جامعة السلطان مولاي سليمان

مختبر دينامية المشاهد، المخاطر والتراث

كلية الآداب والعلوم الإنسانية
بني ملال

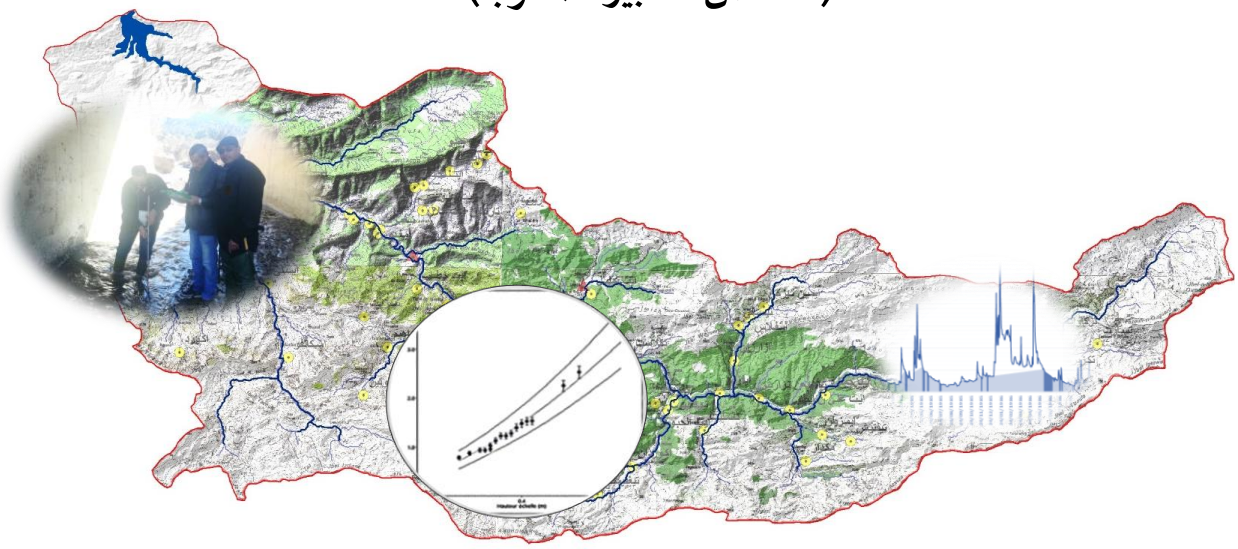
مركز دراسات الدكتوراه في الآداب والعلوم الإنسانية
وحدة تكوين الدكتوراه: دينامية المشاهد والتراث

أطروحة لنيل الدكتوراه فى الجغر افيا

في موضوع:

دراسة إحصائية للشح والنضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): التحديد والاستخلاص والنمذجة وإشكالية التدبير (1978-2020)

(الأطلس الكبير- المغرب)



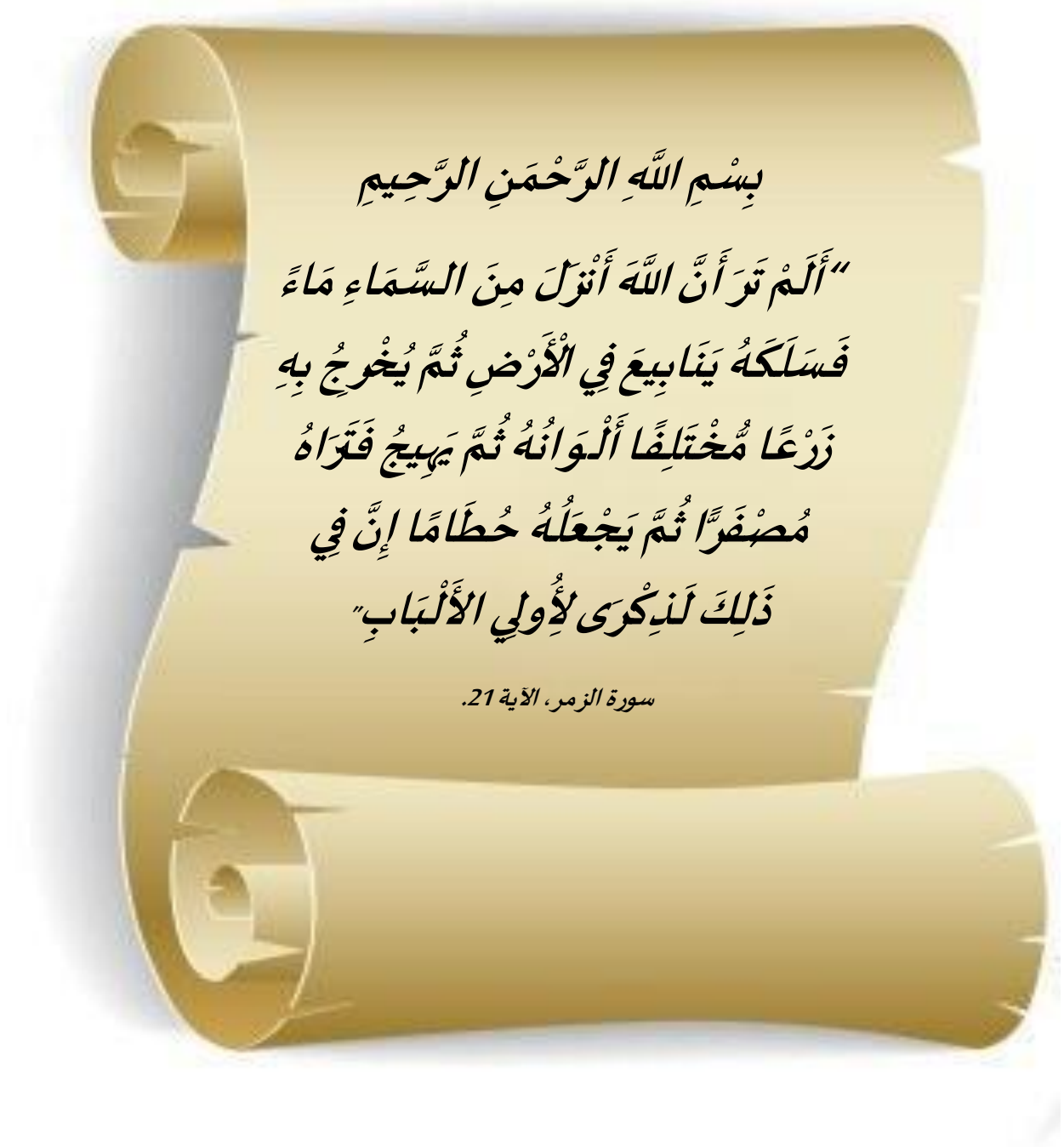
إعداد الطالب: محمد شاكر

تاريخ المناقشة: 28 ماي 2022

لجنة المناقشة:

الأستاذ الدكتور : فريد جعى	رئيسا (كلية الآداب والعلوم الإنسانية بني ملال)
الأستاذ الدكتور : محمد الغاشي	مشرفا (كلية الآداب والعلوم الإنسانية بني ملال)
الأستاذ الدكتور : رضوان ماضي	عضوا ومقررا (كلية الآداب والعلوم الإنسانية بني ملال)
الأستاذ الدكتور : أعفير مصطفى	عضوا (كلية الآداب والعلوم الإنسانية بني ملال)
الأستاذ الدكتور : سعيد عارف	عضوا (كلية الآداب والعلوم الإنسانية سايس-فاس)

2022-2021


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
"أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً
فَسَلَكَهُ يَنَابِيعَ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِ
زَرْعًا مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهِيجُ فَتَرَاهُ
مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطَامًا إِنَّ فِي
ذَلِكَ لَذِكْرَى لِأُولِي الْأَلْبَابِ"
سورة الزمر، الآية 21.

شكر وتقدير

قـــال الله تعالى: «ربي أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت علي وعلى والدي وأن أعمل صالحا ترضاه"

بعد الحمد والشكر لله عز وجل الذي أنار لي الطريق وعلى نعمه التي لا تعد ولا تحصى.

لم يكن لهذه الأطروحة أن تخرج في حلتها النهائية لولا الدور البارز والفعال في التوجيه والإشراف المستمرين من طرف أستاذي الفاضل الدّكتور **محمّد الغاشي**. فله أتقدم بأسمى عبارات الشكر والامتنان على قبوله الإشراف على هذه الأطروحة من جهة، وعلى مجهوداته التي بذلها في إرشادي للمسار الصحيح، وتقاسمه معي العناء من جهة أخرى. فقد وجدت فيه نعم الأستاذ المرشد والنصوح، فلم يتوان قط في استقبالي بصدر رحب، ولم يبخل علي بنصائحه القيمة وإرشاداته القويمة، فوجهني الوجهة السديدة التي أنارت طريقي أثناء إنجاز هذا العمل، فكان لي خير أستاذ وخير موجه ومشرف، فله منّي كلّ الشّكر والامتنان، وأسأل الله أن يزيده تعظيما وعلوا في العلم والدين والدنيا، وأن يطيل الله في عمره حتى يستمر في هذا العمل النبيل وينشر العلم لفائدة الطلبة الباحثين.

وأود أن أتوجه بالشكر والعرفان إلى السيد **أحمد لخيضر**، لما قدمه لي من توجيهات ومساندة طول مدة الإنجاز، ومرافقته لي طول خمسة سنوات خلال العمل الميداني، والمعلومات القيمة التي لم يبخل في منحها لي واستفادتي من تجربته الطويلة. لك مني سيدي كل عبارات الشكر والامتنان، ونطلب الله دوام الصحة والعافية وطول العمر لما تقدمه من خدمات جليلة في سبيل العلم والمعرفة.

كما أتوجه بشكر خاص إلى الأستاذ **فريد جعى** على توجيهاته القيمة وإرشاداته القويمة، والشكر الموصول إلى جميع أساتذة الجغرافيا بكلية الآداب والعلوم الإنسانية، وكل أساتذة وحدة التكوين: دينامية المشاهد، المخاطر والتراث الذين تعلمت على يدهم الشيء الكثير.

والشكر أيضا لكل **موظفي** الإدارات الذين ساهموا بمعلومات قيمة لإغناء هذا البحث وإخراجه إلى حيز الوجود وأخص بالذكر: **السيد أحمد مرنون، السيد بوشعيب الحقاني، السيد الشرقاوي السعدي، السيد عدنان والسيد عبد الواحد زكريا** موظفون بوكالة الحوض المائي لأم الربيع، وإلى موظفي المديرية الإقليمية للفلاحة بأزيلال وأخص بالذكر السيد **أمين أعجال**، وإلى موظفي المديرية الإقليمية للمياه والغابات بأزيلال.

كما أتقدم بأسمى عبارات الشكر والتقدير للجنة المناقشة التي تحملت عناء قراءة وفحص هذا العمل.

كما أخص بالشكر والامتنان زميلي وصديقي **عمر غضبان** على دعمه ومساندته وتشجيعاته المتواصلة، وتحمله معي عناء الخرجات الميدانية طوال فترات البحث. وشكر خاص للطلبة الدكاترة بوحدة التكوين **عمر أشهبون، طارق العرفي، حسن واخير، جواد الهواري** والأستاذة **نادية لحلو**، الذين لم يبخلوا علي بالمعلومات والنصائح والتوجيهات.

والشكر الموصول لأصدقائي وزملائي الأساتذة على مساعدتهم ودعمهم الدائم. وموفور الشكر لكل من ساهم من قريب وبعيد لإخراج هذا العمل المتواضع إلى حيز الوجود.

والشكر الأعظم **لوالدي العزيزين** الذين ثابرا وجاهدا وكدا لتدريسي، سائلا الله عز وجل أن يمدهما بالصحة والعافية والعمر المديد، وأخص بالشكر **زوجتي** العزيزة على عطائها ووفائها المستمرين ومساندتها ومشاركتها هموم دراستي، كما أشكر أبنائي وقرة عيني **دعاء وعلاء الدين وبيان** الذين تحملوا معي عناء إنجاز هذا البحث. كما أشكر **أختي وأخوتي** كل واحد باسمه على دعمهم وتشجيعهم المستمرين.

ملخص

دراسة إحصائية للشح والنضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): التحديد والاستخلاص والنمذجة وإشكالية التدبير (1978-2020) (الأطلس الكبير- المغرب)

أثرت التغيرات المناخية والأنشطة البشرية في التوازنات البيئية على مستوى العالم. ويعتبر المغرب من بين الدول المتأثرة بذلك، بحُكم موقعه ضمن المناخ الجاف وشبه الجاف، وبالإضافة إلى الاستغلال المفرط، أصبحت الموارد المائية أكثر هشاشة. يعتبر حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) نموذجا لهذا الوضع، ينتمي هذا الحوض إلى سلسلة جبال الأطلس الكبير الأوسط، الذي يمتد على مساحة 1307 كلم^2 والمتميز بتضاريس وعرة، تطبعها شدة الانحدارات. كما يتميز الحوض بقاعدة جيولوجية تغلب عليها رواسب اللياس والترياس المكونة أساسا من الصخور الكلسية والدولوميتية، حيث تمثل الصخور قوية ومتوسطة النفاذية 87 % من مجموع التشكيلات الصخارة، والتي تشكل خزانا هيدروجيولوجيا مهما.

ويعتر الماء محور الرهانات الاقتصادية والاجتماعية بالحوض (الفلاحة، الشرب، السياحة...)، ما يجعل جل الأنشطة البشرية تتركز بالقرب من مصادر المياه. وقد عملت الساكنة على تجهيز الأراضي والمصطبات وتشييد شبكة هيدروفلاحية مهمة لتحويل ونقل المياه نحو المجالات الفلاحية. وتبرز الاحتياجات المائية بشكل كبير، خصوصا المتعلقة بسقي هذه المجالات الفلاحية، خلال فترات نزول الصبيب.

وبالتالي، تتناول هذه الأطروحة إشكالية استخلاص وتحديد ونمذجة صبيب الشح الطبيعي، واختيار مؤشرات تدل على حدوثه، وذلك بناءً على دراسة إحصائية، بهدف تحديد الآليات والميكانزمات المتحكمة في هذا الحدث الطبيعي، وفي نفس الوقت تُراعي الخصوصيات المناخية والطبيعية بالإضافة إلى التأثير البشري. تم الاعتماد في هذه الدراسة من جهة، على المعطيات المناخية والهيدرولوجية لمحطتي الدراسة (أيت تمليل وتمسماط خلال السلسلة الإحصائية (1976-2016)، ومن جهة أخرى على معطيات الخرجات الميدانية التي أُجريت خلالها قياسات صبيب المجاري المائية وتتبع جودة المياه السطحية على مدى 4 سنوات (2017-2020)، وقد تم التركيز في انجازها على فترات نزول الصبيب. واعتمدنا في استخلاص مؤشرات صبيب الشح على ثلاث طرق إحصائية بمقاييس زمنية مختلفة؛ على المستوى الشهري باعتماد معدلات الصبيب الشهري الأدنى (QMNA)، وعلى المستوى اليومي، باعتماد معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم (VCN_d) من جهة، ومنحنى الصبيب اليومي المصنف من جهة أخرى.

