dots, X_n)$  un échantillon de valeurs indépendantes issu d'une variable aléatoire  $X$  dont on cherche à évaluer la stationnarité. L'hypothèse nulle  $H_0$  est l'hypothèse de stationnarité de la série (absence de tendance). L'hypothèse alternative  $H_1$  correspond à la non-stationnarité de la série. La statistique de Mann-Kendall  $S$  est définie comme suit :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(X_k - X_i) \quad \text{Équation [2]}$$

Avec :

$$\text{sgn}(X_k - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{si } (X_k - X_i) > 0 \\ 0 & \text{si } (X_k - X_i) = 0 \\ -1 & \text{si } (X_k - X_i) < 0 \end{cases}$$

Équation [3]

Où  $X_k$  et  $X_i$  sont les valeurs séquentielles des données et  $n$  la longueur de l'ensemble des données. La statistique du test est calculée en dénombrant, pour tous les couples  $(X_k, X_i)$   $k < i$ , le nombre de cas où la seconde valeur est supérieure à la première et le nombre de cas où la seconde est inférieure, puis en faisant la différence entre ces deux quantités. La présence d'une tendance statistiquement significative est évaluée en utilisant la valeur de  $Z$ .

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^K t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

Équation [4]

En présence de valeurs identiques dans la série, la variance de  $S$  peut être définie comme suit :

$$Z = \begin{cases} \frac{(S-1)}{\sqrt{Var(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{(S+1)}{\sqrt{Var(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases} \quad \text{Équation [5]}$$

Où  $t_i$  désigne le nombre d'égalités impliquant  $k$  valeurs. Une valeur positive (ou négative) de  $Z$  indique une tendance ascendante (ou descendante) et sa signification est comparée à la valeur critique  $\alpha$  ou seuil de signification du test.

#### 2.2.2.2. Estimateur de la pente médiane de Sen

Lorsque l'hypothèse d'aucune tendance n'est rejetée par le test de Mann-Kendall, la pente de Sen [SEN, 1968] est utilisée pour déterminer l'ampleur de la tendance linéaire. La pente est estimée pour  $N$  paires de données,  $Q$  avec :

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \quad \text{pour } i = 1, 2, \dots, k \quad \text{Équation [6]}$$

Où  $X_j$  et  $X_k$  sont les valeurs de données au moment  $j$  et  $k$ , respectivement, avec  $j > k$ . La médiane de ces valeurs de  $N$  estimations de la pente  $Q$  est l'estimateur de la pente de Sen.

#### 2.2.2.3. Test de rupture de Pettitt

Ce test sur les rangs (non paramétrique) est réputé pour sa robustesse [DOU *et al.*, 2009]. Il est dérivé du test de Mann-Whitney. L'absence d'une rupture dans la série chronologique ( $x_i$ ) de taille  $n$  constitue l'hypothèse nulle  $H_0$  qui permet de tester la signification des ruptures. La mise en œuvre du test suppose que, pour tout instant  $t$  variant de 1 à  $n$ , les séries ( $x_i$ ),  $i = 1$  à  $t$  et  $t+1$  à  $n$  appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable  $U_{t,n}$  définie par :

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n D_{i,j} \quad \text{Équation [7]}$$

$$D_{i,j} = \text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & \text{si } x_i > x_j \\ 0 & \text{si } x_i = x_j \\ -1 & \text{si } x_i < x_j \end{cases} \quad \text{Équation [8]}$$

PETTITT [1979] propose de tester l'hypothèse nulle en utilisant la statistique  $K_n$ , définie par le maximum en valeur absolue de  $U_{t,n}$  pour  $t$  variant de 1 à  $n-1$ .

À partir de la théorie des rangs, Pettitt montre que si  $k$  désigne la valeur de  $K_n$  prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur  $k$  est donnée approximativement par :

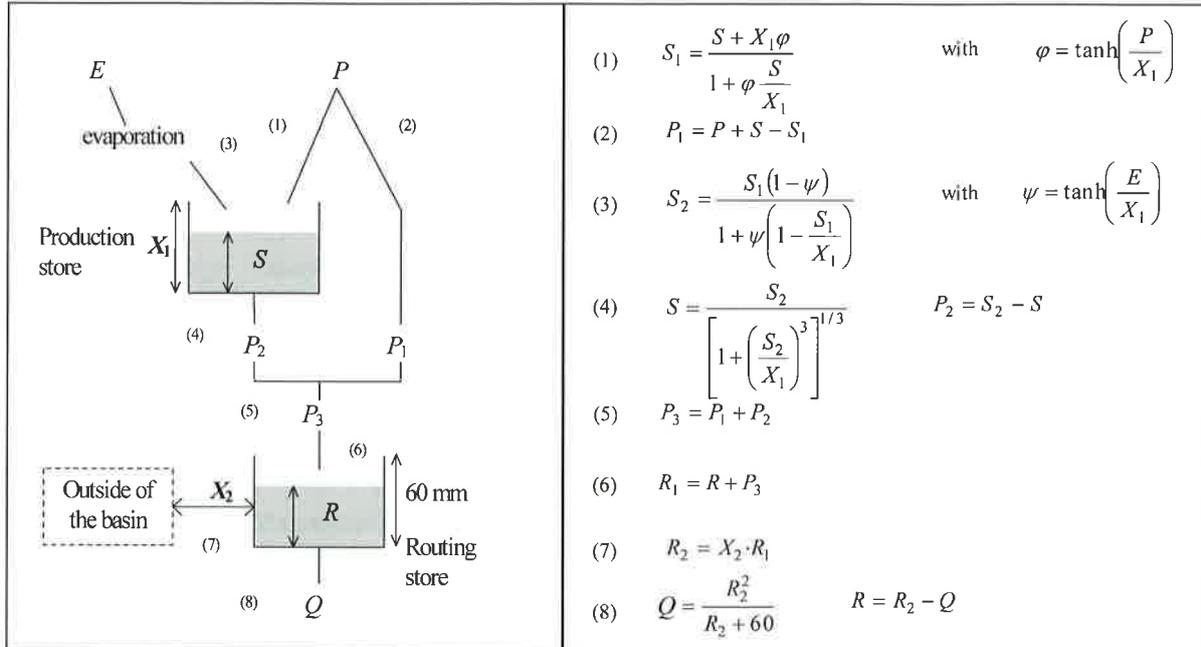
$$\text{Prob}(K_n > k) \approx 2 \exp\left[\frac{-6k^2}{(n^3 + n^2)}\right] \quad \text{Équation [9]}$$

