

Extraction et analyse des phases de tarissement : application dans le bassin versant de l'oued Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef), Haut Atlas Central, Maroc (1978 - 2016)

Mohamed CHAKIR*, Omar GHADBANE, Hassan OUAKHIR et Mohamed EL GHACHI

Université Sultan Moulay Slimane, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Laboratoire Dynamique des Paysages et Patrimoines, BP 524 Béni Mellal, Maroc

(Reçu le 27 Décembre 2022 ; Accepté le 23 Février 2023)

* Correspondance, courriel : chakirmohamed.doc@hotmail.com

Résumé

Les changements climatiques et les activités humaines ont affecté les équilibres environnementaux dans le monde entier. Le bassin versant de l'oued Tassaout (Amont du barrage Moulay Youssef) appartient au domaine montagnard semi-aride, caractérisé par des précipitations modérées. Par ailleurs, l'eau est au centre des enjeux économiques et sociaux dans le bassin versant (agriculture, eau potable, tourisme, etc.). En raison de la surexploitation, les ressources en eau deviennent de plus en plus fragiles. Ce travail présente une méthodologie d'évaluation quantitative des ressources en eau dans le bassin versant pendant les périodes de basses eaux. L'objectif de cette étude est de connaître les facteurs qui les régissent les écoulements durant ces périodes dans le but d'améliorer la gestion de ces ressources. Dans cette étude les données hydrométriques de deux stations ont été utilisées : Tamsemat en aval et Ait Tamilil en amont du bassin pour la chronique (1978 - 2016). La méthodologie adoptée se base sur la détermination et l'analyse des phases de tarissement à partir de l'extraction des coefficients de tarissement. Nous avons adopté la méthode des courbes séquences qui se base sur un algorithme posant les deux conditions relatives à la définition du tarissement : sélectionner des débits décroissants consécutifs et des débits non influencés par les précipitations. En effet, pendant les périodes de tarissement le débit des cours d'eau correspond par définition uniquement au débit de nappe. Les résultats ont montré de forte potentialité des aquifères en amont du bassin. L'alimentation souterraine assure la pérennité régulière de l'oued de Tassaout pendant les périodes d'étiage. Cependant, l'aval du bassin est caractérisé par une moyenne potentialité, ainsi, les ressources en eau sont fortement affectées par les activités humaines.

Mots-clés : *Bassin versant de la Tassaout, tarissement, extraction, basses eaux, alimentation souterrain.*

Abstract

Extraction and Analysis of the depletion phases : application in the Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef Dam), Central High Atlas, Morocco (1978 - 2016)

Climate change and human activities have affected environmental balances worldwide. the Tassaout basin (Upstream of the Moulay Youssef dam) belongs to the semi-arid mountainous domain, characterized by

moderate rainfall. In addition, water is at the center of economic and social issues in the basin (agriculture, drinking water, tourism, etc.). Due to overuse, water resources are becoming increasingly fragile. This work presents a methodology for the quantitative assessment of water resources in the watershed during periods of low flow water. The objective of this study of these flows is to know the factors which govern the flows during these periods with the aim of improving the management of these resources. In this study, hydrometric data from two stations were used : Tamsemat downstream and Ait Tamilil upstream of the basin for the chronicle (1978 - 2016). The adopted methodology is based on the determination and the analysis of the depletion phases from the extraction of the drying coefficients. We have adopted the method of sequence curves which is based on an algorithm setting the two conditions relating to the definition of the depletion: to select consecutive decreasing flows and flows not influenced by precipitation. In fact, during periods of drying up, the flow of the rivers corresponds only to the flow of the groundwater. The results showed high potential of the aquifers upstream of the basin. The underground supply ensures the regular continuity of the Tassaout river during periods of low water. However, the downstream of the basin is characterized by an average potentiality, thus, water resources can be strongly affected by human activities.

Keywords : *Tassaout basin, tarissement, extraction, low water, underground supply.*

1. Introduction

Les études hydrologiques sont d'une grande importance à l'heure actuelle, surtout avec la forte augmentation démographique que le monde connaît actuellement. L'utilisation excessive de l'eau par la population a provoqué un danger pour cette ressource importante, notamment avec la diminution des quantités des précipitations (liquide et solide) pluie qui alimentent les rivières, les eaux souterraines et leurs réservoirs. Cela a incité les chercheurs à réfléchir aux causes qui pourraient résulter de l'origine du problème de la rareté de l'eau, ce qui a rendu très difficile le processus d'évaluation des risques hydrologiques de manière globale [1]. La sécheresse fait partie des aléas hydrologiques à long terme, car il s'agit d'un déséquilibre naturel auquel l'homme est exposé ou contribue à son aggravation [2]. Dès lors, les activités humaines et les pressions augmentent l'effet de l'événement [3]. Les années de sécheresse ont poussé l'homme à se tourner fortement vers l'exploitation des eaux souterraines afin de combler le déficit en eau de surface. Ces comportements ont contribué à l'exploitation intensive de ces ressources au-delà des taux de recharge dans les régions semi-arides, et à la baisse du niveau des nappes phréatiques avec des conséquences à court et long termes pour les activités humaines [4]. La sécheresse climatique qu'a connue le Maroc dans les années quatre-vingt a révélé la grande fragilité des ressources en eau, et la faiblesse des capacités humaines à gérer la rareté de l'eau. La gestion de la situation hydrique actuelle et future doit être reposer sur une étude statistique des données hydrologiques historiques, en analysant les différentes périodes d'abondance et de rareté. Compte tenue la forte pression exercée sur les ressources en eau par la demande continue dans le bassin versant de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef) [5] l'étude des tarissements est une étape primordiale pour comprendre les mécanismes qui contrôlent l'alimentation des cours d'eau, car le traitement et l'analyse des données historiques permettent de comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin versant. Ainsi, la possibilité de prévoir la situation future et de prendre des mesures proactives afin d'éviter les crises résultant de la rareté de l'eau.

2. Méthodologie

2-1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef) appartient à la chaîne montagneuse du Haut-Atlas Central, située au Sud-Est du bassin d'Oum Er-Rabia. Le bassin versant occupe une superficie de 1307 Km². Il prend naissance à une altitude de 3978 m environ et s'écoule du Nord-Est vers le Nord-Ouest. La rive droite se caractérise par des affluents assez courts et moins nombreux, souvent temporaires, les affluents les plus importants se trouvent en rive gauche.