على مستوى النتائج، شهدت مستويات صبيب الشح تباينا كبيراً على النطاق الزمني والمجالي، وهو أمر ملحوظ خلال السنوات التي شهد فيها الحوض فترات طويلة من الشح المائي ممتدة لعدة أشهر (سنتي 1983 و1984 مثلا)، كما عرفت عالية الحوض مستويات للشح المائي أقل شدة، إذ تتميز بصبيب مدعم بتغذية باطنية مهمة (50% من مجموع الصبيب الكلي حسب المؤشر الصبيب الأساس BFI). وبناءً على الدراسة الإحصائية والمقارنة لعدد من المؤشرات، تم اقتراح الصبيب المميز Q75 (75% من الصبيب المتجاوز) كعتبة للشح المائي لتحديد حالة الوضع الهيدرولوجي بحوض الدراسة (2,87 م^3/ث بمحطة تمسماط و 1,72 م^3/ث بمحطة أيت تمليل)، مع مراعاة نوع من التوازن في اختيار المؤشر الملائم، حتى لا يتم الاقتصار على الأحداث الهيدرولوجية الأقل ترددا، أو غير المتطرفة. وأظهرت دراسة فترات النضوب المائي باعتماد طريقة المنحنيات التسلسلية، تباين معاملاته على المستوى الزمني، هذه التغيرات مرتبطة بوتيرة تفريغ الفرشة الباطنية خلال فترات السنة، أما على المستوى المجالي، فقد تبين تفريغ بطيء للخزانات الجوفية بعالية الحوض (α=0,025)، على عكس سافلة الحوض التي تميزت بتفريغ سريع لها (α=0,035). وقد أظهرت الدراسة الميدانية (2017-2020)، اعتمادا على معامل النضوب المائي والمقطع والعائد الهيدرولوجيين، الإنتاجية القوية للموارد المائية بعالية الحوض، خصوصا خلال فترات الشح المائي. واستنادا إلى نتائج النمذجة الهيدرولوجية والدراسة الإحصائية، حاولنا التنبؤ بسيناريوهات صبيب الشح على المدى القريب باعتماد قوانين النضوب المائي حسب المعامل α والأنموذج الهيدرولوجي GR4J.

على مستوى تحليل العلاقة بين الموارد المائية والأنشطة البشرية، من خلال تحديد كميات المياه المستعملة في السقي، وتتبع جودة المياه السطحية، أظهرت النتائج ضغطا كبيرا على المواد المائية المتاحة، وتزايد الوضع حدة خلال فترات الشح المائي. وحسب المعايير الوطنية لجودة المياه، أظهرت المؤشرات حالة المياه الجيدة إلى متوسطة الجودة على مستوى الحوض خلال مختلف فترات السنة.

نخلص من خلال الدراسة، أن الموارد المائية تعرف هشاشة كبيرة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، خصوصا عند امتداد فترات غياب التساقطات المطرية (الجفاف المناخي) وتردد أحداث الشح المائي، حيث تتضاعف الحاجيات والطلبات على الماء. وبالتالي، فالوضع يستوجب تخطيطا متكاملا مع الأخذ في الاعتبار جميع الموارد المائية والاحتياجات، وكذلك العلاقات المتبادلة القائمة بين الإمكانات المائية والتنمية الاقتصادية وحتى الاجتماعية بشكل عام والحفاظ على الخدمات البيئية.

الكلمات المفاتيح: حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، موارد مائية، الشح المائي، نضوب، تحديد، نمذجة، أنشطة بشرية، تدبير.

Résumé

Etude 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)

Les changements climatiques et les activités humaines ont affecté les équilibres environnementaux dans le monde entier. Le Maroc, en raison de sa localisation dans le contexte climatique aride et semi-aride, est considéré parmi les pays les plus touchés. En plus de la surexploitation, les ressources en eau deviennent de plus en plus fragiles. Le bassin versant de l'oued de Tassaout (en amont du barrage Moulay Youssef) est parfaite illustration de ce fait, ce bassin appartient à la chaîne montagneuse du Haut Atlas central, il s'étend sur une superficie de 1 307 km^2 et par un relief fort, marqué par des pentes raides. Il possède également un substratum géologique du Lias et du Trias, formé principalement de calcaire et de dolomite. Les roches à forte et moyenne perméabilité représentent 87%, elles constituent un important réservoir hydrogéologique.

Par ailleurs, L'eau est au centre des enjeux économiques et sociaux dans le bassin versant (agriculture, eau potable, tourisme...), ce qui favorise une concentration de la plupart des activités humaines à proximité des sources d'eau. Les habitants ont préparé les terres et les terrasses et ont construit un système d'irrigation important pour détourner et transférer l'eau vers les champs agricoles. Les besoins en eau apparaissent alors très significatifs, notamment ceux liés à l'irrigation de ces champs agricoles, pendant les périodes de basses eaux.

De ce fait, l'objectif de la présente thèse est l'extraction, l'identification et la modélisation des débits d'étiages naturels et le choix des indicateurs qui approuvent leur occurrence, partant à la base d'une étude statistique dans le but de déterminer les mécanismes contrôlant cet événement naturel, tout en considérant les caractéristiques climatiques, naturelles et anthropiques. Cette étude s'est appuyée pratiquement, d'une part sur les données climatiques et hydrologiques des deux stations ; Ait Tamil et Tamsemat sur la chronique (1976-2016), et d'autre part sur les données issues des sorties de terrain pendant lesquelles ont été effectuées les mesures de débit et établi un suivi de la qualité des eaux de surface dans le bassin versant pendant 4 ans (2017-2020), notamment en périodes des basses eaux. Afin d'extraire les indicateurs de débit d'étiage, nous avons adopté trois méthodes statistiques à différentes échelles temporelles ; à l'échelle mensuelle, en utilisant le débit mensuel minimal annuel (QMNA), à l'échelle journalière, en utilisant d'un côté, le volume consécutif minimal pour « d » jours consécutifs (VCN_d), et de l'autre la courbe des débits classés.

En termes de résultats les périodes d'étiage connaissent une variabilité conséquente à l'échelle spatio-temporelle, remarquable durant les années ou le bassin versant a connu des périodes d'étiages longues étalées sur plusieurs mois (les années 1983 et 1984 en l'occurrence), et celle ou l'amont a révélé des étiages moins sévères, et un débit bien soutenu par les eaux souterraines (50% du module selon l'indice de débit de base BFI). Pour le choix du débit d'entrée aux étiages, le débit caractéristique Q_{75} (75 % du débit dépassé) a été fixé, sur la base d'une étude statistique et comparative, en vue de déterminer l'état de la situation hydrologique dans le bassin versant (2,87 m3/s à la station de Tamsemat et 1,72 m3/s à la station d'Ait Tamil). Une sorte d'équilibre a été pris en compte dans le choix de l'indicateur adéquat, afin de ne pas se limiter à des événements hydrologiques plus extrêmes ou plus fréquents. L'étude de tarissements, en adoptant la méthode des courbes séquences, a montré une variabilité des coefficients à l'échelle temporelle. Ces changements sont liés aux rythmes de vidange de la nappe souterraine au cours de l'année. Quant à l'échelle spatiale, il a été confirmé que la vidange des aquifères dans l'amont du bassin versant est très lente, (α= 0,025), en revanche, l'aval se caractérise par une vidange rapide (α =0,035). L'étude de terrain (2017-2020), basée sur le coefficient de tarissement, le profil et le rendement hydrologique, a montré l'importance du soutien hydrologique dans l'amont du bassin versant, notamment en périodes des étiages. Suivant des résultats de la modélisation hydrologique et de l'étude statistique, nous avons essayé de prédire les scénarios de débit d'étiage à court terme en adoptant les coefficients de tarissements α et le modèle hydrologique GR4J.

Au niveau de l'analyse de la relation entre les ressources en eau avec les activités humaines à travers la quantification de l'eau utilisée pour l'irrigation, et le suivi de la qualité des eaux de surface, les résultats ont montré une forte pression sur les ressources en eau disponibles. Cette situation s'aggrave en périodes d'étiages. Les eaux de surface sont de bonnes à moyennes qualités selon les normes de qualité nationale à différentes périodes de l'année.

En somme, L'étude a révélé une grande vulnérabilité des ressources en eau dans le bassin versant de l'oued de Tassaout (en amont du barrage Moulay Youssef), surtout lorsque les pluies sont rares pendant de longues périodes (sécheresse climatique) et l'occurrence des étiages, alors que les besoins et demandes en eau ne cessent d'augmenter. Ainsi, la situation nécessite une planification intégrée prenant en considération l'ensemble des ressources et des besoins en eau, ainsi que les interrelations existantes entre le potentiel hydrique, le développement économique voire social en général et la nécessité de protection du milieu naturel.

Mots clés : Bassin versant de l'oued de Tassaout (en amont du barrage Moulay Youssef), Ressource en eau, Etiage, Tarissement, Identification, Modélisation, Activités humaines, Gestion.

Abstract

Statistical study of low flow and drying up in the watershed of the Tassaout wadi (Upstream of the Moulay Youssef Dam): Determination, extraction, modeling and management issues (1978-2020) (High Atlas - Morocco)

Climate change and human activities have affected environmental balances all over the world. Morocco, due to its location in the arid and semi-arid climatic context, is considered among the affected countries. In addition to overexploitation, water resources become increasingly fragile. The Tassaout watershed (upstream of the Moulay Youssef dam) is a perfect illustration of this fact, this basin belonging to the mountain range of the central High Atlas, it extends over an area of 1,307 km2 and has a strong relief that is marked by steep slopes. The basin also has Liassic and Triassic geological bedrock, formed mainly of limestone and dolomite. Rocks with high and medium permeability represent 87%, of the total rock formations, and they constitute an important hydrogeological reservoir.

Moreover, is at the centre of economic and social challenges in the watershed (agriculture, drinking water, tourism, etc.), which promotes a concentration of most human activities near water sources. The inhabitants prepared the land as well as terraces and built a major irrigation system to divert and transfer water to farm fields. The water needs then appear to be very significant, especially those needed to irrigate these farm fields, during low water periods.

Thereby, the objective of this thesis is the extraction, identification and modelling of natural events of low flow in addition to the choice of indicators that approve their occurrence, based on a statistical study with the aim of determining the mechanisms controlling this natural event, while considering the climatic, natural, and anthropogenic characteristics. This study was based practically on the one hand on the climatic and hydrological data of the two stations; Ait Tamil and Tamsemat on the chronicle (1976-2016), and on the other hand on the data from the field trips during which the flow measurements were carried out and established a monitoring of the quality of surface water in the basin for 4 years (2017-2020), especially during periods of low water. To extract the low flow indicators, we relied on three statistical methods at different time scales: on a monthly scale, using the annual minimum monthly flow rate (QMNA), on a daily scale, using the minimum consecutive volume for "d" consecutive days (VCN_d) on one side, and the classified flow curve on the other.

In terms of results, the low flow periods experience significant variability on the spatio-temporal scale, remarkable during some years when the basin experienced long low flow periods spread over several months (the years 1983 and 1984 in this case), and the one where the upstream revealed less severe low flow levels, and a flow well supported by groundwater (50% of the module according to the BFI base flow index). For the choice of the inlet flow at low flow levels, the characteristic flow Q75 (75% of the flow exceeded) was set on the basis of a statistical and comparative study, with a view to determining the state of the hydrological situation in the in the watershed (2,87 m3/s at Tamsemat station and 1,72 m3/s at Ait Tamil station). A sort of balance has been considered in the choice of the appropriate indicator, so as not to be limited to more extreme or more frequent hydrological events. The study of dry periods, by adopting the method of sequence curves, showed a variability of the coefficients on a temporal scale. These changes are linked to the groundwater discharge rates during the year. As for the spatial scale, it was confirmed that the emptying of the aquifers in the upstream of the basin is very slow, ($\alpha = 0.025$), on the other hand, the downstream of the watershed is characterized by a rapid emptying ($\alpha = 0.035$). The field study (2017-2020), based on the depletion coefficient, profile, and hydrological yield, showed the importance of hydrological support upstream of the basin, particularly during low-flow periods. Following the results of the hydrological modelling and the statistical study, we tried to predict the low-flow scenarios in the short term by adopting the depletion coefficients α and the hydrological model GR4J.

At the level of the analysis of the relationship between water resources and human activities through the quantification of the water used for irrigation, and the monitoring of the quality of surface water, the results showed a strong pressure on available water resources. This situation worsens during low-flow periods. The surface water of the basin is of good to average quality according to national quality standards at different times of the year.

In sum, the study revealed a great vulnerability of water resources in the Tassaout watershed (upstream of the Moulay Youssef dam), especially when rains are rare for long periods (climatic drought) and the occurrence of low flow events, then that the needs and demands continue to increase. Thus, the situation requires integrated planning taking into consideration all water resources and needs as well as the existing interrelationships between water potential, economic and even social development in general, and the need to protect the natural environment.

Keywords: Tassaout watershed (upstream of the Moulay Youssef dam), Water resources, Low flow, Drying up, Identification, Modelling, Human activities, Management.

لائحة المختصرات

ABHOER: (L'agence Hydraulique du Bassin de l'Oum Er Rbia) وكالة الحوض المائي لأم الربيع

DPA: (Direction provinciale d' agriculture) المديرية الإقليمية للفلاحة

MNT: (Modèle Numérique de Terrain) النموذج الرقمي للأراضي

SIG: (Système d' information géographique) نظم المعلومات الجغرافية

CEMAGREF: (Centre d'Étude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts) مركز دراسة الآلات الزراعية والهندسة الريفية للمياه والغابات

CV: (Coefficient de Variation) معامل التغيير

SPI: (Indice Standardisé des Précipitations) المؤشر القياسي للتساقطات المطرية

CMP: (Coefficient Mensuel de la Précipitation) المعامل الشهري للتساقطات المطرية

ETP:(Évapotranspiration Potentielle) التبخر-النتح الفعلي

CMD: (Coefficient Mensuel de Débit) المعامل الشعري للصبيب

ETP: (Evapotranspiration) التبخر- النتح

QMNA : (débit mensuel minimal annuel) معدل الصبيب الشهري الأدنى خلال السنة.