Pour un risque  $\alpha$  de première espèce donnée, si la probabilité de dépassement estimée est inférieure à  $\alpha$ , l'hypothèse nulle est rejetée. La série comporte alors une rupture localisée au moment où est observé  $\max |U_{t,n}|_{t=1, \dots, n-1}$

#### 2.2.3. Modélisation hydrologique

Les modèles hydrologiques aussi nombreux que variés sont des outils indispensables de prévision et de gestion. Nous ne nous intéresserons pas aux multiples classifications qui existent, mais seulement aux modèles globaux de type conceptuels élaborés à partir d'équation de bilan. Ce choix repose en grande partie sur la disponibilité des données. L'objectif mené dans ce travail est de mettre en évidence les tendances sur la relation pluie-débit en utilisant le modèle hydrologique GR2M (génie rural à 2 paramètres au pas de temps mensuel). Ce dernier, qui est un modèle conceptuel et empirique global élaboré par MICHEL [1983] du Cemagref, a connu plusieurs versions, proposées successivement par KABOUYA et MICHEL [1991], MAKHLOUF et MICHEL [1994], et MOUELHI et coll. [2006] qui ont permis d'améliorer progressivement les performances du modèle. La version présentée ici est celle de MOUELHI et coll. [2006] qui nous paraît être la plus performante, elle a déjà été appliquée sur plusieurs bassins en Afrique [KOUAMÉ *et al.*, 2013] et en Algérie [MEDANE, 2012].

Le modèle GR2M (*figure 2*) est constitué d'un réservoir sol qui régit la fonction de production et qui est caractérisé par sa capacité maximale  $X_1$ , correspondant à la capacité de rétention en eau du sol et un réservoir de routage d'eau gravitaire qui régit la fonction de transfert caractérisée par un coefficient d'échange souterrain  $X_2$  ( $0 < X_2 < 1$ ). Les deux entrées pluie ( $P$ ) et évaporation potentielle ( $E$ ) qui sont calculées par la formule de Thornthwaite, sont modulées dans la même portion et fournissent en sortie les débits en millimètres.



Production store : réservoir de production (réservoir sol) ; Outside of the basin : fonction de transfert (paramètre d'échange souterrain) ; Routing store : réservoir de routage.

Figure 2. Schéma de la structure du modèle GR2M

Le critère d'optimisation utilisé dans le cadre de cette étude est le critère de Nash-Sutcliffe [NASH et SUTCLIFFE, 1970], qui s'exprime par l'équation suivante :

$$Nash = 100 \left[ 1 - \frac{\sum (Q_o^i - Q_c^i)^2}{\sum (Q_o^i - Q_m)^2} \right] \quad \text{Équation [10]}$$

$Q_o^i$  : débit observé,  $Q_c^i$  : débit calculé, et  $Q_m$  : débit moyen observé.

### 2.2.4. Approche des simulations croisées : étude de tendance dans la relation pluie-débit

L'approche des simulations croisées proposée par ANDRÉASSIAN [2002] et ANDRÉASSIAN et coll. [2003] est réputée pour sa robustesse [KOUASSI, 2007]. Le principe de la méthode consiste à diviser la série en  $n$  périodes successives de longueurs égales, qui doit permettre le calage du modèle afin de caractériser le comportement hydrologique du modèle sur la période de calage ( $n$  sous-périodes). Avant d'effectuer toute interprétation de l'information acquise, on transforme les valeurs par un signe, traduisant une évolution croissante ou décroissante de la variable hydrologique considérée dans le temps. Dans notre cas, la variable cible est le débit mensuel transformé en lame d'eau écoulée (mm).

On prend comme référence la valeur trouvée sur la matrice diagonale ( $Q_{i,i}$  est la référence la plus logique pour la comparaison). Ainsi, dans le cas d'une tendance apparemment positive, nous remplaçons  $Q_{i,j}$  avec un signe (+). Cela se produit pour  $j < i$ , si  $Q_{i,j} < Q_{i,i}$ ; et  $j > i$ , si  $Q_{i,j} > Q_{i,i}$ . Dans le cas d'une tendance apparemment négative, nous remplaçons  $Q_{i,j}$  avec un signe (-). Cela se produit pour  $j < i$ , si  $Q_{i,j} > Q_{i,i}$ ; et  $j > i$ , si  $Q_{i,j} < Q_{i,i}$ . Si  $Q_{i,j} = Q_{i,i}$ , nous remplaçons  $Q_{i,j}$  avec un chiffre 0.

Le recodage du débit simulé en signes constitue une bonne base pour l'interprétation. Si les (+) sont majoritaires, cela signifie que la variable hydrologique simulée dans la matrice a une tendance croissante dans le temps. Si les (-) sont majoritaires, l'inverse est vrai [ANDRÉASSIAN, 2002; ANDRÉASSIAN et al., 2003; KOUASSI et al., 2012; KOUAMÉ et al., 2013].