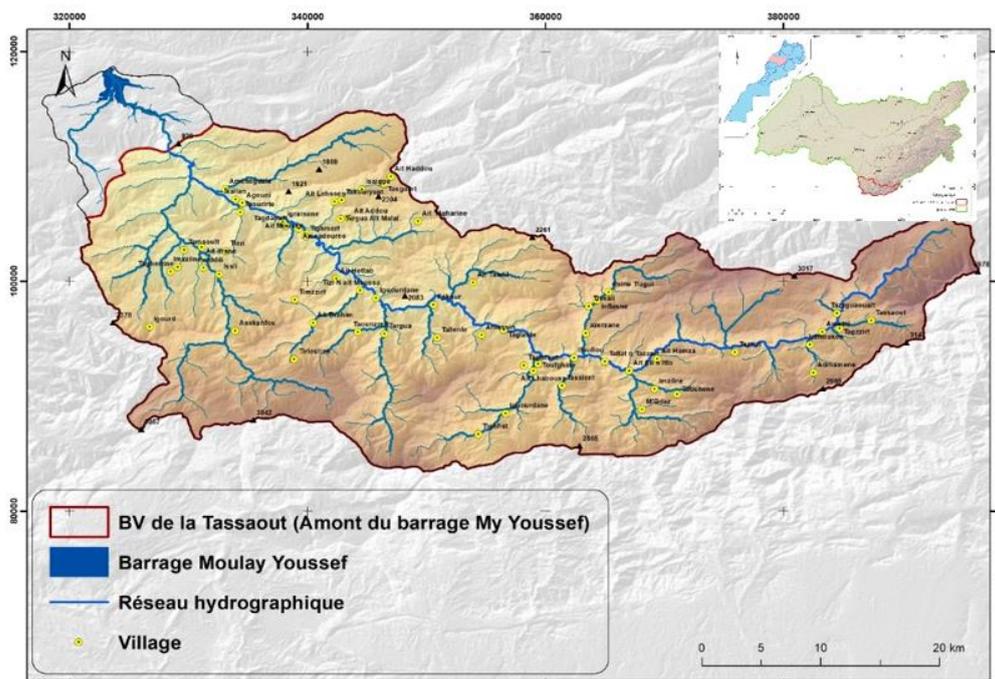


Figure 1 : *Situation géographique du bassin - versant de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef). (Carte topographique de Demnat et Ait Tamlil 1/100000, DEM 2017)*

Le bassin de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef) offre un caractère montagneux avec une forte pente de 21,5 %, le couvert végétal représente 24 % de la surface globale du bassin. Le substratum géologique constitué essentiellement de grès, dolomie et calcaire perméable, qui appartiennent à la série sédimentaire du Trias et du Lias en amont du bassin, et de schiste et argile, imperméable, qui appartiennent à la série sédimentaire du Trias en aval du bassin [6]. La zone d'étude est riche en formations calcaires karstiques qui offrent des sources dispersées, jouant un rôle important dans l'alimentation des cours d'eau, l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation.

- **Formations perméables :** Les formations hydrogéologiques très perméables du bassin de l'Oued Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef) sont constituées de formations quaternaires récentes sous forme d'alluvions et de roches carbonatées, souvent caractérisées par des fissures, qui peuvent, dans la plupart des cas, donner des formes karstiques superficielles et souterraines.
- **Formations peu perméables :** Il s'agit essentiellement des formations marno-calcaires du Lias Moyenne, des grès du Lias supérieur, des conglomérats et des marnes et des grès du Cénomane inférieur [7]. Cette classe représente 56 % de la superficie totale du bassin versant.

- **Formations imperméables :** Elles sont généralement associées aux affleurements de basaltes doléritiques du Trias inférieur, aux formations schisteuses Cambro-Ordoviciennes et aux formations argileuses (Stéphano Trias). Cette classe représente 13 % de la superficie totale du bassin versant.

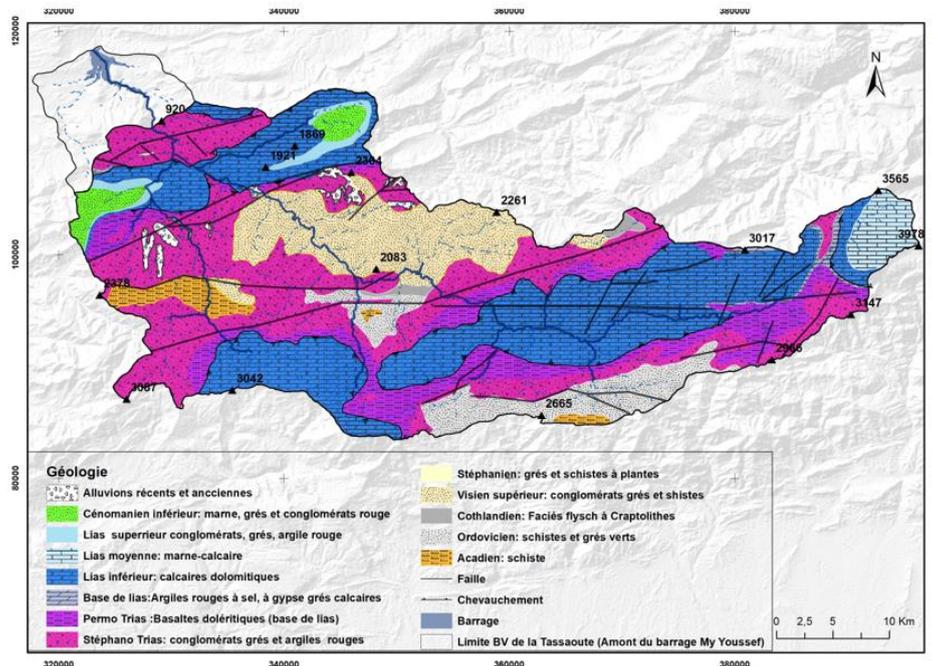


Figure 2 : Carte géologique du bassin versant de l'oued de Srou (Carte topographique de Demnat, Azilal et Sekoura / 100000)

2-2. Contexte hydro-climatique

Le climat du Maroc est de type méditerranéen à influence océanique. Dans le bassin de L'Oum Er Rbia, cette influence se manifeste par le fait que les vents pluvieux sont de secteur Ouest et que la hauteur pluviométrique annuelle décroît quand on s'éloigne de la mer [8]. Dans le bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef) le climat devient aussi plus continental, avec des températures maximales d'été très élevées et des températures minimales inférieures à celles qu'on enregistre sur le littoral. L'influence de l'altitude devient prépondérante et la pluviométrie croît à nouveau du pied aux sommets de l'Atlas [8]. Le bassin versant fait partie des bassins marocains qui ont été classés parmi les zones sensibles au changement climatique [9]. La pluviométrie annuelle moyenne à la station de Tamsemat (aval du bassin) au cours de la période (1976 - 2016) était de 514 mm. Le coefficient de variation moyen (CV) est estimé à 0,31 station, indiquant que le bassin reçoit des précipitations modérées en général.