VCN_d: (Volume Consécutif Minimal pour d jours) معدل الصبيب اليومي الأدنى خلال السنة على مدى d يوم.

CDC : (courbe des débits classés) منحنى الصبيب المصنف.

DCE : (Débit Caractéristique d'Etiage) الصبيب المميز للشح.

MAM_d (Mean Annuel d-day Minimum flow): معدل الصبيب اليومي الأدنى خلال السنة على مدى d يوم.

DCE (Débit Caractéristique d'Etiage): الصبيب المُميّز للشح

EA (Etiage absolu): الشح المائي المطلق

Q_x : الصبيب اليومي المصنف بنسبة x%

Ic (Indice de courbure): مؤشر الانحناء ؛

Qb (Débit de base): الصبيب الأساس

$Q_{0,25}$ (Quantile inférieur): الربيع الأدنى.

$Q_{0,50}$ (Médiane): الوسيط.

$Q_{0,75}$ (Quantile Supérieur): الربيع الأعلى.

SPA (Sequent Peak Algorithm SPA): خوارزمية الذروات المتتالية

SR (Ratio Saisonnier) : نسبة الموسمية.

DOE (Débit Objectif d'étiage): الصبيب المستهدف للشح.

CEGUM: (Le Centre d'études géographiques de l'Université de Metz) مركز الدراسات الجغرافية التابع لجامعة ميتز

SPS: (Seuil de Précipitations Significatives) عتبة التساقطات المطرية المعبرة

DMP: (Durée Minimum de la Phase de tarissement) المدة الأدنى لفترة النضوب المائي

TR: (Temps de Ressuyage) المدة المخصصة للإفراغ

BFI: (Indice de débit de base) مؤشر الصبيب الأساس

SDAGE: (Schémas directeurs d'aménagement et de gestion de l'eau) المخطط المديري لتهيئة وإدارة المياه

الفـــــهــرس

ملخص _____ iii
Résumé _____ iv
Abstract _____ v
لائحة المختصرات _____ vi
تقــديم عـام: _____ 1
مـقدمة _____ 2
I. دوافع اختيار الموضوع ومجال الدراسة _____ 5
II. تقديم مجال الدراسة _____ 5
III. إشكالية الأطروحة _____ 7
IV. المنهجية المعتمدة في دراسة الشح المائي _____ 8
1. العمل الميداني _____ 8
2. التحليل الإحصائي _____ 12
V. أهداف الأطروحة _____ 13
VI. الأدوات والمقاربات المعتمدة في الدراسة _____ 13
VII. المعطيات المستعملة في الدراسة _____ 14
VIII. الكلمات المفاتيح في الدراسة _____ 15
IX. بنية البحث _____ 17

القسم الأول: حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): الخصائص الطبيعية والبشرية والإطار النظري والمنهجي للشح المائي _____ 20
مقدمة القسم الأول _____ 21

الفصل الأول: الخصائص الطبيعية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ ***22***
مقدمة الفصل الأول _____ 22
المحور 1: الخصائص الهندسية والتضاريسية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 23
I. الخصائص الهندسية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 23
II. الخصائص التضاريسية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 25
1. التوزيع المجالي للارتفاعات _____ 25
2. المنحنى الهيبسومتري _____ 27
3. الانحدار _____ 28
4. توجيه السفوح _____ 31
III. الشبكة الهيدروغرافية داخل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) : _____ 33
1. تحديد وتنميط الشبكة الهيدروغرافية _____ 33
3. المقطع الطولي للمجرى _____ 35
المحور 2: الخصائص الجيولوجية والغطاء النباتي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 37
I.الخصائص الجيولوجية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 37
1. التطور البنائي للأطلس الكبير الأوسط _____ 37
2. الخصائص الصخارية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 38
3. الطبوغرافيا وتطور الشبكة الهيدروغرافية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 41
4. النفاذية _____ 41
II. الغطاء النباتي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): _____ 45
1. الغطاء الغابوي _____ 45
2. الماطورال _____ 45
3. الأحراش المنخفضة _____ 47
4. السهوب الجفيفة الشوكية _____ 47
5. المغروسات _____ 47

خاتمة الفصل الأول 48
الفصل الثاني: حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): الخصائص البشرية والرهانات الاقتصادية 49
مقدمة الفصل الثاني 49
المحور 3: الخصائص البشرية وتوزيعها داخل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) 50
I. النمو الديمغرافي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) 50
1. الحدود الإدارية ضمن حوض الدراسة 50
2. النمو الديمغرافي بمجال الدراسة 50
3. السكن والأسواق 52
1.3 السكن 52
2.3 الأسواق 52
II. الأنشطة الاقتصادية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) 53
1. الأنشطة الزراعية 53
2. تربية الماشية 53
3. السياحة 54
4. الصناعة التقليدية 56
5. مهن مختلفة 56
المحور 4: الماء والفلاحة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) 57
I. الماء ركيزة لتطور القطاع الفلاحي 57
II. دور سد مولاي يوسف في التنمية الفلاحية لمنطقة الحوز 59
خاتمة الفصل الثاني 60
الفصل الثالث: صبيب الشح والنضوب المائي: الإطار النظري والمنهجي 61
مقدمة الفصل الثالث 61
المحور 5: التعريف الهيدرولوجي والإحصائي للشح المائي 62
I. التعاريف الهيدرولوجية للشح المائي 62
1. تعريف عام للشح المائي 62
2. التمييز بين صبيب الشح وفترات نزول الصبيب 63
3. الجفاف الهيدرولوجي والشح المائي 64
II. الإطار المنهجي للشح المائي 66
1. الشح المائي الناتج عن منحنى الصبيب المصنف 66
2. الشح المائي على المستوى السنوي 68
1.2 الشح المائي باعتماد المعدل الشهري الأدنى (QMNA) 68
2.2 دراسة الشح المائي باعتماد المعدلات اليومية الأدنى (VCN_d) 70
3. المؤشرات المستخرجة من صبيب العتبة: حجم ومدة العجز 73
المحور 6: تعريف وطرق تحديد النضوب المائي 76
I. تعريف النضوب المائي 76
II. طرق تحديد النضوب المائي 78
1. المقاربة الكلاسيكية للنضوب المائي: المنحنى المغلف 78
2. المقاربة الآلية للنضوب المائي: المنحنى التنازلي 78
3. المقاربة التحليلية للنضوب المائي: المنحنى التسلسلي 79
خاتمة الفصل الثالث 81
خاتمة القسم الأول 82
القسم الثاني: الاشتغال الهيدرو مناخي بحوض تساوت عالية سد مولاي يوسف (1976-2016) 83
مقدمة القسم الثاني 84
الفصل الرابع: تحليل تغايرية التساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1976-2016) 85

مقدمة الفصل الرابع _____ 85
المحور 7: تقديم المحطات المدروسة ونقد المعطيات بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 86
I. تقديم محطات قياس التساقطات المطرية بالمجال _____ 86
II. نقد ومعالجة معطيات التساقطات المطرية والسياق المناخي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 88
1. ملء الفراغات بمحطات الدراسة. _____ 88
1.1 ملء الفراغات على المستوى الشهري بالاعتماد على طريقة الترابط الخطي _____ 88
1.2 ملء الفراغات بالاعتماد على الترابط السنوي داخل نفس المحطة _____ 89
2. مجانسة المعطيات: طريقة التراكم المزدوج _____ 91
3. تحديد مجالات التساقطات المطرية المتجانسة: طريقة المتجهة الإقليمية _____ 91
4. معايير اختيار محطات قياس التساقطات المطرية _____ 93
4.1 موقع محطات قياس التساقطات المطرية حسب الارتفاع _____ 93
4.2 السياق المناخي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 96
4.3 السلسلة الإحصائية لمحطات الدراسة _____ 97
المحور 8: الدراسة الإحصائية للتساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1976-2016) _____ 99
I. التوزيع المجالي للتساقطات المطرية السنوية _____ 100
1 . التوزيع المجالي للتساقطات المطرية السنوية باعتماد طريقة تيسان _____ 100
2. التوزيع المجالي للتساقطات المطرية السنوية باعتماد طريقة "كريج" _____ 102
3. التوزيع المجالي للتساقطات المطرية السنوية باعتماد طريقة المسافات العكسية _____ 103
II. دراسة تغايرية التساقطات المطرية على المستوى السنوي _____ 105
1. توزيع التساقطات المطرية السنوية باعتماد طريقة المعدل الحسابي _____ 105
2. معالجة معطيات السلسلة الإحصائية للتساقطات المطرية السنوية باعتماد طريقة CUSUM _____ 106
3. معامل تغيير التساقطات المطرية السنوية: _____ 107
4. المؤشر القياسي للتساقطات المطرية _____ 108
5. دراسة توزيع وتردد التساقطات المطرية السنوية _____ 110
5.1 تطبيق قانون Ln Normale على التساقطات المطرية السنوية _____ 110
5.2 حساب فترات الرجوع للتساقطات المطرية السنوية _____ 113
III. دراسة تغايرية التساقطات المطرية على المستوى الشهري _____ 113
1. التوزيع المجالي للتساقطات المطرية الشهرية _____ 113
2. معدل التساقطات المطرية على المستوى الشهري _____ 115
3. معامل تغيير التساقطات المطرية على المستوى الشهري _____ 116
4. المعامل الشهري للتساقطات المطرية _____ 117
IV. دراسة تغايرية التساقطات المطرية على المستوى اليومي _____ 118
1. استخلاص عدد الأيام المطيرة على المستوى السنوي _____ 118
2. تردد قيم التساقطات المطرية اليومية _____ 119
3. استخلاص شدة وعدد الأيام المطيرة حسب العتبات _____ 119
4. استخلاص عدد الأيام المطيرة على المستوى الشهري _____ 122
5. توزيع عدد الأيام المطيرة على المستوى الشهري _____ 123
6. دراسة معدل الدورة الموسمية للتساقطات المطرية اليومية _____ 123
خاتمة الفصل الرابع: _____ 125
الفصل الخامس: دراسة وتحليل تغايرية درجات الحرارة والتبخر-النتح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1986-2016) 126
مقدمة الفصل الخامس _____ 126
المحور 9: دراسة تغايرية درجات الحرارة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 127
I. تقديم محطات قياس درجات الحرارة والتبخر _____ 127
II. دراسة تغايرية درجات الحرارة على المستويين السنوي والشهري _____ 128

1. المعدل السنوي لدرجة الحرارة 128
2. المعدل الشهري لدرجة الحرارة 129
3. درجات الحرارة العليا والدنيا 129
III . دراسة تغايرية درجات الحرارة على المستوى اليومي 130
1. المعدل اليومي لدرجات الحرارة 130
2. التغايرية اليومية لدرجات الحرارة 131
3. تغايرية المدى الحراري 132
4. تردد درجات الحرارة اليومية 132
المحور 10: دراسة التبخر-النتح وحساب الميزانية المائية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) 134
I. دراسة التبخر-النتح على المستويين السنوي والشهري 134
1. التبخر-النتح المحتمل 134
1.1. طريقة تورنطوايت 134
2.1. طريقة تيورك 135
2. التغايرية السنوية للتبخر-النتح المحتمل 135
3. التغايرية الشهرية للتبخر-النتح المحتمل 136
II. الميزانية المائية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1986 - 2016) 137
1. المتغيرات المعتمدة في إنجاز الميزانية المائية 137
2. نتائج الميزانية المائية 137
خاتمـة الفصل الخامس: 139

الفصل السادس: الخصائص الهيدرولوجية وأنماط الجريان لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016) 140

مقدمـة الفصل السادس 140
المحور 11: نقد ومعالجة معطيات الصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016) 141
I. تقديم محطات قياس الصبيب: 141
II. نقد ومعالجة معطيات الصبيب 142
1. ملء معطيات الصبيب بمحطة تمسماط 142
2. دراسة تجانس معطيات السلسلة الإحصائية للصبيب السنوية 144
المحور 12: التغايرية الزمنية والمجالية للصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016) 146
I. دراسة تغايرية الصبيب على المستوى السنوي 147
1. تحديد التغايرية السنوية للصبيب 147
2. معامل تغيير الصبيب 149
3. التغايرية الزمنية والمجالية للصبيب 150
4. تردد وتوزيـع الصبيب السنوي 151
1.4. تطبيق قانون Ln Normale على الصبيب السنوي 151
2.4. حساب فترات الرجوع للصبيب السنوية 153
II. دراسة تغايرية الصبيب على المستوى الشهري 153
1. التغايرية الشهرية لمعدلات الصبيب 153
2. المعامل الشهري للصبيب 155
3. استخلاص الصبيب الشهري الأدنى 156
4. المعدلات الشهرية للصبيب باعتماد مخطط الصندوق 157
III.دراسة تغايرية الصبيب على المستوى اليومي 158
1. التغايرية اليومية لمعدلات الصبيب 158
2. تحليل الصبيب اليومي المصنف 159
3. التردد اليومي لقيم الصبيب 160
4. المعدلات اليومية القصوى للصبيب 161

5. توزيع المعدلات الدنيا للصبيب اليومي _____ 162
IV. علاقة التساقطات المطرية بالصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978 – 2016) _____ 163
1. العلاقة بين التساقطات المطرية والصفيحة المائية المتدفقة على المستوى السنوي للصبيب _____ 163
2. حاصل وعجز الجريان السنوي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978 – 2016): _____ 164
3. علاقة الترابط الخطي بين التساقطات المطرية والصبيب على المستوى السنوي _____ 164
4. العلاقة بين التساقطات المطرية والصبيب على المستوى الشهري _____ 165
خاتمة الفصل السادس: _____ 167
خاتمة القسم الثاني _____ 168

القسم الثالث: التحليل الإحصائي للشح والنضوب المائي وتحديد العتبات بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016)
169 _____
مقدمة القسم الثالث _____ 170