## 3. résultats et discussion

### 3.1. Résultats

#### 3.1.1. Variabilité hydro-pluviométrique par l'indice de Nicholson

Un caractère excédentaire des pluies est observé jusqu'à la fin des années 1970 et début des années 1980 dans la station d'Ouled Fares. Cependant, des épisodes à la baisse sont enregistrés durant cette

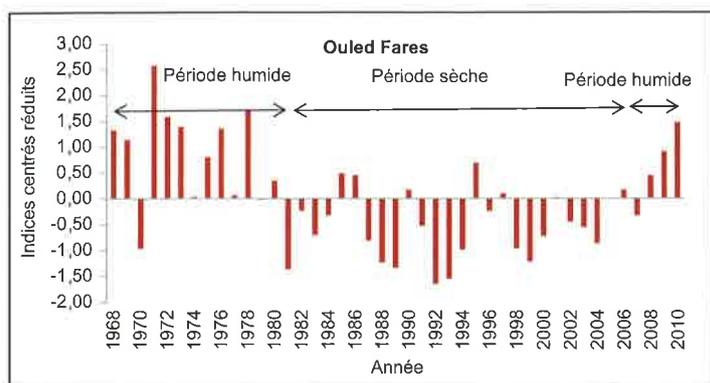


Figure 3. Évolution interannuelle des indices centrés réduits des hauteurs pluviométriques de la station d'Ouled Fares (1968-2010)

période et ne dépassent pas une année (années : 1970 et 1979). À partir des années 1980 jusqu'à 2010, cette région a connu l'une des périodes les plus déficitaires en intensité et en persistance (figure 3).

Dans la station de Bénairia, on observe une succession d'années humides et sèches durant la période allant de 1968 à 1980. Une longue période déficitaire s'étale de 1981 à 2004 avec quelques phases humides. Le taux de réduction du total pluviométrique a atteint 45 % en enregistrant une valeur minimale qui ne dépasse pas 280 mm en 1990. Les périodes excédentaires sont observées de 1968 à 1980 et de 2005 à 2010 avec une moyenne pluviométrique de 567,2 mm pour la première période et 604 mm durant la seconde période (figure 4).

La variabilité interannuelle des lames d'eau écoulées du bassin d'Ouled Fares, à travers l'évolution des indices centrés réduits (figure 5), permet de distinguer deux périodes humides, la première s'étale de 1971 à 1980 et la deuxième, très courte, intéresse les années 1986 et 1987. Une succession d'années sèches

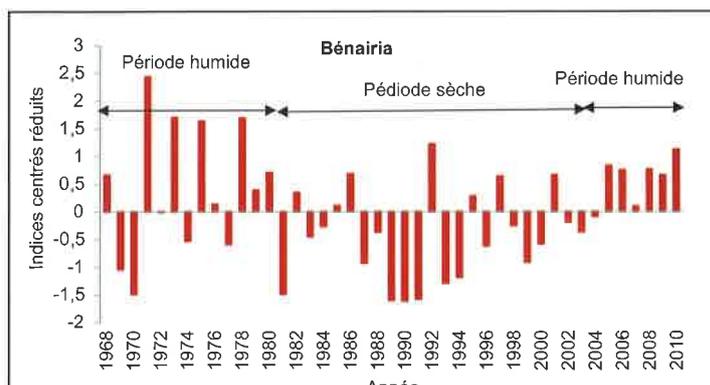


Figure 4. Évolution interannuelle des indices centrés réduits des hauteurs pluviométriques de la station Bénairia (1968-2010)

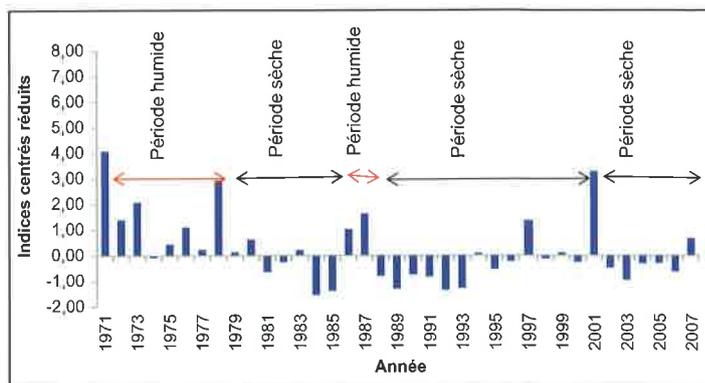


Figure 5. Évolution interannuelle des indices centrés réduits des lames d'eau écoulées à la station d'Ouled Fares (1971-2007)

est constatée en enregistrant une période déficitaire intercalée d'une ou de deux années excédentaires observée durant la période 1981 à 1985. Une nette période déficitaire de 1988 à 2007 correspondant à une période sèche marquée par une forte baisse des écoulements, notamment dans les années 1992 et 1993 (7,33 mm). Néanmoins, durant cette période, on a enregistré un débit moyen maximal exceptionnel de 122,60 m<sup>3</sup>/s au mois de novembre 2001.

### 3.1.2. Détection des tendances et ruptures dans la série pluviométrique

L'application du test Mann-Kendall révèle une distribution pluviométrique annuelle avec une tendance à la baisse dans la station d'Ouled Fares (tableau II). La pente de Sen à seuil 0,05 de signification reflète l'amplitude de cette tendance. La diminution de la pluviométrie annuelle est estimée à 2,86 mm/an. Pour mieux visualiser la contribution des saisons spécifiques au total annuel, nous avons fait une analyse saisonnière. Les totaux pluviométriques saisonniers ont subi une baisse moyenne de 1,39 mm/an et 1,30 mm/an en hiver et au printemps respectivement (tableau II).

La probabilité associée à la statistique du test de Pettitt confirme l'apparition d'une rupture significative dans la station d'Ouled Fares (tableau III). Cette rupture est décelée au début des années 1980 pour les totaux pluviométriques annuels et au printemps. Les apports pluvieux annuels diminuent de 467,3 mm à 338,9 mm, soit une différence de 128,4 mm (-28 %), elle est de l'ordre de 36 % au printemps où les totaux pluviométriques passent de 145,6 mm à 93,7 mm, soit une diminution de

	Saison	Test de Mann-Kendall		Test de Pettitt				Pente de Sen (mm/an)
		U (t)	Seuil de signification	Rupture la plus significative	Avant la rupture (mm)	Après la rupture (mm)	Déficit (%)	
Précipitation (mm) (1968-2010)	Automne	0,08	–	–	–	–	–	–0,1
	Hiver	–1,36	–	1986	192,03	132,42	–31	–1,36
	Printemps	–1,82	10 %	1980	145,6	93,7	36	–1,25
	Été	–0,2	–	–	–	–	–	–0,04
	Annuelle	–1,76	10 %	1980	467,3	338,9	28	–2,86

Tableau II. Tests statistiques de Mann-Kendall, Pettitt et la pente de Sen pour la station pluviométrique d'Ouled Fares

51,9 mm. La rupture a été identifiée en 1986 pour la saison hivernale provoquant un déficit de –31 % à la suite d'un écart de –59,6 mm enregistré entre la période avant et après la rupture (tableau II). Ces résultats confirment ceux obtenus par la méthode des indices centrés réduits (indice de Nicholson). La rupture n'a pas été signalée durant cette période d'étude pour deux saisons (automne et été).