Tableau 1 : Caractéristiques hydro-climatique du bassin d'étude

Station	Cour d'eau	Surface du bassin (km ²)	Chronique disponible	Moyen du P (mm)	Module Q (m ³ /s)	Débit spécifique (L/s/km ²)
Station Ait Tamlil	Ait Tamlil	531	1978 - 2016	458	4,1	7,6
Station Tamsemat	Tassaout	1307	1978 - 2016	514	8,9	6,8

Le module sur l'échantillon étudié (39 ans) était de 8,9 m³/s à la station d'étude. Seules 15 années dépassent le module, en revanche 24 années sont déficitaires. L'indice centré réduite de NICHOLSON [10 - 12] découpe la série des débits en quatre phases excédentaires et déficitaires ; deux phases sèches, il s'agit de la période (1978 - 1987) puis de la période (1999 - 2006), et deux phases humides s'étendant le long de (1988 - 1998) et (2007 - 2016). Cet indicateur a montré que le bassin présente une longue période déficitaire entre 1978 et 1987, le maximum était enregistré au cours de l'année 1983 dans le bassin versant. Face à ces conditions hydro-climatiques, le Bassin subit une forte pression sur ses ressources en eau de surface et souterraines. L'intervention humaine (aménagement des cours d'eau, prélèvements, etc.) modifie les paramètres de cycle hydrologique et induit des changements quantitatifs de l'écoulement [13]. Ces dégradations quantitatives ont un impact sur les ressources en eau et sur leur disponibilité notamment en période d'étiage.

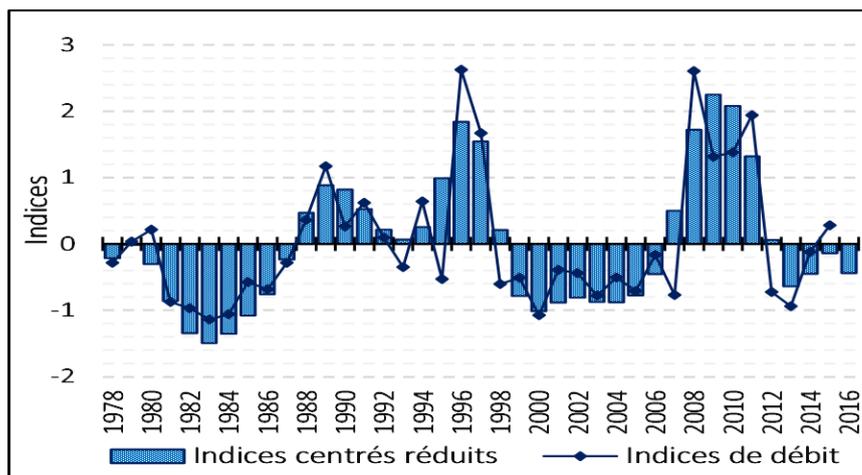


Figure 3 : Évolution interannuelle des débits à la stations de Tamsemat avec les indices centrés réduits (1978 - 2016)

2-3. Données

L'extraction des phases de tarissement, repose sur les phases hydrologiques non directement influencées par les précipitations, pour lesquelles le débit correspond à la vidange des aquifères. Pour activer le programme d'extraction des phases de tarissement, nous nous basons sur les données hydro-climatiques obtenues auprès de l'Agence du Bassin Hydrologique d'Oum Er-Rbia : **(Tableau 2)**. Précipitations journalières : nous les utilisons comme entrée de base pour déterminer les phases hydrologiques qui ne sont pas vraiment affectées par celles-ci. Les données pluviométriques pour la période conjointe concordent avec les données de débit sur une période de 39 ans (1978 - 2016). Débits journaliers : Ces données sont essentielles pour déterminer et extraire les phases de tarissement. Ce qui correspond aux données de débit mesurées à l'exutoire des bassins étudiés au niveau des deux stations d'Ait Tamlil et de Tamsemat au cours de la chronique (1978 - 2016).

Tableau 2 : Caractéristiques des données utilisées

Type de stations	Noms des stations	Coordonnées géographiques		Données utilisées	Chroniques
		X	Y		
Pluviométrie / hydrométrie	Ait Tamlil	357600	93700	Journalières	1978 - 2016
	Tamsemat	328300	111200	Journalières	1978 - 2016

2-4. Méthodes

2-4-1. Loi de Maillet

Pendant les périodes d'étiage, les débits des cours d'eau sont uniquement assurés par la vidange des nappes, ainsi l'étude du tarissement permet de comprendre le rythme de cet apport. Afin d'approcher le rythme de vidange des réserves aquifères, différentes lois ont été adoptées pour calculer le coefficient de tarissement [14]. Le choix s'est porté sur la loi de Maillet, largement utilisée [15] sur la base d'une équation sous forme exponentielle. Donc, les courbes de décroissance, qui expriment la relation entre le débit et le temps en régime non influencé par les précipitations, sont des exponentielles décroissantes [16]. En manque de toute connaissance précise des configurations des aquifères du bassin étudié, la fonction utilisable se résume à la formulation de Maillet [17] :

$$Q_t = Q_0 \times e^{-\alpha t} \quad (1)$$

avec, Q_t : Le débit à l'instant t ; Q_0 : Le débit initial de la phase de récession; $e^{-\alpha t}$: La constante de récession.

Le coefficient α permet de caractériser la rapidité de vidanges de la nappe et la résilience des bassins versants à la sécheresse.

2-4-2. Méthode de la « courbe séquence »

Cette méthode tient compte de l'influence des précipitations. Le principe se base sur la sélection des débits décroissants consécutifs strictement non influencés par les précipitations [18]. Elle suit une procédure logique qui permet de fixer des critères de sélection rigoureux, garantissant le caractère du tarissement. On note que cette procédure peut être automatisée pour la sélection des épisodes de tarissement, mais elle nécessite un second contrôle par l'opérateur. Selon la méthode de la courbe séquence, les phases de tarissement seront extraites en fonction de quatre variables qui doivent être déterminées **Figure 4**, il s'agit de Seuil de Précipitations Significatives (SPS), Durée Minimum des Phases de tarissement (DMP), Temps de Ressuyage (TR) et le seuil de débit débutant la phase de tarissement (Q_0 max) [16].