الفصل السابع: تحديد واستخلاص صبيب الشح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978 - 2016) _____ ***173***
مقدمة الفصل السابع _____ 173
المحور 13: تحديد واستخلاص صبيب الشح باعتماد معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016) _____ 174
I. تعريف ومنهجية العمل _____ 174
1. تعريف معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) _____ 174
2. الإطار المنهجي لدراسة معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) _____ 174
II. نتائج استخلاص وتحليل معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) _____ 175
1. تغيرات وتوزيع معدلات الصبيب الشهري الأدنى: QMNA _____ 175
2. تحليل معدل الصبيب الشهري الأدنى باعتماد طريقة CUSUM _____ 176
3. تردد ظهور الصبيب الشهري الأدنى QMNA _____ 177
4. تحليل تردد الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) _____ 177
المحور 14: تحديد واستخلاص صبيب الشح باعتماد معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016) _____ 180
I. تعريف ومنهجية العمل. _____ 180
1. تعريف معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d). _____ 180
2. الإطار المنهجي لدراسة معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) _____ 180
II. نتائج استخلاص وتحليل معدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) _____ 181
1. استخلاص معدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) _____ 181
2. التغايرية السنوية لمعدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) _____ 182
3. رتب الشح المائي حسب معدلات الصبيب اليومي الأدنى _____ 184
4. مقارنة معدل الصبيب اليومي الأدنى للسنوات المرجعية والمعدل البيسنوي. _____ 185
5. معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) باعتماد مخطط الصندوق. _____ 186
6. دراسة تردد معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) حسب قانون Ln-Normale. _____ 187
7. تردد معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) باعتماد طريقة صبيب-مدة- تردد (QdF) _____ 188
1.7 التردد التجريبي ل **$lnVCN_d$** حسب قانون **ln Normale** بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 188
2.7 تصنيف نظام صبيب الشح بحوضي أيت تمليل وتساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 190
3.7 التراجع النظري بين الفترات المختلفة لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) _____ 191
4.7 تعديل معدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN) بدلالة المدة d _____ 191
المحور 15: تحديد واستخلاص صبيب الشح باعتماد منحنى الصبيب اليومي المصنف بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016) _____ 193
I. منهجية دراسة الشح المائي باعتماد منحنى الصبيب اليومي المصنف _____ 193
1. تعريف منحنى الصبيب اليومي المصنف _____ 193

2. الإطار المنهجي لدراسة الشح المائي باعتماد منحنى الصبيب اليومي المصنف 193
II. نتائج استخلاص وتحليل الشح المائي باعتماد منحنى الصبيب اليومي المصنف 194
1. منحنى الصبيب اليومي المصنف باعتماد الطريقة الشاملة (1978-2016) 194
2. منحنى الصبيب اليومي المصنف باعتماد طريقة المعدل السنوي للمنحنيات 196
1.2 تمثيل منحنى الصبيب اليومي المصنف باعتماد طريقة المعدل السنوي للمنحنيات (1978-2016) 196
2.2 تمثيل منحنى الصبيب اليومي المصنف للسنوات القصوى (1978-2016) 197
3.2 متغيرات الصبيب اليومي المصنف باعتماد مخطط الصندوق بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) 198
4.2 الترابط الخطي بين متغيرات الصبيب المصنف السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) 199
5.2 دراسة تردد الصبيب اليومي المصنف على المستوى السنوي حسب قانون Ln-Normaleبمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) 201
3. مقارنة المتغيرات المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي والشامل 205
المحور 16: مقارنة مؤشرات صبيب الشح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) 206
I. مقارنة معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما (VCN30) ومعدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) 206
1. تغايرية معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما (VCN30) ومعدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) 206
2. اختبار معامل الترابط الخطي 207
3. اختبار التباين (Fisher, 1986) و (Levene, 1960) 207
4. التقويم الزمني لمعدل الصبيب الشهري الأدنى ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوم 208
II. مقارنة مؤشرات صبيب الشح على المستوى الشهري واليومي بمؤشرات منحنى الصبيب اليومي المصنف 209
خاتمة الفصل السابع 211
الفصل الثامن: تحديد عتبات ظهور الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) ***212***
مقدمـة الفصل الثامن 212
المحور 17: تحديد شدة الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) 213
I. شدة الشح المائي باعتماد عدد الأيام تحت العتبات 213
1. عدد الأيام تحت معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/2 و 1/5 و1/10 ($QMNA_{(T)}$) 213
2. عدد الأيام تحت معدلات الصبيب اليومي الأدنى بتردد (T) ($VCN_d(T)$) 214
3. عدد الأيام تحت العتبات المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف (1978-2016) 216
II. العجز المائي باعتماد الخوارزمية SPA 218
1. مؤشرات صبيب الشح كعتبات لاستخلاص فترات العجز المائي 218
2. موسمية فترات العجز المائي 222
3. نسبة الموسمية 227
المحور 18: تحديد عتبات ظهور الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) 230
I. تعريف ومنهجية العمل 230
1. تعريف عتبات صبيب الشح 230
2. منهجية تحديد عتبات صبيب الشح 230
3. أهم الدراسات المنجزة 230
II. نتائج تحديد عتبات الصبيب كمؤشرات لدراسة فترات الشح المائي 231
1. عتبات ظهور الشح المائي انطلاقا من منحنى الصبيب اليومي المصنف 231
2. عتبات ظهور الشح المائي انطلاقا من الصبيب المنوال 233
3. تصنيف المؤشرات الإحصائية حسب المعدل السنوي لأيام العجز 234
4. تصنيف المؤشرات الإحصائية حسب الصبيب النوعي 235
5. مؤشر Q_{75} كعتبة لتحديد حالة الوضع الهيدرولوجي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) 238
خاتمة الفصل الثامن 239
الفصل التاسع: النضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016) ***240***
مقدمة الفصل التاسع 240

المحور 19: استخلاص وتحليل فترات النضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) 241
I. تذكير : تعريف النضوب المائي 241
II. أهداف دراسة النضوب المائي 241
III. اختيار طريقة استخلاص فترات النضوب المائي 241
IV. المعطيات والمتغيرات المعتمدة في استخلاص فترات النضوب المائي 242
1. البيانات المستعملة في استخلاص فترات النضوب المائي 243
2. المتغيرات المعتمدة في استخراج فترات النضوب المائي 243
3. حدود فترات النضوب المائي 243
V. نتائج استخلاص وتحليل فترات النضوب المائي 245
1. معالجة وتحليل المنحنيات التسلسلية للنضوب المائي 245
1.1. دراسة المنحنيات التسلسلية على المستوى السنوي 245
1.1.1 استخلاص المنحنيات التسلسلية 245
2.1.1 التغيرات السنوية لمعامل النضوب المائي 253
3.1.1 التردد السنوي لعدد فترات النضوب المائي 253
2.1. دراسة المنحنيات التسلسلية على المستوى الشهري 254
1.2.1 نظام معاملات النضوب المائي 254
2.2.1 التردد الشهري لفترات النضوب المائي 255
3.2.1 تردد مدة النضوب المائي 256
2. تغايرية معاملات النضوب المائي 256
1.2. عوامل التغير الزمني لمعامل النضوب المائي 257
1.1.2 علاقة معامل النضوب المائي بالتبخر-النتح 257
2.1.2 علاقة تغير معاملات النضوب المائي بمعدل الصبيب السنوي 258
3.1.2 صبيب بداية فترة النضوب المائي Q_0 258
2.2. البحث عن قيمة وحيدة لمعاملات النضوب المائي انطلاقا من المنحنيات التسلسلية 259
1.2.2 إعداد المنحنى الرئيسي للنضوب المائي 259
1.1.2.2 تحقيق الارتباط بين الفترات t وحساب الانحدارات باعتماد طريقة الترابط الخطي 260
2.1.2.2 إنشاء المنحنى الرئيسي للنضوب المائي باعتماد طريقة الانحدار 262
2.2.2 التوزيع الإحصائي لمعامل النضوب المائي 263
3.2.2 التعديل الإحصائي لمعامل النضوب المائي 264
4.2.2 تمثيل معاملات النضوب المائي حسب مخطط الصندوق 264
المحور 20: النضوب المائي وعلاقته بالجريان السطحي والباطني بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) 266
I. تعريف ومنهجية العمل 266
1. تعريف أنواع الجريان 266
2. علاقة الصبيب الأساس بالنضوب المائي 267
3. منهجية تحديد الصبيب الأساس 268
II. نتائج فصل الصبيب الأساس عن الصبيب الكلي 269
1. فصل وتحديد الصبيب الأساس 269
2. مؤشر الصبيب الأساس 270
3. نظام الصبيب الأساس 272
خاتمة الفصل الثامن 274
خاتمة القسم الثالث 275
القسم الرابع: مظاهر وتجليات الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): التتبع والقياس والنمذجة والتدبير 276
مقدمة القسم الرابع: 277
الفصل العاشر: تتبع وقياس الصبيب خلال فترات الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (2017-2020) 278
مقدمة الفصل العاشر 278
المحور 21: الإشكالية والمنهجية المعتمدة في الدراسة الميدانية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) 279

I. الإشكالية _____ 279
II. المنهجية المعتمدة _____ 279
1. اختيار نقط القياس _____ 280
2. إنشاء محطات القياس _____ 282
3. تخطيط برنامج حملات القياس _____ 283
4. صبيب المجرى المائي وطرق قياس الصبيب _____ 283
1.4. طرق قياس الصبيب _____ 283
2.4. القياس باستكشاف مجال السرعة _____ 284
3.4. معدات قياس الصبيب _____ 285
المحور 22: نتائج تتبع وقياس الصبيب والدراسة المجالية للشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (2017-2020)288
I. العلاقة ارتفاع-صبيب لنقط القياس _____ 288
II. دراسة العلاقة بين معطيات نقط القياس _____ 289
1. الترابط الخطي بين نقط القياس _____ 289
2. العلاقة بين نقط القياس باعتماد طريقة التراكم المزدوج _____ 290
III. معامل النضوب المائي انطلاقا من القياسات اللحظية _____ 291
IV. المقطع الهيدرولوجي _____ 292
V. كرطوغرافيا العائد الهيدرولوجي _____ 293
خاتمة الفصل التاسع _____ 297
الفصل الحادي عشر: نمذجة صبيب الشح والنضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 298
مقدمـة الفصل الحادي عشر _____ 298
I. تعريف وأهمية النمذجة في الدراسات الهيدرولوجية _____ 299
1. تعريف النمذجة _____ 299
2. أهمية نمذجة صبيب الشح في الدراسات الهيدرولوجية _____ 299
3. أهداف نمذجة صبيب الشح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 300
4. أية علاقة ما بين نمذجة صبيب الشح والتدبير المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 300
II. الإطار المنهجي لنمذجة الصبيب _____ 300
1. نمذجة الجريان باستعمال أنموذج الهندسة الريفية GR4J _____ 300
2. نمذجة الجريان باستعمال الأنموذج الهيدرولوجي GARDÉNIA _____ 302
III. المعطيات المعتمدة وإجراءات تنفيذ الأنموذجين GR4J و GARDÉNIA _____ 305
1. تهيئة الأنموذج الهيدرولوجي واختيار فترة البدء _____ 305
2. المعايرة والتحقق من الأنموذج الهيدرولوجي _____ 305
3. السلسلة الإحصائية المعتمدة في الأنموذج الهيدرولوجي _____ 306
IV مؤشرات الأداء لنمذجة الصبيب المقيس _____ 306
1. مؤشرات الأداء لمخرجات الصبيب في شموليته _____ 307
2. مؤشرات الأداء لنمذجة صبيب الشح _____ 308
V. نتائج النمذجة الهيدرولوجية _____ 309
1. نتائج تثبيت الأنموذجين GR4J و GARDÉNIA. _____ 309
2. نتائج التحقق من الأنموذجين GR4J و GARDÉNIA. _____ 312
3. النمذجة الهيدرولوجية أداة للتنبؤ بالشح والنضوب المائي _____ 315
1.3. الإشكالية _____ 315
2.3. المنهجية المعتمدة في التنبؤ بصبيب الشح والنضوب المائي _____ 316
3.3. إجراءات تقييم الأداء للتنبؤ بالشح المائي _____ 316
4.3. نتائج التنبؤ بصبيب الشح والنضوب المائي _____ 318
خـاتمة الفصل الحادي عشر _____ 321

الفصل الثاني عشر: الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): المظاهر والتجليات والتأثير وآفاق التدبير _____ 322
مقـدمة الفصل الثاني عشر _____ 322
المحور 23: الأنشطة الفلاحية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): الانعكاسات والتقييم _____ 323
I. الشبكة الهيدروفلاحية و تنظيم المجالات المسقية _____ 323
1. نظام السواقي بالمجالات المسقية _____ 323
2 مستجمعات المياه: تافراوت _____ 326
3 تجهيز المشارات الفلاحية المسقية _____ 327
4 صيانة التجهيزات المائية _____ 327
II. مظاهر الحق في مياه السقي _____ 329
1. القوانين والأعراف المنظمة لتوزيـع الماء _____ 329
2. المعيار المعتمد لتوزيـع مياه السقي: _____ 329
3. عدد الدواوير المستفيدة من الدورة السقوية _____ 330
4. نظام الدورة السقوية (النوبة) _____ 331
III. كارطوغرافيا التجهيزات الهيدروفلاحية والمجالات المسقية _____ 332
IV. تقدير كميات المياه المجلوبة _____ 340
1. نظام سقي المزروعات _____ 340
2. تقدير الكميات المائية الموجهة لسقي المجالات الفلاحية على المستوى السنوي _____ 341
3. تقدير الكميات المائية الموجهة لسقي المجالات الفلاحية على المستوى الشهري _____ 343
المحور 24: الشح المائي وجودة المياه السطحية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): المظاهر والتأثير _____ 345
I. تقديم نقط القياس واختيار معايير تتبع جودة المياه _____ 345
1. نقط تتبع جودة المياه _____ 345
2. معايير الجودة المعتمدة في تتبع جودة المياه _____ 346
II. نتائج تتبع جودة المياه _____ 350
1. تغيرات درجات حرارة الماء _____ 350
2. تغيرات حموضة الماء PH _____ 350
3. الموصلية _____ 351
4. الأوكسجين _____ 351
5. درجة العكارة _____ 352
6. المعادن الثقيلة _____ 353
III. مقارنة ومناقشة نتائج جودة المياه _____ 355
IV. تصورات الساكنة المحلية حول جودة المياه _____ 357
1. تصور الساكنة عن وظيفة المجرى المائي _____ 357
2. كيفية التخلص من مياه الصرف الصحي للساكنة المحلية _____ 357
3. وصف حالة المجرى المائي خلال الشح المائي _____ 358
4. تطور النباتات المائية والطحالب خلال الشح المائي _____ 359
المحور 25: استراتيجيات تدبير الشح المائي على المستوى الدولي والوطني والمحلي _____ 361
I. استراتيجيات تدبير الشح المائي على المستوى الدولي. _____ 361
1. فـرنسـا _____ 361
2. لوكسمبورغ _____ 363
3. كـندا _____ 364
II. تدبير الموارد المائية في المغرب. _____ 366
1. قانون الماء من النص 95-10 إلى النص 36-15 _____ 366
2. تدبير الشح المائي على المستوى الوطني _____ 367

3. تدبير الخصاص المائي على مستوى الحوض المائي. 368
4. موقع الشح المائي ضمن القوانين والمخططات المائية. 368
1.4 غياب النصوص التشريعية المتعلقة بالشح المائي 368
2.4 أهمية النصوص التشريعية المتعلقة بالشح المائي 369
III. تدبير الشح المائي على مستوى حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). 370
1. اقتراح مخطط لتدبير الشح المائي 370
2. تحديد مستويات صبيب الشح واقتراح التدابير والإجراءات 371
خاتمة الفصل الثاني عشر 373
خاتمة القسم الرابع 374
خـاتمة عامة 375
المراجع 380
الملاحق 392
فهرس المبيانات 402
فهرس الجداول 406
فهرس الخرائط 407
فهرس الصور 408
فهرس الأشكال 408

تقـــــــــديم عـــــام:

مـــقدمـــة

كان يُنظر إلى المياه في بعض المناطق، في الماضي القريب، على أنها وفيرة ولا يمكنها النضوب، وكانت التعبئة المتزايدة ناتجة بشكل أساسي عن زيادة الأنشطة البشرية، استجابة للاحتياجات المتزايدة المرتبطة بالنمو الديموغرافي والتوسع في المناطق المسقية. أما اليوم، أضحت ندرة المياه العذبة واضحة في العديد من مناطق العالم (Houdret, 2008)، إذ أن تظافر العوامل البشرية والطبيعية ستؤدي إلى التوسيع المجالي لهذا الوضع في المستقبل القريب.