Pour la station de Bénairia, la recherche de tendance sur les précipitations annuelles suggère une tendance à la diminution au cours de la période étudiée (1968-2010). Mais aucun test de Pettitt ou de Mann-Kendall ne confirme l'existence d'une date de rupture ou une tendance significative, soit à l'échelle annuelle ou saisonnière.

Cependant, les résultats des deux tests (Mann-Kendall et Pettitt) appliqués à la série des précipitations ont révélé une tendance à la baisse, ce qui est

cohérent avec les résultats obtenus dans les études antérieures au nord de l'Algérie [ANRH-GTZ, 2004 ; MEDDI et MEDDI, 2007 ; HAMLAOUI-MOULAI et al., 2013].

### 3.1.3. Détection des tendances et ruptures dans la série hydrométrique

Les résultats d'applications des deux tests à un seuil de significations de 5 %, 10 % et l'estimation de déficit d'écoulement sont reportés dans le tableau III.

Les mêmes constats pour les tendances significatives ont été observés à l'échelle annuelle et saisonnière en appliquant le test de Mann-Kendall. En enregistrant des tendances significatives à la baisse observée sur la lame d'eau écoulée annuelle et saisonnière (2,34 et 2,89 respectivement), cette diminution a eu une valeur de pente décroissante qui ne dépasse pas 0,76 mm/an.

	Saison	Test de Mann-Kendall		Test de Pettitt				Pente de Sen (mm/an)
		U (t)	Seuil de signification	Rupture la plus significative	Avant la rupture (mm)	Après la rupture (mm)	Déficit (%)	
Lame d'eau écoulée (mm) (1971-2007)	Automne	0,76	–	–	–	–	–	–0,03
	Hiver	–1,80	10 %	1981	21,0	11,9	–43	–0,35
	Printemps	–1,97	5 %, 10%	1980	19,0	12,1	36,4	–0,38
	Été	–2,89	5 %, 10%	1989	0,33	0,02	–94	–0,02
	Annuelle	–2,34	5 %, 10%	1980	47,1	25,1	–46,7	–0,76

Tableau III. Tests statistiques de Mann-Kendall, Pettitt et la pente de Sen pour la station hydrométrique d'Ouled Fares

Une diminution substantielle a été observée par l'application du test de Pettitt, en enregistrant un important écart entre la période avant et après la rupture. Cette rupture est détectée dans la série des lames d'eau annuelles en 1980, engendrant un déficit de -46,7 % avec un maximum de -94 % décelé en été. Les lames d'eau hivernales et printanières sont caractérisées par une diminution importante qui s'échelonne successivement entre 43 % et 36,4 %. Cette baisse significative est due probablement à la réduction des précipitations saisonnières constatées.

### 3.1.4. Évaluation du modèle GR2M

Les modèles conceptuels nécessitent une phase de spécification des paramètres pour laquelle il faut supposer qu'il n'y a pas eu de changement dans les caractéristiques hydrologiques ou physiographiques du bassin versant [DIELLO, 2007]. La rupture climatique constatée lors de l'analyse des données pluviométriques et hydrométriques a introduit une hétérogénéité dans les séries de données climatiques, et aussi une modification du fonctionnement hydrologique des bassins versants, le choix des périodes de

calage devient fondamental pour la spécification des paramètres du modèle. Nous avons défini des périodes de longueur de 5 ans dans les séries de débits du bassin versant. L'ajustement du modèle a été utilisé pour une période de calage puis validé sur les autres périodes et inversement. Les résultats sont reportés dans le *tableau IV* croisé, dans lequel on a en colonne les périodes de calage et en ligne les périodes de validation. Les meilleures valeurs du critère de Nash en calage et en validation sont en gras et les plus faibles valeurs sont soulignées.

Les valeurs de critère de Nash de calage sont de façon générale bonnes, la valeur maximale est 83,6 % et le minimum est de l'ordre de 23,4 %. Pour le Nash de validation, on a enregistré quelques valeurs exceptionnelles. Ces dernières concernent des périodes bien particulières, soit des années exceptionnellement sèches, soit des années exceptionnelles humides et qui sont plus difficilement reproductibles par le modèle calé sur des périodes au comportement proche de la moyenne.

L'objectif de cette procédure de calage-validation croisée du modèle est de choisir le jeu de paramètres

Période de calage	71-75	76-80	81-85	86-90	91-95	96-00	01-05			
X1	140,89	140,89	140,89	140,89	140,89	140,89	140,89			
X2	0,39	0,45	0,41	0,56	0,46	0,54	0,24			
Nash Calage %	81,4	<b>83,6</b>	72,2	72,4	82,2	79,4	<u>23,4</u>			
R <sup>2</sup> (%)	87	79	80,9	88	91	88	65			
								Max Nash	Moy Nash	Min Nash
Nash Valid. (71-75)		69,5	80,2	-32,1	64,9	-4,4	50,8	80,2	35,6	-4,4
Nash Valid. (76-80)	78,3		81,4	51,1	83,1	62	54,6	83,1	<b>71,2</b>	51,1
Nash Valid. (81-85)	70,5	67,6		-12,4	65,8	11,9	30,6	70,5	40,7	<u>-12,4</u>
Nash Valid. (86-90)	31,1	74,2	38,4		68,9	71,4	-2,3	74,2	56,8	31,1
Nash Valid. (91-95)	72,3	<b>84,3</b>	76,8	56,1		66,2	13,8	<b>84,3</b>	71,1	<b>56,1</b>
Nash Valid. (96-00)	54,1	74,7	59,9	78,4	71,7		11,6	78,4	67,8	54,1
Nash Valid. (01-05)	<u>-76</u>	39,7	10	14,6	-13	20		<u>-76</u>	<u>-33</u>	10
Max. Nash	78,3	<b>84,3</b>	81,4	78,4	83,1	71,4	<u>54,6</u>			
Moy. Nash	38,4	<b>68,3</b>	57,8	<u>26,0</u>	56,9	37,9	26,5			
Min. Nash	-76	<b>39,7</b>	10	-32,1	-13	-4,4	-2,3			

X1 : capacité maximale du réservoir de production (mm) ; X2 : coefficient d'échange souterrain, positif et adimensionnel ( $0 < X2 < 1$ ) ; R<sup>2</sup> : coefficient de corrélation.