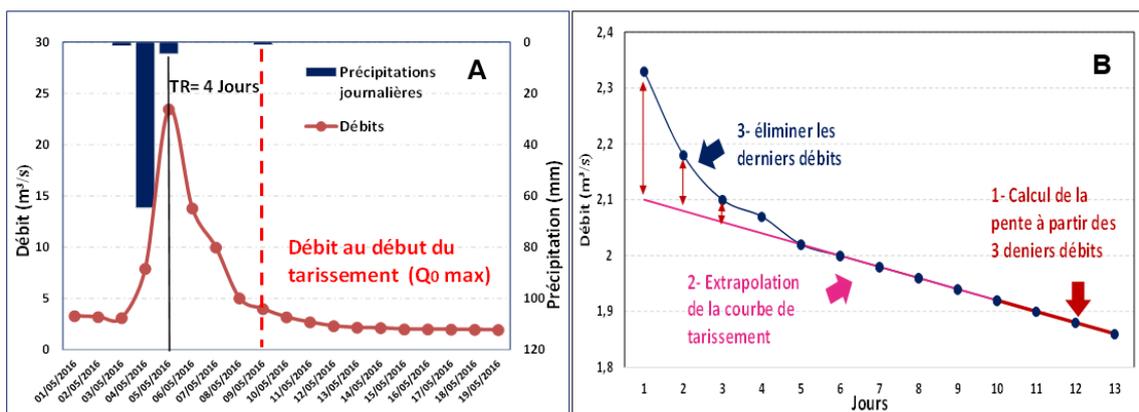


Figure 4 : A : temps de ressuyage pour le sous bassin d'Ait Tamlil (531 km²). B : Procédure d'ajustement du choix de Q_0 . [18]

La méthode proposée s'appuie sur les derniers débits de la phase de tarissement. L'identification de Q_0 est déterminée à partir de la pente des trois derniers débits de la phase, puis extrapolée vers les débits des jours précédents **Figure 4.B**. Les valeurs observées s'écartant de manière significative de la droite extrapolée sont supprimées.

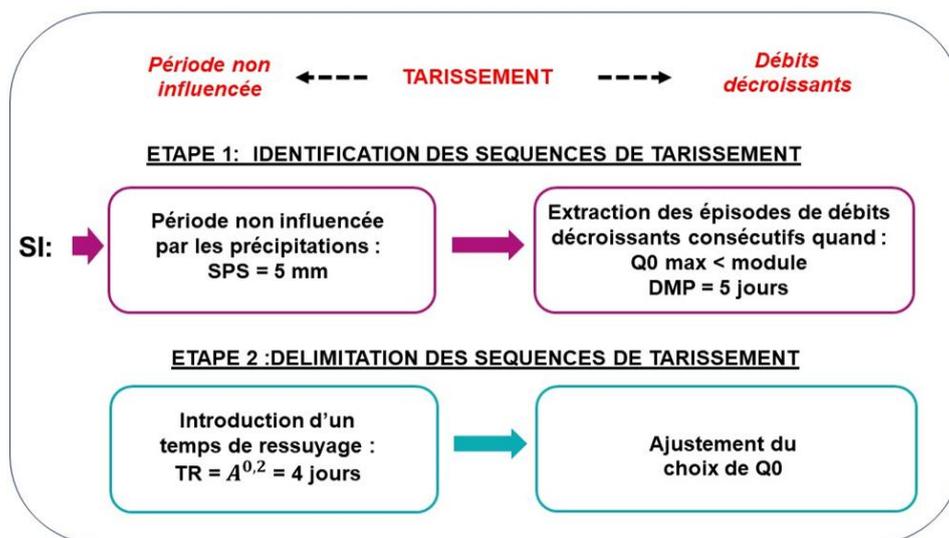


Figure 5 : Algorithme d'extraction des courbes séquences [16]

3. Résultats

Le choix des valeurs de tarissements est une question difficile, en particulier dans les aspects liés à la détermination du débit débutant la phase de tarissement, qui forme la limite entre le ruissellement superficiel et souterrain. L'étude statistique nous permettra d'évaluer les lois fondamentales appliquées au tarissement dans le bassin de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef), en justifiant l'utilisation de la loi Maillet [17], qui s'intéresse particulièrement aux méthodes de sélection des phases de tarissement. Le climat semi-aride, qui caractérise le domaine d'étude, constitue une circonstance préférentielle pour déterminer ces phases, qui apparaissent fréquemment au cours de chaque année.

3-1. Nombre de courbes séquences extraites des stations du bassin versant de l'oued de la Tassaout (1978 - 2016)

Après ajustement des variables pré-spécifiées, et après des procédures d'ajustement du débit débutant le tarissement Q_0 , les phases ont été extraites (**Tableau 3**), qui s'élèvent à 177 phases dans le sous-bassin d'Ait Tamlil et à 198 phases dans le bassin de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef).

Tableau 3 : Analyse statistique des coefficients α

Stations	Bassins	Nombre de phases	Durée max (jours)	α moy	α min	α max	CV
Ait Tamlil	Sous BV d'Ait Tamlil	177	26	0,039	0,005	0,170	52 %
Tamsemt	BV de Tassaout	198	28	0,048	0,015	0,227	41 %

La fréquence du nombre de phases de tarissement est liée à la condition climatique de l'année hydrologique (**Figure 4.A**). Les années caractérisées par de faibles précipitations ont enregistré un nombre important de phases de tarissement (1982 - 1984, 1990, 2003 et 2016). Certaines années ont enregistré une phase ou n'en ont enregistré aucune, ce sont celles qui ont connu des précipitations importantes (1989, 1996 et 2008 - 2010). Ainsi, il existe une relation entre l'abondance des précipitations et le nombre de phases de tarissement au

cours de l'année [9]. Les mois de juin et juillet enregistrent une fréquence élevée des phases de tarissement avec respectivement 32 et 29 phases au cours de la chronique statistique (39 ans), soit 31 % du nombre total de phases (**Figure 6.B**). Ces périodes correspondent à la diminution des précipitations et au processus de vidange d'aquifère souterrain. La période entre janvier et avril a enregistré une fréquence plus faible soit 5 % du nombre total de phases, cette période correspond à une abondance de précipitations et de neige [19], directement contribue au processus de remplissage des aquifères.