وقد أصبح التغير المناخي واقعا ملموسا بالنسبة للمجتمع الدولي، وقد تجلى على الصعيد العالمي، من خلال ارتفاع درجات الحرارة العالمية منذ سبعينيات القرن الماضي، وارتفاع سطح البحر وتزايد الظواهر المناخية الشديدة... كل هذا أدى إلى الاهتمام بوضع تصورات افتراضية للتطورات المستقبلية للمناخ. وقد أكد "مجموعة الخبراء الحكوميين حول تطور المناخ" (GIEC, 2021) في تقريرهم التركيبي أن درجات الحرارة مستمرة في الارتفاع بمعدل 1,4 إلى 1,7 مرة على مستوى اليابسة والمحيط، وعلى الأقل مرتين أكثر بالقطب الشمالي. كما ستكون التساقطات المطرية الغزيرة والفيضانات المصاحبة لها، بدءًا من الاحترار 1,5 درجة مئوية، أكثر تواتراً وعنفًا في العديد من المناطق. وينطبق الشيء نفسه على حالات الجفاف. تعتبر ندرة الموارد المائية أحد المشاكل الرئيسية لدول جنوب البحر الأبيض المتوسط، مما يضعها من بين المناطق الأكثر تضررا من خطر العجز المائي (Gudmundsson et *al*, 2017). وقد شكل تغير المناخ مخاطر كبيرة على النظم الحيوية (Oppenheimer et *al*, 2014)، وقد بينت الدراسات أن الموارد المائية المتاحة ستنخفض كميتها في مجموعة من مناطق الحوض المتوسط كنتيجة لانخفاض التساقطات المطرية وزيادة درجات الحرارة، ولاسيما في البلدان التي تعاني بالفعل من نقص في إمدادات المياه، حيث يُتوقع انخفاض موارد المياه العذبة بمعدل يتراوح بين 2 و15% مقابل زيادة درجات الحرارة بمقدار درجتين مئويتين (MedECC, 2019).

يعتبر المغرب من بين دول شمال إفريقيا المتأثرة بالجفاف المناخي، كونه يقع في الحزام الجاف وشبه الجاف المتميز بقلة التساقطات المطرية وبتغيرات كبيرة في معدلاتها من سنة لأخرى، وهذا ينعكس بشكل واضح على الموارد المائية المتاحة. وتشير السيناريوهات المستقبلية إلى أن مناخ المغرب في القرن 21 سيكون أكثر احترارا وجفافا في عموم البلاد، ومن المرجح أن يؤدي ذلك إلى حدوث تحولات كبرى في المجال المغربي بيئة واقتصادا ومجتمعا (باحو، 2012)، بالإضافة إلى التأثيرات المحتملة على الموارد المائية المتاحة، التي يمكن أن تعرف نزعة نحو الانخفاض خلال السنوات القادمة بسبب انخفاض معدلات التساقطات المطرية وزيادة كميات التبخر- النتح (Driouech, 2010). إن التغير في وقتنا الحاضر تجاوز ما هو ظرفي ليصبح واقعا حقيقيا يفرض على كافة الفاعلين السياسيين والاقتصاديين بلورة استراتيجيات ومخططات للتكيف معه ومواجهة تحدياته ونتائجه. وقد أكدت الدراسات على تزايد حدة الأحداث الهيدرولوجية القصوى نتيجة التغيرات المناخية، ويتضح ذلك من ارتفاع حدة الامتطاحات خلال الفصول الشتوية وشدة الشح المائي خلال الفصول الصيفية (Ducharne et *al*, 2003).

وقد شهد المغرب عدة فترات من الجفاف، أثرت بشكل متفاوت على مختلف المجالات الاقتصادية والاجتماعية. وأهم هذه الفترات، حسب الوزارة المكلفة بالماء: 1944-1945، 1980-1985، 1991-1995، 2002-1998 و2006-2008 لمدة تصل إلى خمس سنوات متتالية، والتي شكلت أكثر فترات الجفاف شدة وأطولها مدة مند انطلاق عمليات مراقبة الأرصاد الجوية والهيدرولوجية. علاوة على ذلك، فإن فترات الجفاف المتكررة في العقود الأخيرة، كان لها عواقب سلبية، مثل انخفاض حصة مياه الشرب والزراعة والصناعة (بسبب ندرة الأمطار)، أو التأثير على التنمية الاجتماعية والاقتصادية. خلال فترات الجفاف هاته، يعاني مستعملو الماء من الانخفاض الشديد في مستويات المياه المتاحة، والتي تتميز بنزعة نحو التجفيف على مستوى العديد من المجاري المائية، ويزداد هذا الوضع سوءًا خلال فترة الصيف ويزداد بشكل أكبر مع عمليات جلب المياه السطحية والجوفية من طرف مختلف المستخدمين.

يزخر المجال المغربي بإمكانات طبيعية مهمة؛ تعتبر سلاسل الأطلس أحد أكبر خزانات المياه في البلاد، إلا أنها تظهر درجة عالية من الهشاشة والضعف أمام تقلب المناخ. يعتبر حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

جزء من سلسلة الأطلس الكبير الأوسط، وهو مثال واضح جدًا على هذه الهشاشة. يُوفر الحوض واردات مائية بلغ معدلها 270 مليون م3/سنة خلال الفترة الممتدة ما بين 1941 و2008 (المخطط التوجيهي للتهيئة المندمجة، 2012). رغم الإمكانات المهمة تخضع المنطقة لضغط بشري كبير من خلال الاستغلال الفلاحي المكثف واعتماد طرق تقليدية في السقي (السقي الانجذابي) الذي يستهلك كميات كبيرة من الماء (الفول والغاشي، 2018). يزيد الطلب على هذه المادة الحيوية، خصوصا الموجه للمجالات الفلاحية، بشكل كبير خلال الفترات الجافة من السنة، التي تعرف ندرة في التساقطات المطرية، ويتزامن هذا الطلب المتزايد مع فترات الشح المائي حيث يكون الصبيب في أدنى مستوياته.

وفيما يتعلق بالهيدرولوجيا فإن هناك خطرين طبيعيين يشكلان مخاوف على الإنسان: الفيضانات الكارثية، والجفاف الذي يطول أمده، فهي اختلالات طبيعية يتعرض لها الإنسان أو يساهم في تفاقمها، لذلك لا يمكن تجاهل دور الأنشطة البشرية والضغوط التي يمارسها، والتي تزيد من حساسية الأحداث الهيدرولوجية القصوى (Corbonnois et Humbert, 2000). لهذا فإن تحليل الشح المائي يجب أن يكون في ارتباط مباشر بمشاكل ندرة المياه، هذا لأن مستويات صبيب الشح تصبح جسيمة حينما يؤثر نقص الموارد المائية في القدرة على تلبية احتياجات الإنسان. وبالتالي، فإن الشح المائي هو حدث يجب أخذ مكونه الاجتماعي والاقتصادي في الاعتبار، لأنه إذا كانت الأحداث الهيدرولوجية المتطرفة ذات أهمية كبيرة، فإن ذلك يرجع أساسًا إلى المخاطر التي تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على الحياة الاقتصادية والاجتماعية. ومن أهم الأنشطة التي تتأثر بندرة الموارد المائية هي: إنتاج الطاقة الكهربائية (الهيدروليكية والحرارية والنووية)، الزراعة، مياه الشرب، السياحة... بالإضافة إلى ذلك، يجب التأكيد على تأثير الشح المائي على جودة المياه، فقد لوحظ في السنوات الأخيرة، زيادة كبيرة في معدل نُفوق الكائنات المائية، وزيادة كبيرة في نسبة التلوث، المرتبط أساسا بزيادة تركيز المواد الملوثة في المجاري المائية.

يحتل الشح المائي مكانة مهمة في دورة تغيرات الصبيب للمجرى المائي، ويمكن القول أنه أكثر أهمية من صبيب الفيض. إن آثار الجفاف، الناتج عن قلة التساقطات المطرية، غالبا ما تكون على نطاق واسع ويمس مناطق ممتدة بأكملها، حيث أن الخسائر الناتجة عن النقص في الموارد المائية يمكن أن تتجاوز تلك الناتجة عن ارتفاع مستوى الماء، هذه الأخيرة التي تتركز في نقطة أو مجموعة من النقط في الوادي.

الشح المائي حدث موسمي، يمكن أن يكون أكثر أو أقل حدة، وهو يخص كل المجاري المائية (Smakhtin, 2001). يوافق هذا الحدث الهيدرولوجي انخفاض في صبيب المجرى، أو تجفيفها خلال بعض الفترات. ويتأقلم الإنسان والنظم الإيكولوجية مع هذا الحدث الطبيعي. وبالتالي، تستخدم الأنهار والمجاري المائية في التزود بالماء الشروب ومياه السقي وإنتاج الطاقة...كما تلعب المجاري المائية دورا مهما في الحفاظ على اشتغال النظم الإيكولوجية. ولازالت هذه الاحتياجات من الماء، المرتبطة بالنظم الإيكولوجية والأنشطة البشرية، أكثر أهمية، حتى في فترات الشح المائي. وقد تم تطوير العديد من الأنظمة والتقنيات من أجل التغلب ومواجهة النقص في الماء خلال هذه الفترات، (إنشاء خزانات، قنوات...) غير أنها تبقى غير كافية. بالإضافة إلى أنه مع التطور الديموغرافي والتطور التكنولوجي، فإن الطلب على الماء قد ازداد بنسب عالية. وهذا غالبا ما يؤدي إلى زيادة ضخ المياه والسقي... مما يزيد من عجز المياه. وتُعرَّف ندرة المياه بأنها "نقص الوصول إلى كميات كافية من المياه للاستخدامات البشرية والبيئية" (White, 2012 ، وهو المصطلح المستخدم عالميا لوصف حالة الموارد المائية عند الضغط. وبالتالي، فإن فترات الشح المائي الحاد لها تأثيرات متعددة على الحياة الاقتصادية والاجتماعية وكذا على البيئة المائية. يتأثر التنوع البيولوجي بشكل مباشر، كما أنه يعاني من تدهور جودة المياه خصوصا مع ارتفاع درجات حرارته.

بالنسبة للأنظمة المائية السطحية، يتعلق الأمر بالحفاظ على مستوى كافٍ من الإمداد على الخصوص خلال فترات الشح المائي، بما يتوافق مع أدائها البيئي ومع عدد من الاستخدامات؛ من أهمها الفلاحة المسقية في المجالات الجبلية. إن خاصية هذه الأنظمة ترجع أساسًا إلى موسمية الجريان في بعض المجاري المائية وإلى التغيرات الزمنية لعمليات جلب المياه. هذه الأنظمة المائية هي في الأساس موضوع لقيود الاستخدام والصراعات الأكثر حدة حول الحق في استعمال الماء، بسبب التأثير المجتمعي المباشر خلال الفترات الجافة للمجاري المائية أو شح الجريان في بعض الحالات. وتُعد المعرفة الأكثر دقة بأداء كل نظام من أنظمة الجريان ضرورية لضمان التدبير المستدام للموارد المائية. ومع تزايد استهلاك الموارد المائية خصوصا في المجال الفلاحي وتضاعف حاجة الساكنة له حذر الخبراء

والباحثون من استمرار استهلاك الثروة المائية بشكل مجحف ونبهوا إلى المخاطر الاقتصادية والاجتماعية التي قد تترتب عن ندرة المياه، وطالبوا باتخاذ سياسات أكثر صرامة في مجال ترشيد استعمال الماء وحماية الثروات المائية والقضاء على عملية الاستغلال المفرط للفرشة المائية.

وبالتالي، فإن الشح المائي أصبح مصدر قلق للمسؤولين على القطاع، حول مشكلة تدبير أفضل للموارد المائية (التنبؤ والتحديد المسبق) وفهم جيد للعمليات التي تؤثر في هذا الحدث الطبيعي وتطوره، خصوصا في سياق التغيرات المناخية الحالية والتزايد المستمر في جلب المياه من المجاري المائية (الفول والغاشي، 2017). ويعتبر التدبير الكمي والنوعي سواء للموارد المائية الجوفية والسطحية خلال فترات الشح المائي، ضرورة ملزمة، نظرا لتنوع استعمالاته والتدهور الملحوظ في العقود الأخيرة في نوعية المياه، والزيادة المستمرة في الاحتياجات. علاوة على ذلك، عندما تصبح الموارد المائية محدودة، ويصبح الجفاف بنيويا، تصبح هذه الحاجة ملحة.