Tableau IV. Résultats de calage et de validations croisées par périodes de 5 ans pour la station d'Ouled Fares

qui représente au mieux le fonctionnement du bassin versant, afin de l'utiliser pour la simulation des chroniques de débits.

Les paramètres calés sur la période 1976-1980 représentent, en moyenne, le mieux l'ensemble de la série. Les valeurs du critère de Nash-Sutcliffe obtenues sont supérieures à 60 % en calage (83,6 %) comme en validation en moyenne (74,1 %). La différence entre le critère de Nash en validation vis-à-vis du calage est en moyenne de 9,5 %, il définit le critère de robustesse du modèle qui est acceptable avec une valeur absolue inférieure à 10 %, cela traduit la robustesse du modèle GR2M sur le bassin versant de l'oued Ouahrane.

### 3.1.5. Application de GR2M et simulation des débits mensuels

Après le choix des paramètres, nous avons appliqué le modèle à l'ensemble de la série pour simuler les débits. La figure 6 correspond à l'hydrogramme observé et simulé. Elle montre que le modèle reproduit d'une manière satisfaisante la forme des hydrogrammes observés.

Les débits de pointes calculés sont bien situés dans le temps, mais parfois sous-estimés ou surestimés, cependant l'écart demeure acceptable. En revanche, les étiages sont parfaitement reconstitués et on observe une bonne superposition des hydrogrammes des débits observés et calculés. Le modèle GR2M est donc performant et robuste sur la zone d'étude. De ce fait, il a été utilisé pour l'étude de la tendance dans la relation pluie-débit.

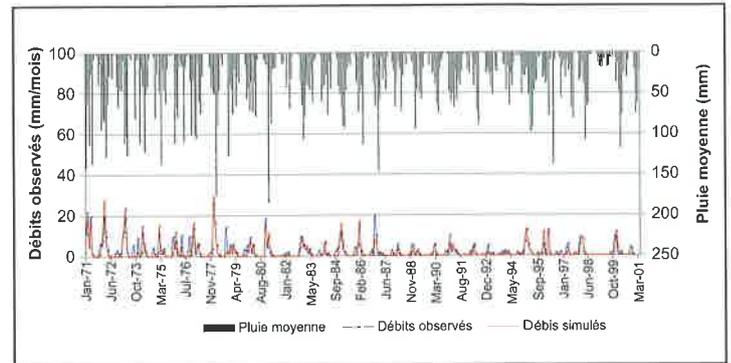


Figure 6. Débits observés et simulés à la station Ouled Fares

### 3.1.6. Étude de la tendance de la relation pluie-débit

La matrice des simulations croisées a été utilisée sur les lames d'eau moyennes annuelles écoulées simulées à partir du modèle GR2M sur les sous-périodes de 5 ans (tableau V).

Pour une analyse plus simple de cette matrice, chaque ligne de celle-ci a été normée par rapport à la valeur située sur la diagonale (qui représente la valeur proche de celle réellement observée).

La matrice de tendances normées a été transformée en matrice de signes. Les résultats de cette transformation sont consignés dans le tableau VI. Notant qu'il faut suivre le sens de l'évolution progressive dans le temps du débit moyen annuel, la moitié supérieure à la diagonale de la matrice normalisée a été considérée. Les gains et pertes y sont matérialisés respectivement par des signes « + » et des signes « - ». Un total de quatorze (14) signes négatifs contre sept (7) signes positifs indique une non-stationnarité dans le comportement hydrologique du bassin. La relation pluie-débits, manifestée par une tendance à la baisse,

	1971-1975	1976-1980	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005
1971-1975	40,2	25,63	14,8	10,92	9,55	12,09	27,82
1976-1980	53,01	<b>34,29</b>	20,79	14,93	13,07	16,27	37,02
1981-1985	45,4	28,87	<b>17,39</b>	12,34	10,88	13,58	30,74
1986-1990	80,82	53,82	33,55	<b>24,39</b>	21,32	25,78	57,46
1991-1995	55,31	35,87	21,81	18,3	<b>13,93</b>	17,04	38,68
1996-2000	75,35	49,91	30,97	22,45	19,64	<b>23,86</b>	53,39
2001-2005	20,31	14,52	7,49	6,53	5,1	7,28	<b>15,34</b>

Tableau V. Matrice de simulations croisées des lames d'eau écoulées (mm) (1971-2005)

	1971-1975	1976-1980	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005
1971-1975	0	-	-	-	-	-	-
1976-1980		0	-	-	-	-	+
1981-1985			0	-	-	-	+
1986-1990				0	-	+	+
1991-1995					0	+	+
1996-2000						0	+
2001-2005							0

Tableau VI. Matrice des signes (1971-2005)

indique qu'un changement général a affecté le bassin. Les résultats de la période 2001 à 2005 sont dus à la crue exceptionnelle de novembre 2001.

### 3.2. Discussion

Un caractère excédentaire des pluies jusqu'à la fin des années 1970 et le début des années 1980 a caractérisé la zone d'étude. Cependant, des épisodes à la baisse sont enregistrés durant cette période ne dépassant pas 3 années consécutives. À partir des années 1980 jusqu'à nos jours, cette région a connu l'une des périodes les plus déficitaires en intensité et en persistance.