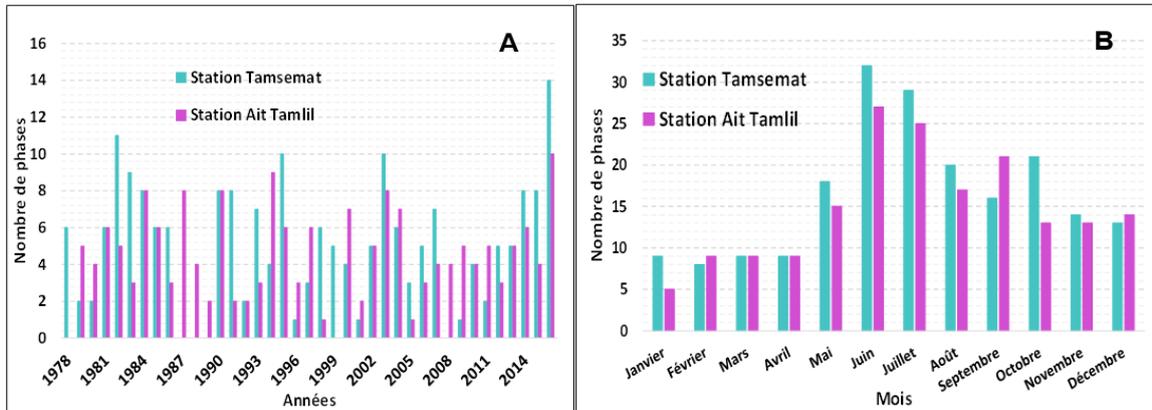


Figure 6 : Fréquence du nombre de phases de tarissement à l'échelle annuelle (A) et mensuelle (B) aux stations d'Ait Tamlil et de Tamsemt (1978 - 2016)

3-2. Analyse de la variabilité des coefficients de tarissement dans le bassin versant de l'oued de la Tassaout (1978 - 2016)

Le simple calcul des moyennes arithmétiques des coefficients de tarissements n'est pas satisfaisant. Ainsi, une méthode doit être recherchée pour formuler une pondération combinant ces coefficients. Afin de proposer et de valider une valeur unique du coefficient de tarissements, les courbes de séquence subissent deux traitements distincts : d'abord une élaboration de courbe maîtresse de tarissements, puis une analyse statistique des coefficients de tarissement [20]. Cette approche est cohérente avec le schéma proposé par Tallaksen [15], car elle montre que l'analyse du tarissement peut être abordée soit en construisant une courbe moyenne qui résume toutes les données par une valeur globale, soit par une approche plus analytique qui considère toutes les séquences de tarissement de manière individuelle.

3-2-1. Réalisation de la corrélation entre Q_0 et Q_t et calcul des régressions linéaires

Certains chercheurs ont proposé la méthode de corrélation linéaire afin de lier la relation entre les valeurs de débit pendant les phases de tarissement avec différents pas de temps. Cette méthode est appliquée soit pour déterminer le taux de régression pour ses phases, soit pour calculer la relation de proportionnalité a_t , en liant le débit débutant la phase Q_0 et le débit Q après le passage de t jours (Q_t). À cet égard, on peut rappeler les travaux de [21] qui ont utilisé la méthode de corrélation linéaire pour proposer une relation de proportionnalité à 5 jours (a_5) correspondant à la droite régressive des valeurs de débit Q_0 . Pour appliquer la méthode de corrélation linéaire dans les deux bassins de l'étude, nous travaillerons à relier le débit débutant la phase de tarissement Q_0 avec le débit journalier pour les mêmes phases pendant le passage de la période d'un jour à 7 jours. Ainsi la droite de régression peut être passée afin d'extraire l'équation de la fonction linéaire et d'obtenir la relation de proportionnalité selon l'Équation (2) [17] :