لذا سنحاول من خلال هذه الأطروحة فهم الميكانيزمات والعمليات، التي تعتبر الحلقات الأولى في نظام التدبير، حيث أن الخطر المعروف والذي يمكن أن نتوقعه هو خطر أكثر ضبطا، ويمكن احتواءه والتحكم فيه، وتدبيره بطريقة أفضل. كما أن مناقشة إكراهات تدبير الموارد المائية بطريقة هادفة، يجب أن تسبقها رؤية شاملة وملموسة لاشتغال البيئة الطبيعية. إن المعرفة الجيدة لخصائص صبيب الشح بالأحواض النهرية المغربية يعطي رؤية واضحة لكافة المتدخلين والمستعملين (الماء الصالح للشرب، توليد الطاقة، الأنشطة الفلاحية، الأنشطة السياحية...). تتطلب هذه المعرفة، مسبقا، دراسة شاملة ودقيقة للموارد المائية خصوصا في فترات الجفاف والشح المائي، وتدبيرا معقلنا ورشيدا لهذه المادة الحيوية، التي تعتبر عاملا أساسيا ومحددا في التنمية المستدامة وفي تحسين نوعية الحياة.

وبالتالي، وجب رفع التحديات المستقبلية، التي ستكون أكثر تعقيدا، المرتبطة بالتقلبات المناخية وتزايد الحاجيات المائية وتناقص الموارد المائية ونضوب العيون وتدني جودة المياه، انطلاقا من تدبير مندمج وعقلاني للموارد المائية المتاحة وإشراك المواطن في سياسة الحفاظ على الماء وترشيد استعماله في الفلاحة من خلال تحويل نظم السقي من النظام التقليدي إلى نظام السقي الموضعي (تقنية تهدف إلى توزيع الماء بكمية قليلة ومركزة ومترددة)، وتأطير الفلاحين على استعمال التقنيات الحديثة للسقي بالتنقيط. وتحسين شبكات التوزيع الهيدروفلاحية من أجل حماية الموارد المائية من الضياع، وتزويد المناطق المسقية من أجل مردودية أفضل. كما أن من شأن تدبير الطلب على الماء وتثمين موارده أن يؤمن في نهاية المطاف اقتصاد كميات مهمة من المياه سنويا.

I. دوافع اختيار الموضوع ومجال الدراسة

هناك العديد من الأسباب التي دفعتنا إلى اختيار مجال الدراسة، يمكن أن نلخصها من خلال النقط التالية:

- يشكل الماء الركيزة الأساسية للتطور الاقتصادي وتحقيق التنمية المحلية في مجال الدراسة؛
- ترتبط جل الأنشطة فيه بالماء، حيث يعرف الحوض دينامية بشرية كبيرة، وأنشطة فلاحية سقوية تقليدية مهمة تتركز أساسا على طول المجاري المائية؛
- يعتبر الماء عنصرا مهما عند ساكنة تساوت وأساس التجمعات البشرية والاستقرار السكاني؛
- تم دراسة المجال خلال تكوين الماستر، وعند قيامنا بنمذجة الحصيلة الهيدرولوجية بالحوض، لاحظنا على أنه يعرف تدخلات بشرية مهمة خصوصا خلال فترات نزول الصبيب؛
- يعتبر الحوض خزانا مائيا مهما عبر تعبئة المياه السطحية على مستوى سد مولاي يوسف، وما يرتبط به من رهانات اقتصادية واجتماعية وتنموية بالسافلة.

يمكن إجمال الدوافع التي جعلتنا نسلط الضوء على موضوع الشح المائي من خلال النقط التالية:

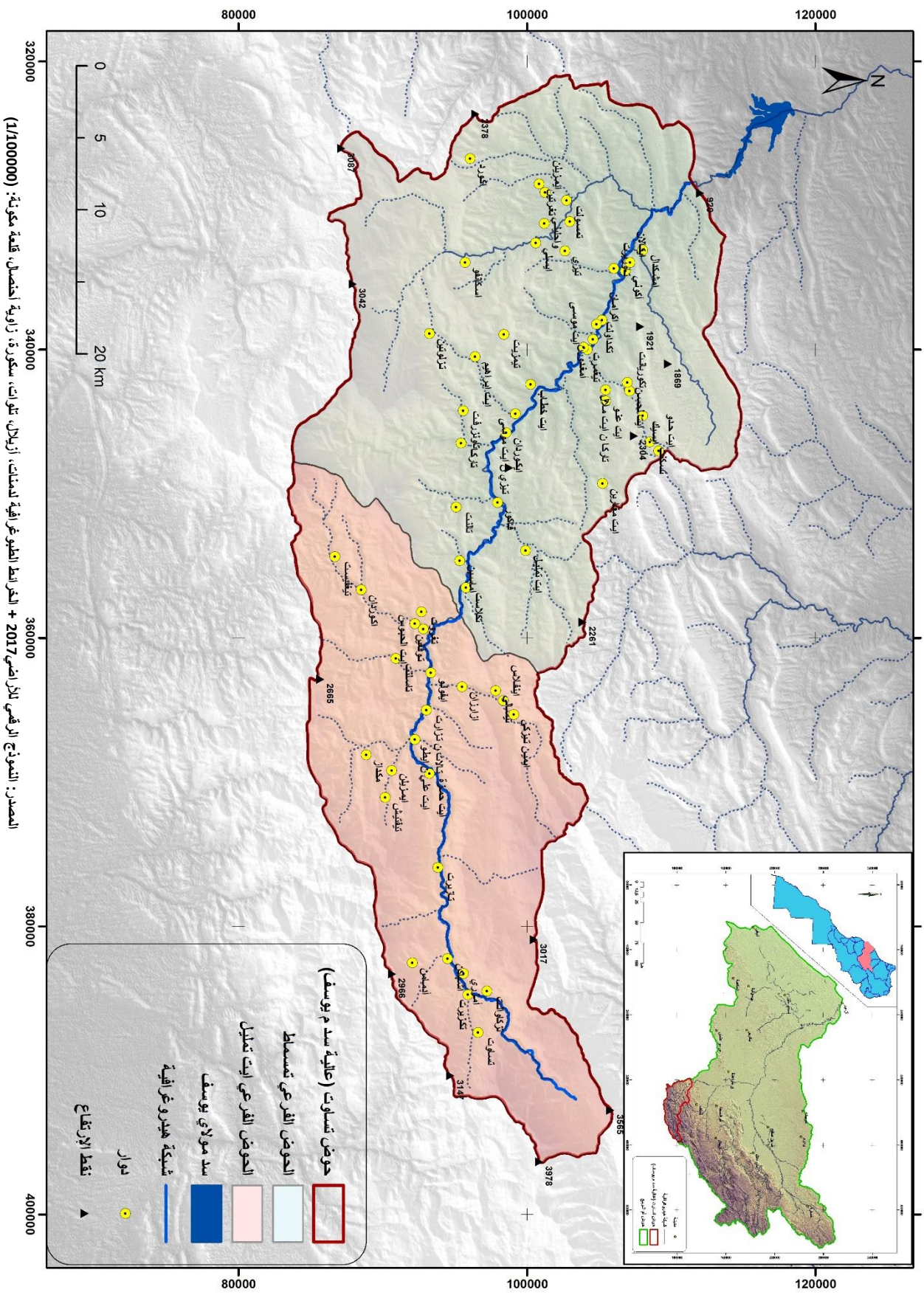
- تنطلق أهمية دراسة موضوع الموارد المائية من هشاشة المجالات الجبلية، حيث يعتبر حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) جزءاً منها؛
- أصبح الشح المائي مصدر قلق العديد من الدول، حيث أن فهم العمليات والميكانيزمات المتعلقة بنشأته يمكن أن يساعد بشكل كبير في تدبير الموارد المائية خلال هذه الفترات؛
- ندرة الأعمال وشبه غياب الدراسات في هذا الشأن في المناطق الجافة وشبه الجافة، خصوصا على المستوى الوطني؛

II. تقديـم مجال الدراسة

يقع حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) بين خطي عرض " 90 ' 64 ° 31 و" 70 ' 33 ° 31 شمال خط الاستواء. وبين خطي الطول " 40 '48 ° 6 و" 40 ' 33 ° 7 غرب خط غرينيتش.

يعتبر حوض الدراسة أهم روافد الضفة اليسرى لواد أم الربيع. يلتقي واد الخضر وواد تساوت ليشكلا مجرىً مائيا واحدا يحمل اسم تساوت، يصب بواد أم الربيع. وينتمي مجال الدراسة إلى الأطلس الكبير الأوسط، حيث يحده من جهة الشمال حوض واد الخضر، ومن الجنوب حوض واد غدات أحد روافد واد تانسيفت، ومن جهة الشرق السفوح الشرقية للأطلس الكبير ومن الغرب سهل الحوز.

يتميز الحوض بتضاريس متنوعة، كما يبلغ أقصى ارتفاع في الحوض 3978 متر عند منبع واد تساوت (جبل مكون) وأدنى ارتفاع 900 متر (سد مولاي يوسف)، وتبلغ مساحة الحوض 1307 كلم^2، ويصل محيطه إلى 218,6 كلم.



خريطة 1: الموقع الوطني والجهوي لحوض واد تسلات (عالية سد مولاي يوسف)

المصدر: النموذج الرقمي للأراضي2017 + الخرائط الطبوغرافية لدمنات، أزيلال، تلوات، سكورة، زاوية أحنصال، قلعة مكونة: (1/100000)

III. إشكالية الأطروحـــة

يواجه المغرب بشكل عام، والأحواض النهرية بشكل خاص مشكل ندرة المياه، وذلك راجع بشكل أساسي إلى النمو الديموغرافي والطلب المتزايد على الماء في القطاع الصناعي والزراعي والسياحي، بالإضافة إلى الإكراهات المرتبطة التغايرية المناخية على المستوى الزمني والمجالي وبالتغير المناخي الذي يشهده العالم. ومن أجل تدبير ناجح وعقلاني للموارد المائية في مثل هذه الظروف سيكون من الضروري معرفة ما هو متاح من المياه وكذلك المتطلبات المختلفة، خاصة خلال فترات الشح المائي.

يعتبر حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) نموذجا للأحواض المغربية التي تم تصنيفها ضمن المجالات الحساسة للتغيرات المناخية (اللجنة الدائمة المكلفة بقضايا البيئة والتنمية المستدامة، 2015). أمام هذه الظروف المناخية عرف المجال ضغطا كبيرا على موارده المائية السطحية والباطنية. وقد ساهمت التهيئة الهيدروليكية (سد مولاي يوسف، التجهيزات الهيدروفلاحية) في تحويل المنطقة إلى مجالات فلاحية (المجالات المسقية الكبيرة والمتوسطة)، حققت نجاحات في مجال الإنتاج والعصرنة والتحديث وتكثيف الإنتاج. وتبرز الاحتياجات المائية بشكل كبير، خصوصا المتعلقة بسقي هذه المجالات الفلاحية، خلال فترات نزول الصبيب، إذ تبلغ نسبة جلب المياه السطحية بعالية سد مولاي يوسف 14% من المعدل السنوي للصبيب، وتتضاعف هذه النسبة خلال فترات الشح المائي (El foul et El Ghachi, 2018). ورغم المجهودات المبذولة تعيش المنطقة وضعا مقلقا في ظل الهشاشة التي يعرفها المجال ومشاكل الاضطرابات المناخية التي تزيد من حدة الأحداث الهيدرولوجية القصوى (الفيضانات، الجفاف).

أوضحت دراسة النظام الهيدرولوجي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) بالملموس أنه يعرف فترتين من حيث التزويد المائي؛ تمتد فترة نزول الصبيب على مدى 7 أشهر، يعرف خلالها الحوض ضعفا في التعبئة المائية (التساقطات المطرية والثلجية) في المقابل نجد استغلالا مفرطا للموارد المائية (الفول والغاشي، 2017). أمام هذا الوضع المقلق يُطرح إشكال تدبير الموارد المائية المتاحة خلال فترات الشح المائي. في هذا الصدد تشكل دراسة الشح المائي الطبيعي، الذي يتردد خلال فترات نزول الصبيب، انطلاقة وأرضية ملائمة ستساهم في تدبير الموارد المائية من زاوية مختلفة.

إن دراسة الشح المائي هي مسألة مهمة وخصوصا في الأحواض الصغيرة والمتوسطة، ونتكلم عن الشح المائي عندما تكون المياه الجوفية هي المزود الرئيسي للمجرى المائي. وتؤثر في هذا الصبيب عدة عوامل بشرية ومناخية، بالإضافة إلى القاعدة الجيولوجية والهيدروجيولوجية ونوع التربة والخصائص المورفومترية والمساحية للحوض والغطاء النباتي... هذه العوامل تتميز بإمكانية كبيرة في التأثير على الصبيب في الفترات الجافة. وحسب الهيدرولوجيين فإن الشح المائي حدث طبيعي لمجرى مائي يتردد خلال فترة معينة من السنة. وبالتالي، فإن تأثير الممارسات البشرية إلى جانب التغيرات المناخية يمكن أن تعرض الحوض إلى الاختلالات الهيدرولوجية، بل إنه يُساهم في تردد المخاطر الهيدرولوجية. إن إشكالية الشح المائي في الأحواض النهرية التي تعرف تهيئة كبيرة وضغطا كبيرا على الموارد المائية تساهم في:

- التأثير الكمي على صبيب المجرى المائي والزيادة في شدة الشح المائي إلى درجة تجفيف بعض المجاري المائية، نظرا لكميات المياه المجلوبة، والتي تعتمد في أغلبها على تقنيات تقليدية ترتكز على السقي الانجذابي؛
- التأثير الزمني المُتمثل في استطالة مدة الشح المائي، نظرا للضغط المستمر على الموارد المائية من جهة، والتغيرات المناخية من جهة أخرى؛
- التأثير على جودة المياه، عن طريق زيادة تركيز المواد الملوثة خلال فترات الشح المائي؛
- التأثير على الشح المائي الاعتيادي الذي يحدث خلال فترات نزول الصبيب وتحوله إلى ظاهرة تحدث خلال فترات صعود الصبيب.