L'application du test Mann-Kendall révèle que la pluviométrie annuelle présente une tendance à la baisse dans la station d'Ouled Fares. La rupture a été signalée en 1980 par le test de Pettitt. Ces résultats confirment les études antérieures dans les bassins versants du nord-ouest de l'Algérie [LABORDE, 1993 ; MEDDI et HUBERT, 2003 ; ANRH-GTZ, 2004 ; MEDDI et MEDDI, 2007 ; MEDDI, 2013] et, en particulier, dans le bassin du Cheliff [HAMLAOUI-MOULAI, 2013].

En revanche, le test ne détecte aucune modification dans la série pluviométrique de la station de Bénairia. Le test de Mann-Kendall a révélé une tendance à la baisse des débits moyens annuels et saisonniers depuis la fin des années 1970 à 1980 dans le sous-bassin étudié.

En effet, à un seuil de signification de 5 %, des tendances significatives à la baisse ont été constatées à l'échelle annuelle et saisonnière en appliquant le test de Mann-Kendall sur la lame d'eau écoulée. Ces tendances significatives (2,34 et 2,89) respectivement à l'échelle annuelle et saisonnière se traduisent par une valeur de pente décroissante qui ne dépasse

pas 0,76 mm/an. En conséquence, le caractère concordant des ruptures identifiées au sein des séries chronologiques de précipitations et de débits renforce la relation avérée qui existe entre la baisse de la pluviométrie et la diminution des écoulements de surface [KOUASSI *et al.*, 2011].

L'intensification de la sécheresse climatique au niveau du sous-bassin est exprimée par le déficit d'écoulements (-46,7 %) et le déficit pluviométrique (-28 %). Les valeurs du critère de Nash-Sutcliffe montrent que le modèle GR2M a été performant sur le sous-bassin de l'oued Ouahrane. En effet, les valeurs obtenues sont en majorité supérieures à 60 % en calage avec des valeurs maximales estimées à 83,6 % comme en validation 74,1 %. La dégradation enregistrée par le critère de Nash en validation vis-à-vis du calage, et qui définit le critère de robustesse du modèle, est acceptable. Elle est en moyenne de -9,5 % dont la valeur absolue est inférieure à 10 %, ce qui traduit la robustesse du modèle GR2M.

Les résultats de simulation obtenus avec le modèle GR2M sur le sous-bassin versant de l'oued Ouahrane sont satisfaisants et ont montré sa capacité à simuler les écoulements au niveau du sous-bassin versant. Les hydrogrammes obtenus sont également de bonne qualité dans l'ensemble. La dynamique des écoulements étant bien respectée. En général, les débits de pointe sont bien situés dans le temps, mais sous-estimés en phase de validation. Les étiages sont mieux reproduits que les pointes de crues.

Les résultats de l'analyse des matrices de simulations croisées issues du modèle ont permis de mettre en évidence une non-stationnarité de la relation pluie-débit au niveau du sous-bassin versant de l'oued Ouahrane au cours de la période 1971-2005, suggérant une tendance à la baisse des écoulements mensuels.

## Conclusion

L'analyse de la variabilité hydrométéorologique a permis de déterminer les principaux changements que le bassin versant de l'oued Ouahrane a pu subir. Généralement, on observe une diminution de la précipitation, une contraction de la saison des pluies et une occurrence plus grande des sécheresses dans les dernières décennies. Ces analyses montrent que les déficits pluviométriques des trois dernières décennies ont été largement amplifiés dans les écoulements de l'oued Ouahrane. Il s'avère que, malgré la reprise des pluies pendant la décennie des années 2000, la période reste déficitaire et la sécheresse semble donc s'étaler dans la région. En outre, la variabilité des écoulements est amplifiée par rapport à celle des pluies en enregistrant, à l'échelle annuelle, une réduction de -46 % contre -28 % pour les précipitations. Ces réductions illustrent la forte sensibilité des systèmes hydrologiques au forçage pluviométrique, sans négliger l'effet d'autres facteurs des états de surface (couverture végétale, formation géologique, nature des sols, pratiques culturelles, diverses utilisations humaines) qui ont pu accentuer le déficit d'écoulement.

Pour détecter la tendance dans le comportement hydrologique du sous-bassin, une analyse de la relation pluie-débit a été effectuée à travers le modèle GR2M. L'étude de calages et validation croisés semble toutefois importante pour choisir le jeu de paramètres qui

représente au mieux le comportement hydrologique du bassin versant, afin notamment de l'utiliser pour la simulation des chroniques de débits. L'efficacité du modèle a simulé les écoulements moyens du sous-bassin de l'oued Ouahrane par l'analyse du critère de Nash appliqué aux écoulements qui donne des valeurs satisfaisantes (supérieures à 60 % pour la plupart). L'analyse des matrices de simulations croisées issues du modèle a permis de mettre en évidence une non-stationnarité de la relation pluie-débit au niveau du sous-bassin versant au cours de la période 1971-2005, attribuant une tendance à la baisse des écoulements mensuels, ce qui suggère que les sécheresses devraient substantiellement continuer dans notre zone d'étude.

La baisse très marquée de la pluviométrie observée dans cette région au cours des décennies 1980 à 2000 a eu des répercussions importantes, sur les plans hydrologiques et économiques. La pénurie des ressources en eau, la sécheresse, l'irrégularité de la répartition spatio-temporelle des pluies peuvent être génératrices de crises climatiques et économiques et très souvent aussi d'instabilité sociale. Sur ce plan, la région d'étude, qui a une économie fondée sur l'agriculture pluviale, apparaît comme une région particulièrement sensible. À partir de ces constats, il paraît donc nécessaire au gestionnaire de réfléchir pour mieux gérer une ressource hydrique sans cesse décroissante face à une demande sans cesse en augmentation.

## Bibliographie

ACHOUR F., BOUZELBOUDJEN M., PIEYNS S.A. (1998) : « Variabilité spatio-temporelle des ressources en eau en région semi-aride : application au bassin du Chelif, Algérie ». *I.A.H.S. Publ.* ; 252 : 225-34.