$$a_t = \frac{Q_t}{Q_0} \quad (2)$$

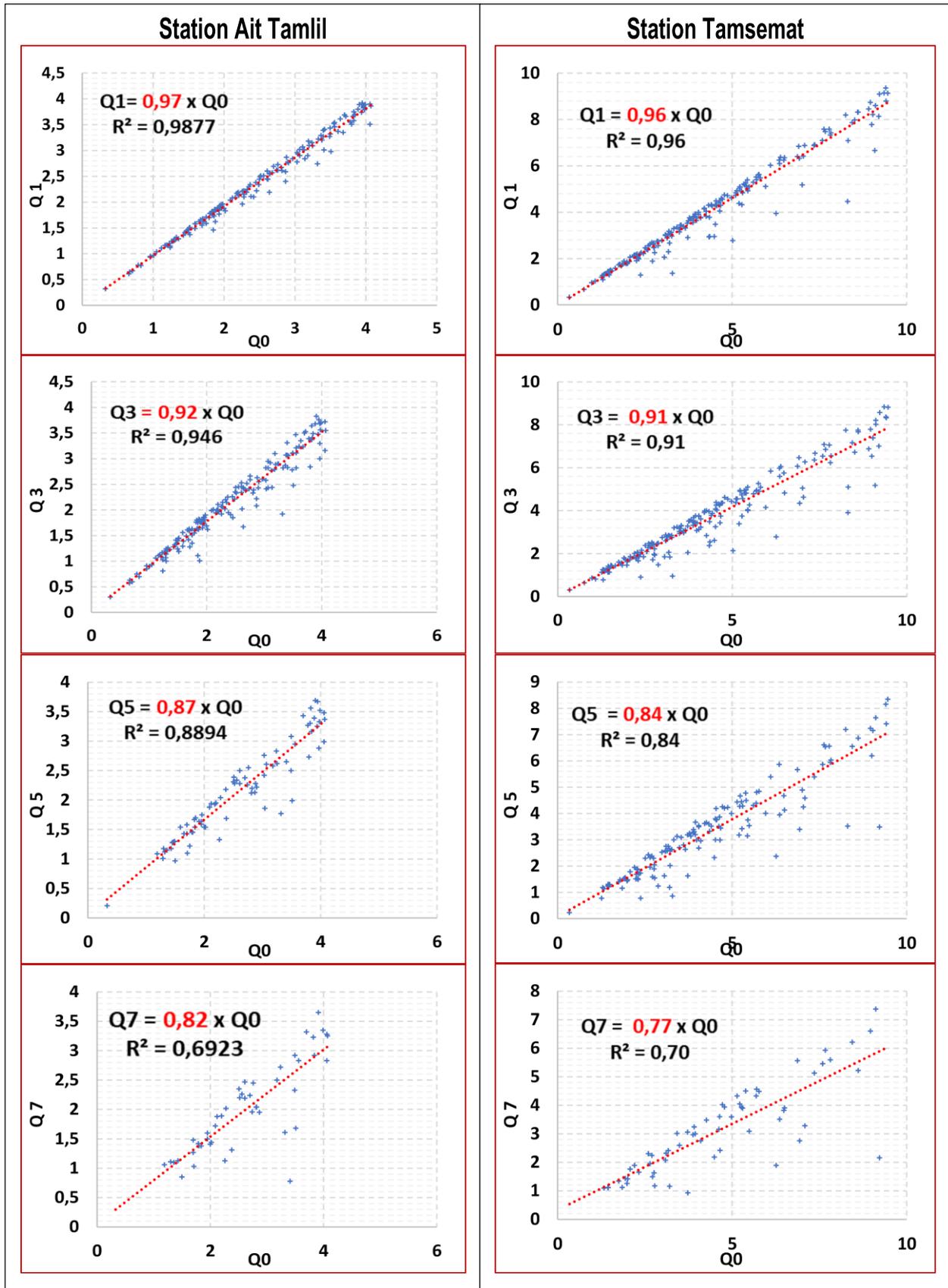


Figure 7 : Corrélation entre les débits Q_0 et les débits à t jours (Q_t) des courbes séquences pour les stations d'Ait Tamlil et de Tamsemt (1978 - 2016)

Les graphes de la **Figure 7** présentent les résultats des corrélations des débits Q_0 et les débits à 1, 3, 5 et 7 jours, à partir de toutes les phases observées dans les stations d'Ait Tamlil et de Tamsemat.

- *Le sous bassin d'Ait Tamlil* : Quant à la corrélation linéaire entre le débit Q_0 au début de la phase et le débit Q ($t = 3$ jours) après 3 jours, nous avons obtenu $Q_3 = 0,92 \times Q_0$, qui signifie que le débit du troisième jour est égal à 92 % de la valeur du débit Q_0 , qui a été considéré en début de phase, correspond à 100 %. Au septième jour ($t = 7$), le débit atteint 82 % du débit en t_0 .
- *Le bassin versant de la Tassaout (amont du Barrage M. Youssef)* : Le débit au troisième jour, Q ($t = 3$ jours), atteint 91 % de la valeur du débit débutant la phase de tarissement. Au septième jour ($t = 7$), le pourcentage atteint 77 % de la valeur du débit Q_0 . Ainsi, le débit connaît un taux de décroissance rapide par rapport à celui enregistré dans le sous-bassin d'Ait Tamlil.

3-2-2. Élaboration de la courbe maîtresse de tarissement

La courbe maîtresse de tarissement représente la vitesse de diminution de débit par rapport à la durée t . Ce procédé est réalisé en étudiant la relation entre le débit débutant la phase de tarissement Q_0 et le débit Q_t , d'une part et le temps t (jours) d'autre part. Ainsi, la diminution du coefficient de proportionnalité, au fil des jours, représente le rapport de diminution du débit en période de tarissement [18]. On obtient un ajustement des nuages de points représentés par une fonction exponentielle (**Équation 1**). Les graphes de la **Figure 8** présentent les résultats obtenus pour les deux stations du bassin versant de la Tassaout (amont du barrage M. Youssef) pour la chronique (1978 - 2016). Finalement, l' α maître obtenue pour la station d'Ait Tamlil est de l'ordre de 0,025, alors que dans la station de Tamsemat il égale 0,035.

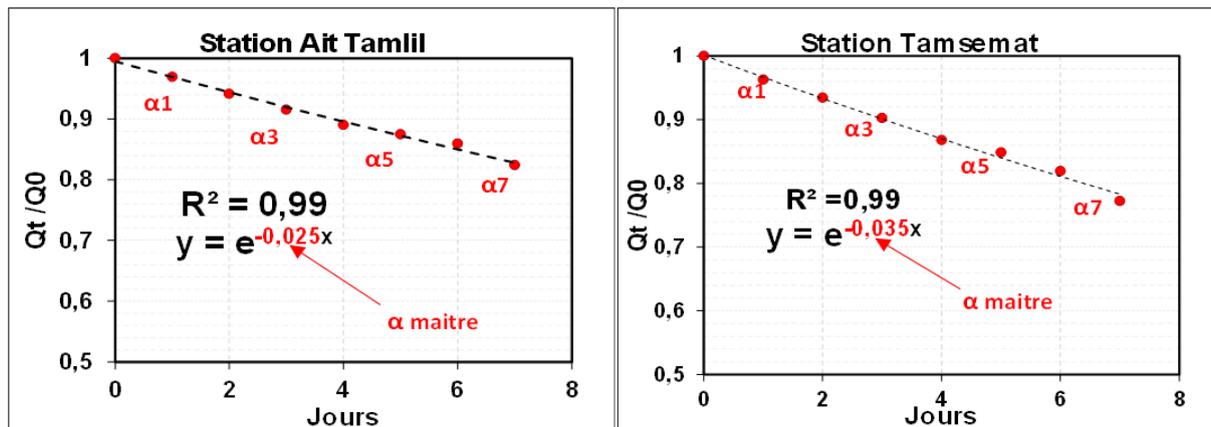


Figure 8 : Ajustement des αt à une courbe exponentielle et détermination du coefficient de tarissement de maillet pour les stations d'Ait Tamlil et de Tamsemat (1978 - 2016)

3-3. Répartition statistique des coefficients de tarissement

Le bassin de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef) a enregistré 198 phases de tarissement, tandis que le sous-bassin d'Ait Tamlil a enregistré 177 périodes. Ainsi, ce grand nombre d'échantillons extraits nous permettra d'effectuer une analyse statistique détaillée. Pour ce faire, nous allons étudier les courbes de séquence de manière analytique et indépendante. L'histogramme des coefficients de tarissement extrait (**Figure 9**) montre d'une part les valeurs modaux, et d'autre part, les coefficients les plus biaisés vers des valeurs faibles. Aussi, l' α maître obtenu en adoptant la méthode de la courbe maîtresse correspond aux champs de mode par rapport à la fréquence des coefficients de tarissement.