في ظل هذه الدراسة العلمية، يشكل الشح المائي ودراسة مظاهره إحدى الإشكالات التي ستحاول الأطروحة معالجتها. على مستوى التدقيق، حاولت الأطروحة أن تخص بالدراسة والتحليل إشكالية تحديد واستخلاص صبيب الشح الطبيعي. حيث يشكل تحديد صبيب الشح بالتحليل الإحصائي أكبر تحدّ علمي لهذه الأطروحة، في ظل ندرة

الدراسات على المستوى الوطني. وسيتم تحديد صبيب الشح على مستويين إثنين؛ تحديد الآليات الإحصائية لاستخلاص الأحداث ودراستها، ثم التحديد الإحصائي لعتبات ظهور فترات الشح المائي. مع العلم أن الصعوبات التي قد يواجهها الباحث في دراسة هذه الأحداث الاعتيادية، غالبًا ما يتعلق باختيار مؤشرات تدل على حدوثها. وتعتبر العوامل الطبيعية والمناخية وكذلك البشرية محددات أساسية تؤثر بشكل كبير في اختيار هذه المؤشرات، وبالتالي فإن مسألة ضبط فترات الشح المائي تصبح أكثر حساسية.

يتطلب تدبير الأزمات خلال فترات الخصاص المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، تحديد عتبات تلائم الخصائص المناخية والطبيعية بالإضافة إلى التأثير البشري، انطلاقا من دراسة إحصائية لخصائص صبيب الشح وتحديد الآليات والميكانزمات المتحكمة في هذا الحدث الطبيعي. كما أن تدبير هذه الحالة الهيدرولوجية تتطلب وضع تصورات وإجراءات استباقية، وهو ما سيقودنا لإجراء نمذجة هيدرولوجية للتنبؤ والتحديد المسبق لمستويات صبيب الشح على المدى القصير والمتوسط. إن تحديد مستويات صبيب الشح، استنادا إلى مؤشرات وعتبات بناءً على أسس علمية محضة، من شأنه أن يعطي رؤية واضحة لكافة المتدخلين والمستعملين في تدبير الخصاص المائي بشكل معقلن ورشيد لهذه المادة الحيوية، التي تعتبر عاملا أساسيا ومحددا في التنمية المستدامة وفي تحسين نوعية الحياة، خصوصا مع الضغط الشديد على الموارد المائية بسبب تزايد الطلب على الماء من جهة، وارتفاع نسبة التلوث من جهة أخرى، وتزامن ذلك مع توالي فترات الجفاف.

IV. المنهجية المعتمدة في دراسة الشح المائي

إن طبيعة موضوع الدراسة، الذي يتناول عدة جوانب لأحداث وظواهر هيدرومناخية ومتغيرات متداخلة ومعقدة، تفرض علينا اتباع أكثر من منهج واحد، ابتداء بالوصفي الذي يتيح إمكانية، الملاحظة والتحليل والتفسير، بالإضافة إلى الاعتماد على المنهج الاستقرائي الذي يسمح بإخضاع الفرضيات للتجربة من خلال الاستطلاعات الميدانية، وحيث أن البحث يكتسي واقعية فلابد من المرور بالمنهج النقدي والنسقي المقارن كمستويات للتدخل تتفاعل فيما بينها لتفرز طبيعة ومستوى دينامية مجال معين، كل ذلك في ‘إطار منظور شمولي، ومتكامل. سيتم، في مرحلة أولى، اختيار المقاربات التي تمككنا من إبراز واستخلاص المادة الخام التي ستشكل القاعدة الأساسية لتحليل الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) في علاقته بمجموعة من المتغيرات.

من أجل تحقيق الأهداف المرجوة، سنعتمد طريقة جغرافية ذات محركين هيدرولوجيين: الهيدرولوجيا الكمية والهيدرولوجيا النوعية. هذه الأساليب لا تنفصل عن بعضها، ومتكاملة وفعالة ستمَكن من تحليل شدة الشح المائي ومدته وتطوره.

يعتمد جزء مهم من هذا العمل على تحليل وتقدير الموارد المائية في حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، على أساس البيانات المقيسة في الميدان أو التي تم استخلاصها من الإدارات المكلفة بقطاع الماء.

1. العمل الميداني

يعكس العمل الميداني أصالة البحث الجغرافي، من خلال جمع القياسات المنجزة في الموقع، وجمع المعلومات عن طريق الاستمارات والاستجوابات. يتم تنظيم العمل الميداني على النحو التالي:

- **حملات قياس صبيب واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف):**

في ظل إشكالية الدراسة، والتي تتمحور حول دراسة الشح المائي، فقد تم التركيز خلال حملات القياس، على قياس وتتبع الصبيب خلال فترات نزوله، والتأكد من أي تأثير للتساقطات المطرية على الجريان السطحي. فيما تم أيضا إنجاز حملات خلال فترات صعود الصبيب بهدف دراسة العلاقة بين الصبيب وارتفاع منسوب المياه. ويتجلى الهدف من هذه الخطوة في تدقيق المعطيات الهيدرولوجية المدمجة بشكل عام في البيانات المحصل عليها في المحطات الهيدرومترية، وبالتالي إنجاز كارطوغرافيا أكثر تفصيلاً للمورد المائية. كما تم، خلال هذه الحملات، قياس صبيب السواقي المخصصة لجلب مياه السقي، وقمنا بهذه العملية في مختلف فترات السنة مع التركيز على فترات الشح المائي.

أُنجزت حملات القياس على مدى أربعة سنوات (2017-2020) بشكل دوري ومتقارب على المستوى الزمني خلال فترات نزول الصبيب. وقد تم اتباع خطوات دقيقة لإنجاز هذه الحملات، والمتمثلة أساسا في تحديد أهداف الدراسة الميدانية والمنهجية المعتمدة في ذلك، ثم اختيار مواقع القياس بشكل دقيق وموزع حسب الخصائص الطبيعية (الصخارة) والبشرية بالحوض، ثم تثبيت سلم القياس، وأخيرا برمجة تواريخ إجراء القياسات.

تم التخطيط لحملات القياس وتتبع الصبيب وفق البرنامج التالي:

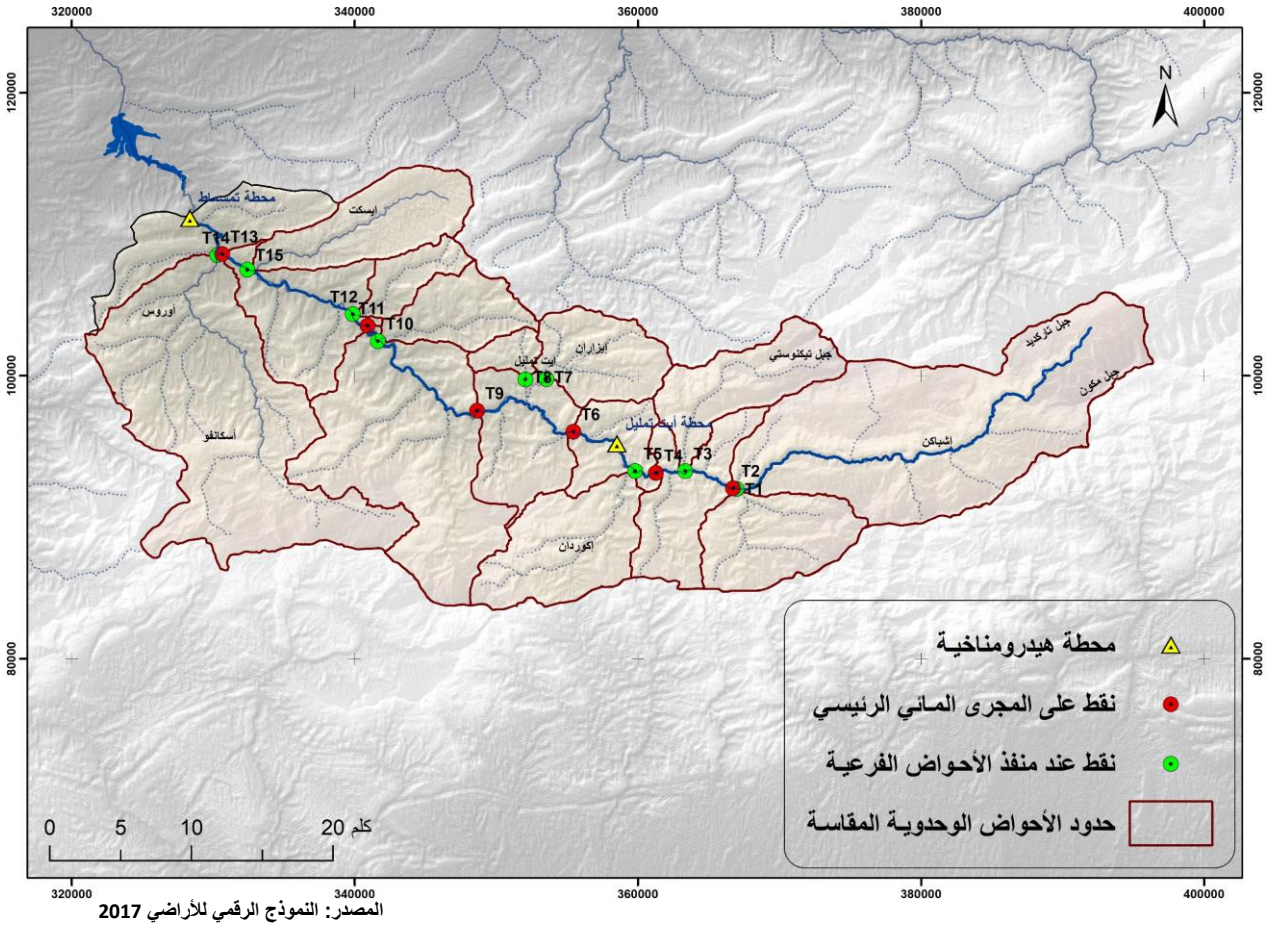
جدول 1: المخطط التنظيمي لحملات قياس الصبيب واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

السنة	الشهر/الفترة	عدد الحملات	هدف حملة القياس
2017	مارس	1	تشخيص واختيار الأحواض الفرعية ومواقع القياس
	ماي	1	المصادقة النهائية على مواقع الاختيار وتثبيت سلالم القياس (الليمنيمتر)
	من يوليوز إلى نونبر	5	الشروع في قياس وتتبع الصبيب
2018	من يناير إلى نونبر	6	قياس وتتبع الصبيب، وقياس صبيب السواقي
2019	من أبريل إلى شتنبر	5	- قياس وتتبع الصبيب وإنشاء منحنى المعايرة - قياس صبيب السواقي
2020	فبراير-مارس-شتنبر	3	

تضمن البرنامج 21 حملة قياس خصصت حملتين لتشخيص واختيار مواقع القياس (15 نقطة للقياس) وتثبيت سلالم تتبع منسوب المياه، وخُصصت 19 حملة لقياس وتتبع الصبيب على طول المجرى المائي والأحواض الفرعية.

صورة 1: قياس الصبيب لواد تساوت عالية الحوض سد مولاي يوسف (يوليوز، 2017)

خريطة 2: مواقع قياس وتتبع الصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



المصدر: النموذج الرقمي للأراضي 2017

- **تتبع جودة المياه السطحية:**

أثناء حملات قياس الصبيب، تم تتبع جودة المياه السطحية بين أبريل 2019 وشتنبر 2020. خلال هذه الحملات تم قياس الخصائص الفيزيائية لجود المياه المتمثلة في درجة الحرارة، درجة حموضة الماء (PH)، الموصلية، الأكسجين المذاب ودرجة العكارة. يتم قياس هذه المتغيرات في الموقع باستخدام أجهزة خاصة. كما تم أخذ عينات من الماء لقياس بعض الخصائص الكيميائية على مستوى مختبر مختص في هذا الشأن. والتي تم التركيز فيها على نسبة المعادن الثقيلة في الماء نظرا لما تشكله من خطر كبير على صحة الإنسان واختلالات على النظم البيئية.

جدول 2: المخطط التنظيمي لحملات قياس جودة المياه السطحية

السنة	الشهر/الفترة	عدد الحملات	هدف حملة القياس
2019	أبريل – ماي - شتنبر	3	قياس وتتبع المعايير الفيزيائية لجودة المياه في الموقع
2020	فبراير - مارس	2	قياس وتتبع المعايير الفيزيائية لجودة المياه في الموقع
	شتنبر	1	قياس وتتبع المعايير الفيزيائية لجودة المياه في الموقع وأخذ عينات لقياس نسبة المعادن الثقيلة

الهدف من هذه القياسات هو تتبع تطور المعايير الفيزيائية والكيميائية خلال فترات ارتفاع وانخفاض مستوى المياه (على المستوى الزمني) وبين مختلف أجزاء الحوض (على المستوى المجالي)، من أجل تحديد تأثير الشح المائي على جودة المياه السطحية في الحوض النهري تساوت (عالية سد مولاي يوسف).

صورة 2: قياس جودة المياه السطحية وأخذ العينات بواد تساوت

ستتم مقارنة نتائج التحليلات مع شبكة تقييم جودة المياه لكتابة الدولة المكلفة بالماء والبيئة بهدف تحديد درجة جودة المياه بالحوض حسب المعايير الوطنية.

- **الاستمارات والمقابلات الشفهية**

من أجل استكمال هذه الدراسة، حاولنا تحديد تصورات الساكنة المجاورة للمجاري المائية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) على مستويات الشح المائي والتأثيرات ذات الصلة من خلال استمارات معدة بشكل دقيق، باعتماد أسئلة هادفة وجد محددة. وكان الهدف من هذه الاستمارات والاستجوابات هو إعادة بناء التاريخ المناخي والهيدرولوجي للمنطقة وعلى وجه الخصوص خصائص وشدة فترات الشح المائي للتحقق من صحة نتائج التحليل الإحصائي.

تتضمن استمارة البحث الميداني 74 سؤالا. تتعلق بتسعة محاور حول تطور المناخ والصبيب بالحوض وتصورات السكان المحليين حول موضوع الشح المائي بالإضافة إلى الأنشطة البشرية المزاولة (جلب المياه) وأخيرا، وقع الشح المائي على جودة المياه.

لتنزيل أسئلة الاستمارات تم المزاوجة بين عمليتين متكاملتين: في مرحلة أولى تم تعبئة الاستمارات في الموقع من خلال المقابلات خاصة مع المستجوَبين لضمان فهمهم للأسئلة، ثم في مرحلة ثانية تم الاستعانة ببعض المشاركين لتعبئة باقي الاستمارات باستخدام منصة «Google Forms»، الذي يسهل جمع المعلومات ويعطي نتائج سريعة ومنظمة بشكل جيد في شكل جداول على تطبيق Excel بالإضافة إلى الرسوم البيانية لفهم وتحليل البيانات.