ANDRÉASSIAN V. (2002) : *Impact de l'évolution du couvert forestier sur le comportement hydrologique des bassins versants* [thèse]. Tome 1. Université Paris 6.

ANDRÉASSIAN V., PARENT E., MICHEL C. (2003) : « A distribution-free test to detect gradual changes in watershed behavior ». *Water Resources Research* ; 39 (9) : 1252-62.

ANRH-GTZ. (2004) : *Étude de synthèse sur les ressources en eaux de surface de l'Algérie du Nord* (Rapport d'étude). Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH).

BAHIR M., MENNANI A., JALAL M., FAKIR Y. (2002) : « Impact de la sécheresse sur les potentialités hydriques de la nappe alimentant en eau potable la ville d'Essaouira (Mogador, Maroc) ». *Sécheresse* ; 13(1) : 13-9.

BENKHALED A., REMINI B. (2003) : « Variabilité temporelle de la concentration en sédiments et phénomène d'hystérésis dans le bassin de l'oued Wahrane (Algérie) ». *Hydrological Sciences/Journal des Sciences Hydrologiques* ; 48(2) : 243-55.

BENKHALED A. (2006) : *Contribution à l'étude du transport solide en suspension – Bassin d'oued Ouahrane, bassin hydrographique Chélif-Zahraz* [thèse]. Université d'Oran, Algérie.

DIELLO P. (2007) : *Interrelations Climat – Homme – Environnement dans le Sahel Burkinaabé : impacts sur les états de surface et la modélisation hydrologique* [thèse]. Université Montpellier II.

DOU L., HUANG M.B., HONG Y. (2009) : « Statistical assessment of the impact of conservation measures on stream-flow responses in a watershed of the Loess Plateau, China ». *Water Resources Management* ; 23 (10) : 1935-49.

- ELMEDDAHI Y., ISSAADI A., MAHMOUDI H., TAHAR ABBES M., GOOSSEN M.F.A. (2014) : « Effect of climate change on water resources of the Algerian Middle Cheliff basin ». *Desalination and Water Treatment*; 52 (9-12) : 2073-81.
- ELMEDDAHI Y., MAHMOUDI H., ISSAADI A., GOOSSEN M.F.A. (2015) : « Analysis of treated wastewater and feasibility for reuse in irrigation: a case study from Chlef, Algeria ». *Desalination and Water Treatment*, online. DOI : 10.1080/19443994.2015.1021999.
- GIORGI F., LIONELLO P. (2008) : « Climate change projections for the Mediterranean region ». *Global Planet Change*; 63 : 90-104.
- GOMER D. (1994) : *Écoulement et érosion dans des petits bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen* [thèse]. Université technique de Karlsruhe, Allemagne, 207 p.
- HAMED K.H. (2008) : « Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis ». *Journal of Hydrology*; 349(3-4) : 350-63.
- HAMLAOUI-MOULAI L., MESBAH M., SOUAG-GAMANE D., MEDJERAB A. (2013) : « Detecting hydro-climatic change using spatiotemporal analysis of rainfall time series in Western Algeria ». *Nat Hazards*; 65 : 1293-311.
- HELSEL D.R., HIRSCH R.M. (2002) : « Statistical methods in water resources », in : *Techniques of water resources investigations of the U.S. Geological Survey*, Book 4, Chapter A3, 510 p.
- KABOUYA M., MICHEL C. (1991) : « Estimation des ressources en eau superficielle aux pas de temps mensuel et annuel, application à un pays semi-aride ». *Revue des sciences de l'eau*; 4 (4) : 569-87.
- KENDALL M.G. (1975) : *Rank Correlation Methods*. 4th Edition, London, Charles Griffin., 202 p.
- KOUAMÉ K.F., KOUASSI A.M., N'GUESSAN BI T.M., KOUAO J.M., LASM T., SALEY M.B. (2013) : « Analyse de tendances dans la relation pluie-débit dans un contexte de changements climatiques : cas du bassin versant du N'ZO-Sassandra (Ouest de la Côte d'Ivoire) ». *International Journal of Innovation and Applied Studies*; 2 : 92-103.
- KOUASSI A.M. (2007) : *Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire* [thèse]. Université de Cocody, Abidjan.
- KOUASSI A.M., KOUAMÉ K.F., KOFFI Y.B., KOUAMÉ K.A., OULARÉ S., BIEMI J. (2011) : « Modélisation des débits mensuels par un modèle conceptuel : application à la caractérisation de la relation pluie-débit dans le bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire) ». *Journal Africain de Communication Scientifique et Technologique*; 11 : 1409-25.
- KOUASSI A.M., N'GUESSAN B.T.M., KOUAMÉ K.F., KOUAMÉ K.A., OKAINGNI J.C., BIEMI J. (2012) : « Application de la méthode des simulations croisées à l'analyse de tendances dans la relation pluie-débit à partir du modèle GR2M : cas du bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire) ». *Comptes Rendus Geoscience*; 344 (5) : 288-96.
- LABORDE J.P. (1993) : « Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle du 1/500 000, notice explicative ». *Projet PNUD/ALG/88/021*. Algee, Agence nationale des ressources hydrauliques.
- MAKHLOUF Z., MICHEL C. (1994) : « A two-parameter monthly water balance model for French watersheds ». *Journal of Hydrology*; 162 : 299-318.
- MANN H.B. (1945) : « Non-parametric Tests against Trend ». *Econometrica*; 13 : 245-59.
- MATE (2001) : « Élaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques ». *Projet ALG/98/G31*, 155 p.
- MATE (2010) : « Seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques à la CCNUCC », *GEF/PNUD 00039149*, 211 p.
- MEDANE K. (2012) : *Hydrologie et modélisation pluie-débit : cas du bassin versant de l'oued Boumessaoud (Tafna NW-Algérien)* [Mémoire [Magister]]. Université de Tlemcen, Algérie.
- MEDDI M., HUBERT P. (2003) : « Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord-ouest de l'Algérie ». *IAHS*; 278 : 229-35.
- MEDDI H., MEDDI M. (2007) : « Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du nord-ouest de l'Algérie ». *Geographia Technica*; 2 : 49-55.
- MEDDI H. (2013) : « Annual variability of precipitation of the North West of Algeria ». *APCBEE Procedia*; 5 : 373-7.
- MICHEL C. (1983) : « Que peut-on faire en hydrologie avec un modèle conceptuel à un seul paramètre ? ». *La Houille Blanche*; 1 : 39-44.
- MOUELHI S., MICHEL C., PERRIN C., ANDRÉASSIAN V. (2006) : « Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model ». *Journal of Hydrology*; 318(1-4) : 200-14, DOI : 10.1016/j.jhydrol.2005.06.014.
- NASH J.E., SUTCLIFFE J.V. (1970) : « River flow forecasting through conceptual models. Part I - A discussion of principles ». *Journal of Hydrology*; 27(3) : 282-90.
- NICHOLSON S.E., KIM J., HOOPINGARNER J. (1988) : *Atlas of African rainfall and its interannual variability*. Édité. Department of Meteorology, Florida State University, Tallahassee, Floride, États-Unis, 237 p.
- PETTITT A.N. (1979) : « A non-parametric approach to the change-point problem ». *Appl. Statist.*; 28, 2 : 126-35.
- REMAOUN M. (2007) : *Crues et sécheresse en Algérie - Cas du moyen Chélif* [thèse]. Université de Houari Boumediene, Algérie.
- SEN P.K. (1968) : « Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau ». *J. Am. Stat. Assoc.*; 63(324) : 1379-89.
- TRAMBLAY Y., BADI W., DRIOUECH F., EL ADLOUNI S., NEPPEL L., SERVAT E. (2012) : « Climate change impacts on extreme precipitation in Morocco ». *Global Planet Change*; 82-83 : 104-14.
- VICENTE-SERRANO S.M. (2006) : « Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910-2000) ». *Hydrological Sciences Journal*; 51(1) : 83-97.
- YUE S., PILON P., CAVADIAS G. (2002) : « Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series ». *Journal of Hydrology*; 259 (1-4) : 254-71.
- WALD A., WOLFOWITZ, J. (1943) : « An exact test for randomness in the non-parametric case based on serial correlation ». *Annual Mathematic of Statistic*; 14 : 378-88.