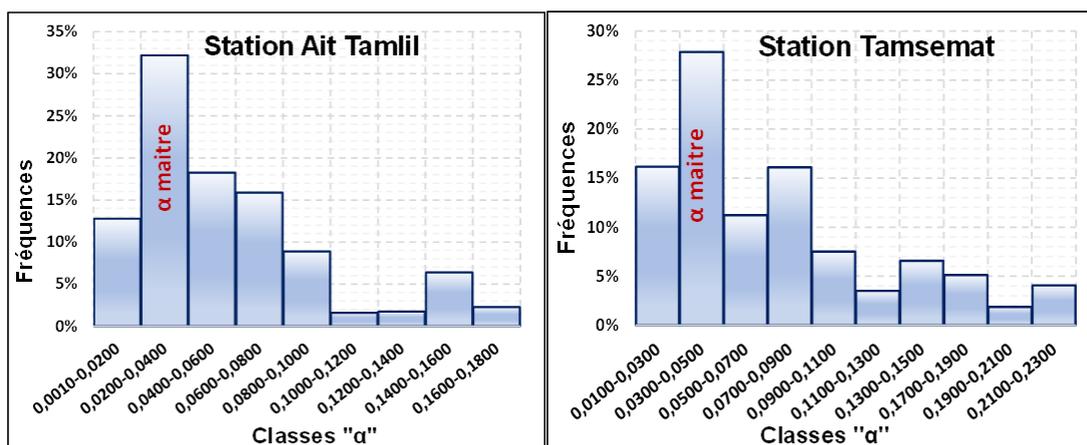


Figure 9 : Histogrammes de distribution des α séquences des stations d'Ait Tamllil et de Tamsemat (1978 - 2016)

4. Discussion

Pour l'extraction des phases de tarissement la méthode des courbes séquences a été adoptée en garantissant les conditions physiques. La durée des phases est courte, mais leur nombre est très important. [21] indique que l'approche menée sur les nombreuses phases de tarissement pour chacun des bassins conduit à la caractérisation du comportement des aquifères en période de vidange par le coefficient de tarissement α de maillet. Mais aussi dû à l'adéquation des conditions climatiques, à la rareté des précipitations, et à la faible variabilité des débits. Les coefficients de tarissements dans le bassin sont très variables. Ils varient, pour la même station, d'un épisode à l'autre et d'une année à l'autre. Cette variabilité des coefficients de tarissements est déjà soulignée dans des travaux portant sur le tarissement des cours d'eau [22], en revanche ils sont difficiles à interpréter. Ainsi, la recherche d'une valeur représentative de ces coefficients présente plusieurs avantages. Lang [18] dans son étude conclut que le coefficient de tarissement modal paraît cohérent avec le contexte hydrogéologique des bassins versants de l'Est Français. Les comportements différenciés des bassins au cours des phases hydrologiques successives ont pour cause l'hétérogénéité lithologique des différentes formations [23]. On peut aussi citer [20] qui indique que l'absence d'aquifères importants est donc confirmée par les coefficients de tarissement qui sont faibles et qui témoignent d'une décroissance extrêmement rapide des débits en l'absence de précipitations. Dans le bassin versant de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef), l' α maitre extrait de la courbe maitresse est plus intéressante que l' α moyen ou l' α modal. Les valeurs retenues dans le bassin reflètent le rythme de vidange des aquifères souterrains. Le coefficient de tarissement (α maitre) est moins élevé dans le sous-bassin d'Ait Tamllil (en amont), qui reflète une vidange lente des aquifères. Cela est dû aux caractéristiques de substratum à forte perméabilité, qui contribue à l'alimentation du cours d'eau pendant les périodes d'étiage, et ainsi les réserves se reconstituent grâce aux apports des précipitations. Alors que l' α maitre enregistré dans le bassin de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef) reflète une vitesse importante de vidange des aquifères (Bassin peu perméable), qui peuvent être rapidement taris. L'étude d'étiage permet de mettre en valeur la forte décroissance des débits en phase de tarissement et leur influence sur les cours d'eau, en précisant les restitutions des nappes aquifères à l'écoulement fluvial [24]. Ainsi, la situation hydrologique devient plus fragile, notamment pendant les périodes des étiages, en plus de l'impact potentiel des activités anthropiques sur le cours d'eau [19].

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des coefficients de tarissement α extraits

Stations	Bassins	α moy	α modal	α maitre	α (0,25)	α (0,75)
Ait Tamlil	Sous BV d'Ait Tamlil	0,039	0,035	0,025	0,023	0,049
Tamsemat	BV de Tassaout	0,048	0,044	0,035	0,033	0,067

Grâce à ces coefficients, des scénarios peuvent être élaborés pour prédire le débit pendant les périodes d'étiage à court et à moyen terme. Le recours au calcul de quantiles pour les coefficients de tarissement constitue par ailleurs une approche intéressante qui permet d'encadrer les valeurs par des rails de probabilité construits à partir de ces quantiles de coefficients de tarissement [18]. Ainsi, le choix de l' α maitre permet de réaliser automatiquement un tri statistique et comparer les bassins unitaires. Il peut représenter le rythme de tarissement moyen des bassins versants. Aucune relation mathématique entre les coefficients de tarissement et la géologie des bassins n'est établie [25]. La difficulté à relier ces deux variables est d'ailleurs soulignée par des auteurs tels que [15, 18]. Mais ce qu'on peut retenir c'est que l'aval du bassin versant étudié connaisse un vidange des réservoirs souterrains rapide alors que l'amont se vide lentement, ce qui permet de garantir un écoulement de base, et alors un étiage soutenu.

5. Conclusion

Les phases de tarissement ont été extraites en adoptant la méthode de courbe séquence, qui est basée sur des critères rigoureux. L'analyse statistique de ces phases a montré une variation temporelle et spatiale des coefficients dans les deux bassins d'étude. À l'échelle temporelle, le coefficient de tarissement est affecté par le régime d'écoulement pendant les périodes de basses eaux et de hautes eaux, ces changements sont liés aux périodes de remplissage et de vidange du substratum au cours des périodes de l'année. À l'échelle spatiale, l'amont du bassin (le sous-bassin d'Ait Tamlil) a enregistré de faibles coefficients de tarissement, il prend naissance des formations karstiques. Le cours d'eau s'écoule dans les formations calcaire-gréseuses (perméable) du Lias supérieur. Ces formations rendent compte des aquifères de fortes potentialités, et qui assure la pérennité régulière de l'oued de Tassaout. Cependant, l'aval du bassin est caractérisé par des coefficients plus élevés, ce qui reflète une vidange rapide des aquifères, et conduit à un épuisement du réservoir en cas de non-reconstitution. Ainsi, la situation hydrologique devient critique pendant les périodes d'étiage. Ainsi, les ressources en eau peuvent être fortement affectées par les activités humaines, surtout les prélèvements de l'eau liés aux activités agricoles, cette situation s'aggrave pendant les étiages, ce qui aura un impact sur le remplissage du barrage de Moulay Youssef en période de pénurie.