## Résumé

Y. ELMEDDAHI, M. REMAOUN, S. ABAIDIA, A. ISSAADI

### Variabilité climatique et détection de tendance dans la relation pluie-débit pour l'évaluation des risques de sécheresse dans le bassin de l'oued Ouahrane (Algérie)

Une bonne maîtrise de la gestion des ressources en eau dans une région caractérisée par la pénurie d'eau aggravée par la sécheresse, d'une part, et la croissance de la population, d'autre part, nécessite une meilleure compréhension de la relation entre la variabilité climatique et ses impacts sur la disponibilité de la ressource en eau. C'est dans cette optique qu'a été réalisée cette étude de caractérisation de la variabilité temporelle des séries hydrométéorologiques et d'identification des tendances dans la relation pluie-débit sur le bassin versant de l'oued Ouahrane, un sous-bassin du Cheliff, situé au nord-ouest de l'Algérie. L'utilisation des tests statistiques indique une

modification du régime des précipitations qui se traduit par une tendance à la baisse de l'ordre de 28 % dès la fin des années 1970 et une réduction des écoulements qui dépasse 46 % avec une rupture observée au début des années 1980. Le comportement hydrologique du sous-bassin de l'oued Ouahrane est apprécié à l'aide de l'analyse de la relation pluie-débit à travers l'utilisation du modèle GR2M. L'application des simulations croisées issues du modèle a permis de mettre en évidence une non-stationnarité de la relation pluie-débit au cours de la période 1971-2005 qui suggère une tendance à la baisse des écoulements mensuels.

## Abstract

Y. ELMEDDAHI, M. REMAOUN, S. ABAIDIA, A. ISSAADI

### Climate variability and trend detection in the rainfall - runoff relation for the evaluation of drought risk in the basin of the Ouahrane Wadi (Algeria)

Good control of the water resources management in a region characterized by water scarcity exacerbated by drought on the one hand and population growth, on the other hand, requires a better understanding of the relationship between the climate variability and its impacts on the availability of water resources. It is in this light that was made this characterization study of the temporal variability of hydrometeorological series and identifying trends in the rainfall-runoff relationship in the watershed of Ouahrane Wadi, a Cheliff sub-basin located in North- West of Algeria.

Using statistical tests, changes in rainfall patterns have been detected and is shown by a downward trend appeared in the late 70s, in the order of 28% and a reduction in flows exceeding 46% with detected a break in the early 80s. To detect trends in the hydrological behavior of the sub-basin of Ouahrane Wadi, an analysis in the rainfall - runoff relationship was carried through the GR2M model. The implementation of cross-simulations from the model, allowed to highlight a non-stationarity of the rainfall-runoff relationship during the 1971-2005 period suggesting a downward trend of monthly flows.



### Guide technique pour la réception des réseaux d'assainissement neufs

Ce guide technique, qui tient compte des évolutions réglementaires et normatives, est destiné aux organismes pratiquant les contrôles préalables à la réception des réseaux neufs d'assainissement. Il définit les conditions d'application pratiques des documents normatifs et réglementaires qui régissent ces contrôles et précise les applications qui relèvent des bonnes pratiques.

Il remplace à compter du 1<sup>er</sup> juillet 2015, les trois documents parus en 2005 dans la revue TSM :

- Guide technique pour la réception des réseaux d'assainissement neufs par les organismes accrédités : Inspections visuelles ;
- Guide technique pour la réception des réseaux d'assainissement neufs par les organismes accrédités : Contrôles d'étanchéité ;
- Guide technique pour la réception des réseaux d'assainissement neufs par les organismes accrédités : Contrôle de compactage par la méthode au pénétromètre dynamique ;

ainsi que les fiches de clarification publiées en 2010 dans la revue TSM.

Commandez-le sur <http://www.astee.org/production/uide-technique-pour-la-reception-des-reseaux-dassainissement-neufs/>