Références

- [1] - Q. A. RAML, A. S. ARZEK, Evaluating the qualitative characteristics of groundwater and its suitability for human use in the Kirkuk district. *Journal of Education and Scientific Studies*, 2 (11) (2018) 281 - 316
- [2] - A. GIRET, Le risque hydrologique. L'information Géographique. Vol. 68, N° 1 (2004) 14 - 26
- [3] - J. CORBONNOIS, J. HUMBERT, Ressources et gestion de l'eau dans le Nord-Est de la France, sous la direction de J.P. Bravard, Chapitre de l'ouvrage "L'eau dans les régions françaises, d'un extrême à l'autre", SEDES, (2000) 219 - 249
- [4] - ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES, Les périls du tarissement : Vers une utilisation durable des eaux souterraines en agriculture. Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264248427-fr>, (2015)

- [5] - M. CHAKIR, M. EL GHACHI, F. JAA, Estimation des prélèvements d'eau pour l'irrigation dans le bassin de la Tassaout (en amont du Barrage de Moulay Youssef) en 2015 : cartographie, suivi et mesure. M. EL GHACHI. Monitoring I dans le bassin de l'Oum Er-Rbia (Maroc) : retours d'expériences en hydro-climatologie, ISBN :978-9920-9919-3-3, (2021) 55 - 64
- [6] - G. COUVREUR, Essai sur l'évolution morphologique de haut atlas calcaire - Maroc. Notes et Mémoires du Service Géologique. Edition du Service Géologique du Maroc, N° 318 (1988)
- [7] - G. CASTANY, Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edition. Dunod, (1982)
- [8] - ABHOER, Étude hydrologique de l'OUM ER RBIA. Rapport, (1972)
- [9] - CONSEIL ÉCONOMIQUE, SOCIAL ET ENVIRONNEMENTAL, Rapport Annuel, www.cese.ma., (2015)
- [10] - A. ASSANI, Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphérique (oscillation australe) et océanique (El Nino/La Nina), 10 (4) (1999) 245 - 52
- [11] - A. NEJJARI, E. GILLE, D. FRANÇOIS, L'apport des longues séries pluviométriques dans l'étude de la sécheresse dans le Moyen Atlas (Maroc). In Mosella 2000, t. xxv, Univ de Metz, N° 3-4 (2001) 55 - 69
- [12] - O. GHADBANE, M. EL GHACHI, M. CHAKIR, Étude de la variabilité climatique et de ses impacts sur le régime hydrologique de l'Oued Srou, affluent de rive gauche de l'Oued Oum Er Rbia. *Afrique SCIENCE*, 18 (2) (2021) 69 - 80
- [13] - M. EL FOUL, M. EL GHACHI, Impact des actions anthropiques sur le bilan hydrologique dans le bassin versant de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef) : modèle hydrologique Orchy II (1986-2010). *Journal of Water and Environmental Sciences*, 2 (1) (2018) 297 - 304
- [14] - B. DEWANDEL, P. LACHASSAGNE, M. BAKALOWICZ, PH. WENG., A. AL-MALKI, Evaluation of aquifer thickness by analysing recession hydrographs. Application to Oman ophiolite hard-rock aquifer. *Journal of Hydrology*, 274 (2003) 248 - 269
- [15] - L. M. TALLAKSEN, A review of baseflow recession analysis. *Journal of hydrology*, 165 (1 - 4) (1995) 349 - 370
- [16] - C. LANG, E. GILLE, Une méthode d'analyse du tarissement des cours d'eau pour la prévision des débits d'étiage. *Noréis. Environnement, aménagement, société*, (201) (2006) 31 - 43
- [17] - E. MAILLET, Essais d'hydraulique souterraine et fluviale. Librairie Sci. Hermann Paris, (1905)
- [18] - C. LANG, Étiages et tarissements. Vers quelles modélisations ? L'approche conceptuelle et l'analyse statistique en réponse à la diversité spatiale des écoulements en étiage des cours d'eau de l'Est français. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Metz, France, (2007) 375 p.
- [19] - M. CHAKIR, Étude statistique des étiages et des tarissements dans le bassin versant de l'oued de Tassaout (Amont du Barrage de Moulay Youssef) : Détermination, extraction, modélisation et problématique de la gestion (1978 - 2020) (Haut Atlas - Maroc). Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université Sultan Moulay Sliman, FLSHBM. Maroc, (2022) 426 p.
- [20] - M. EL GHACHI, Étiages de 2003 dans un domaine océanique, Méthodologie et Résultats : Le cas de la Seille (Lorraine, France). *Revue Geomagreb*, N° 6 (2010) 45 - 57
- [21] - A. QADEM, Quantification, modélisation et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant du haut Sebou (Maroc). Université Sidi Mohamed Ben Abdelah et Université de Lorraine, Thèse de Doctorat de 3ème cycle, (2015) 360 p.
- [22] - T. POINTET, Essai de caractérisation du coefficient de tarissement des nappes, Thèse de doctorat, Université Nancy I, (1975) 115 p.
- [23] - S. LEBAUT, L'apport de l'analyse et de la modélisation hydrologiques de bassins versants dans la connaissance du fonctionnement d'un aquifère. Les grès d'Ardenne-Luxembourg. Thèse de doctorat en géographie de l'Université de Metz, Mosella Tome XXVI, N° 1-2 (2001) 305 p.
- [24] - M. SIRTOU, Étude hydro-climatologique des bassins du N'Fis, du Rheraya, de l'Ourika et du Zat (Maroc). Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Metz, France, (1995) 311 p.
- [25] - O. GHADBANE, Étiage et tarissement dans le bassin versant de l'oued de Srou (amont Oum Er Rbia-Maroc) (1976-2019) : Détermination, analyse et impact. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université Sultan Moulay Slimane, FLSH, Beni Mellal, Maroc, (2022) 378 p.