بلغ عدد الاستمارات المعبأة 114 استمارة، وقد تم اختيار المشاركين وفق التوزيع الجغرافي بالحوض (عالية -وسط - سافلة)، والسن لإعادة بناء تاريخ المنطقة ومدى توفرها خلال زياراتنا الميدانية، ومعيار القرب من المجرى المائي، وتمركز الساكنة في بعض المناطق من الحوض دون أخرى.

- **كارطوغرافيا السواقي بالمجالات الفلاحية**

تم تجهيز المجال بمنشآت وتجهيزات هيدروفلاحية، وذلك تشييد شبكة مهمة من السواقي من أجل التمكن من توصيل المياه إلى أبعد نقطة ممكنة لسقي المجالات الفلاحية. تضمن هذه التجهيزات نقل المياه وتقسيمها وتوزيعها على المستفيدين من هذا الحق. تتميز شبكة السواقي بنظام معقد، ولفهم الميكانزمات والكيفية التي تشتغل بها هذه السواقي، تم جردها، وجمع معلومات عن خصائصها انطلاقا من الإدارات المكلفة (المديرية الإقليمية للفلاحة) والعمل الميداني من أجل إنجاز كارطوغرافيا مفصلة لهذه التجهيزات الهيدروفلاحية. والهدف من ذلك هو تحديد كميات المياه المجلوبة من خلال هذه السواقي ومعرفة مدى تأثير ذلك على الموارد المائية بالحوض.

صورة 3: ساقية لجلب المياه في اتجاه المجال المسقي ايت بوعلي بحوض تساوت (عمل ميداني، 2017)

2. التحليل الإحصائي

سنعتمد في المعالجة والتحليل الإحصائي على المعطيات الهيدرو مناخية على المستوى السنوي والشهري واليومي، لمعرفة خصائص السلوك الهيدرولوجي وكيفية نشوء الشح المائي. وذلك باعتماد عدد من الطرق والمؤشرات الإحصائية (المعدلات، الانحراف المعياري، مؤشرات التساقطات المطرية والصبيب...). ستتم هذه المعالجة الإحصائية باعتماد البيانات التالية:

- معالجة معطيات التساقطات المطرية على المستوى السنوي والشهري واليومي، خلال السلسلة الإحصائية (1976-2016)؛
- معالجة معطيات الصبيب على المستوى السنوي والشهري واليومي، خلال السلسلة الإحصائية (1978-2016)؛
- معالجة معطيات درجات الحرارة على المستوى السنوي والشهري واليومي، خلال السلسلة الإحصائية (1986-2016)؛
- معالجة معطيات التبخر-النتح على المستوى السنوي والشهري واليومي، خلال السلسلة الإحصائية (1986-2016)؛
- معالجة معطيات الشح المائي على المستوى السنوي والشهري واليومي، خلال السلسلة الإحصائية (1978-2016)؛
- معالجة معطيات جودة المياه الفيزيائية والكيميائية، خلال سنتي 2019 و2020؛

يلخص الجدول 3 المعطيات الهيدرومناخية المعتمدة خلال هذه الدراسة، لمحطات القياس داخل الحوض:

جدول 3: المعطيات الهيدرو-مناخية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

المعطيات	المحطات	مدة القياس	مستوى القياس	x	y	z
التساقطات المطرية	تمسماط	1976 - 2016	سنوي- شهري- يومي	328300	111200	920
	أيت تمليل	1976 -2016		357600	93700	1860
الصبيب	تمسماط	1978 -2016	سنوي- شهري- يومي	276150	83050	1070
	أيت تمليل	1978 - 2016		306250	63890	1647
درجات الحرارة	ايت سكمين	1986 - 2016	سنوي- شهري- يومي	361400	128000	1025

V. أهداف الأطروحة

نساهم من خلال هذا العمل في تحليل أحداث الشح المائي بأحد أحواض الأطلس الكبير الأوسط، والمتميز بمناخ شبه جاف وبتساقطات مطرية وثلجية مهمة، بالإضافة إلى تنوع في التكوينات الجيولوجية.

والهدف الأساسي من هذه الأطروحة هو فهم الاشتغال الهيدرولوجي خلال فترات نزول الصبيب، حيث تتردد أحداث الشح المائي الطبيعي. وانطلاقا من هذا الهدف الأساسي تتفرع مجموعة من الأهداف الفرعية التي يمكن تلخيصها كما يلي:

* دراسة الخصائص الهيدرومناخية للحوض النهري على المستوى السنوي والشهري وكذلك اليومي؛
* استخلاص فترات الشح المائي بالاعتماد على الصبيب الشهري الأدنى (QMNA)، معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم متتالية (VCN_d)، مؤشرات الصبيب المصنف (DCE)؛
* تحديد خصائص صبيب الشح لاختيار المؤشر/المؤشرات التي تبدو أكثر أهمية بالنسبة لدراسة هذه الأحداث الطبيعية في الظروف المناخية المميزة لحوض الدراسة؛
* دراسة التوزيع المجالي للشح المائي بحوض الدارسة بهدف فهم الاشتغال الهيدرولوجي حسب الخصائص الصخارية للأحواض الفرعية؛
* استخلاص وتحليل فترات النضوب المائي؛
* نمذجة الصبيب باعتماد نماذج هيدرولوجية ملائمة وتقيم فعاليتها في محاكاة صبيب الشح بالاعتماد على مؤشرات الأداء، والهدف من ذلك هو التنبؤ بالصبيب على المدى القريب والمتوسط؛
* تحليل ومعالجة الجوانب السوسيو اقتصادية وعلاقتها باستغلال الموارد المائية بالحوض، وتقييم الكميات المائية المجلوبة وخاصة خلال فترات الشح المائي؛
* دراسة تأثير الشح المائي على جودة المياه وتركيز المواد الملوثة خلال فترات الشح المائي؛
* مقاربة الوقع السوسيو اقتصادي للشح المائي بالحوض، واقتراح خطط لتدبير الخصاص المائي خلال فترات حدوثه.

VI. الأدوات والمقاربات المعتمدة في الدراسة

استخدمنا مجموعة من الأدوات والمقاربات، التي تختلف بين المعطيات التاريخية، والخرائطية، والأدوات الإحصائية. يمكن تقديم هذه الأدوات والمقاربات على النحو التالي:

1. المقاربة التاريخية

ويتعلق الأمر بجمع المعطيات المتعلقة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) انطلاقا من الوثائق التاريخية (خرائط قديمة، دراسات، تقارير...)، التي ستعطينا فكرة عن التطور السكاني والأنشطة الفلاحية والتهيئة الهيدروفلاحية بالمنطقة وغيرها.... هذا بالإضافة إلى جمع المعطيات المرتبطة بذاكرة المجرى المائي انطلاقا من المقابلات الشفهية مع الساكنة.

2. المقاربة الكارطوغرافية

تم الاعتماد على مجموعة من الخرائط من أجل تمثيل الخصائص الطبيعية والبشرية بحوض الدراسة. وقد تم استثمار هذه الخرائط كما يلي:

- **الخرائط الطوبوغرافية**: استخلاص وتمثيل الخصائص الطوبوغرافية والمعطيات المتعلقة باستعمال الأرض، والتوزيع المجالي للتجمعات السكانية؛
- **الخرائط الجيولوجية:** استخلاص وتمثيل المعطيات الصخارية والجيولوجية، لفهم خصائص التوزيع المجالي للركيزة الصخرية في علاقتها بالجريان السطحي والجوفي؛

- **خرائط استعمال الأرض**: التمثيل المجالي لأنواع استعمال الأرض (غابة، ماطورال، مجالات فلاحية، سهوب...)، والتي تشكل عاملا مهما في الجريان بالحوض؛
- **الخرائط الرقمية**: تعتبر الخرائط الرقمية إحدى المقاربات البالغة الأهمية في التمثيل الخرائطي لمجموعة من المعلومات الطبيعية والبشرية، ومن أهمها خرائط الارتفاعات والانحدار وتوجيه السفوح والشبكة الهيدروغرافية... بالإضافة إلى اعتماد صور الأقمار الاصطناعية في تمثيل الأنشطة البشرية بالحوض.

3. الأدوات المستعملة

تم الاعتماد على مجموعة من التقنيات والأدوات الخرائطية والإحصائية لاستخلاص النتائج من المعطيات المتوفرة بحوض الدراسة. ومن أهم هذه الأدوات:

الأدوات الإحصائية: تم الاعتماد في المعالجة والتحليل الإحصائي للمعطيات الهيدرو مناخية على المستوى السنوي والشهري واليومي على عدد من البرامج المعلوماتية والتطبيقات مثل Excel, Hydraccess, ExcelStat وذلك بهدف فهم التغايرية الزمنية والمجالية للخصائص المناخية والهيدرولوجية، ومعرفة السلوك الهيدرولوجي وكيفية نشوء الشح المائي. كما تم اختيار واعتماد نماذج هيدرولوجية مناسبة ...GR4J; GARDÉNIA من أجل إعادة تشكيل ومحاكاة صبيب المجرى المائي خلال فترات الشح المائي.

نظم المعلومات الجغرافية: استندنا في التمثيل الخرائطي على مجموعة من البرامج الخرائطية باعتماد نظم المعلومات الجغرافية لاستخلاص الخصائص الطبيعية (خرائط الارتفاعات، الشبكة الهيدروغرافية...) والمناخية (التوزيع المجالي للتساقطات المطرية مثلا)، وكذلك المتعلقة بالأنشطة البشرية...

صور الأقمار الاصطناعية: تم الاعتماد على صور الأقمار الاصطناعية Landsat وGoogle Earth لتمثيل التجهيزات الهيدروفلاحية والقطاع السقوي بالحوض، والتي تم تأكيد ومطابقة معطياتها بالزيارات الميدانية والمصادقة عليها.

VII. المعطيات المستعملة في الدراسة

لإجراء هذه الدراسة، استخدمنا عدة أنواع من المعطيات. منها المقيسة على مستوى محطات القياس، سواء كانت هيدرولوجية أو مناخية أو تلك الخاصة بالتعداد السكاني، ومنها المرتبطة بالتجهيزات الهيدروفلاحية والأنشطة الزراعية بالحوض. ورغم الصعوبات التي واجهتنا في البداية للوصول إلى هذه المعطيات، إلا أنه تمكنا، بعد عدة محاولات وبعد سلك الإجراءات الإدارية المتبعة في ذلك، من تحقيق المبتغى. يمكن تقديم هذه البيانات على النحو التالي:

1. المعطيات الكارطوغرافية

اعتمدنا على مجموعة من الخرائط بأنواع مختلفة:

- الخرائط الطبوغرافية بمقياس 1/100000 التي تغطي مجموع أجزاء الحوض النهري (دمنات وتلوات وأزيلال وسكورة، وزاوية أحنصال، وقلعة مكونة)؛
- الخريطة الجيولوجية لدمنات وتلوات بمقياس 1/200000 (سنة 1937) ودمنات بمقياس 1/100000 (سنة 1985)؛
- خرائط الارتفاعات المستخلصة من النموذج الرقمي للأراضي (MNT)، التي تسمح بالتمثيل المجالي لفئات الارتفاع والانحدارات بالحوض النهري؛
- صور الأقمار الاصطناعية لتمثيل المجالات الفلاحية المسقية وشبكة السواقي لتحويل المياه؛

2. المعطيات المناخية والهيدرولوجية

يعتبر المناخ عاملاً مهمًا يؤثر بشكل مباشر على موارد المياه والأداء الهيدرولوجي، ولهذا السبب عملنا على جمع معطيات القياس على مستوى محطات قياس التساقطات المطرية، ودرجات الحرارية، والصبيب، كالتالي:

- **محطات قياس التساقطات المطرية:**

وقع اختيارنا على 15 محطة لقياس التساقطات المطرية؛ اثنتان منها توجدان داخل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، وبذلك حصلنا على بيانات مشتركة بين إدارات مختلفة، ويتعلق الأمر بوكالة الحوض المائي لأم الربيع، وكالة الحوض المائي تانسيفت ووكالة الحوض المائي كير-زيز-غريس ودرعة.

- **محطات قياس درجات الحرارة:**

نظرا لغياب تواجد محطة لقياس درجات الحرارة داخل حوض الدراسة، تم اللجوء إلى أقرب محطة خارج الحوض، ويتعلق الأمر بمحطة ايت سكمين التي توجد على ارتفاع 1025 متر من مستوى البحر. تتوفر هذه المحطة على المعطيات السنوية والشهرية لدراجات الحرارة، ونظرا لحاجتنا الملحة للمعطيات اليومية، قمنا بتحويل البيانات اليومية لهذه المحطة بأرشيف وكالة الحوض المائي أم الربيع إلى بيانات رقمية، والتي تطلبت عملا شاقا دام مدة 15 يوما لتحويل السلسلة الإحصائية (1986-2016) على الحاسوب.

- **محطات الصبيب:**

سنيعتمد في التحليل الهيدرولوجي على معطيات محطتين بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): محطة تمسماط بسافلة الحوض ومحطة أيت تمليل بعاليته، على نفس المجرى المائي لتساوت.

2. المعطيات المحصل عليها في العمل الميداني

وهي المعطيات المستخلصة من الخرجات الميدانية، ويتعلق الأمر بالجزء العملي من الدراسة، والتي تمثل أصل المعلومات المحينة، وتم ذلك من خلال إجراء استمارات ومقابلات شفهية، وتحديد أنواع وتقنيات استغلال الموارد المائية وقياس وتتبع صبيب المياه المجلوبة وصبيب المجاري المائية، وهي كالتالي:

- معطيات قياس وتتبع الصبيب خلال الحملات الميدانية، على مستوى 15 نقطة قياس، على مدى أربع سنوات (217-2020)؛
- معطيات قياس وتتبع جودة المياه الفيزيائية والكيميائية خلال ست حملات للقياس سنتي 2019 و2020، على مستوى عالية ووسط وسافلة الحوض؛
- المعلومات والمعطيات المستخلصة من الاستمارات والمقابلات الشفهية من ساكنة الحوض.

3. المعطيات المحصل عليها من المندوبية الإقليمية للفلاحة بأزيلال

ويتعلق الأمر بالمعطيات الخاصة بالتجهيزات الهيدروفلاحية (عدد السواقي، طولها وموقعها...)، وصبيب المياه المجلوبة انطلاقا من هذه السواقي بالإضافة إلى إحصاء المجالات المسقية بالحوض. ستساعدنا هذه المعطيات في فهم الممارسات البشرية وتحديد أنواع وتقنيات استغلال الموارد المائية في الحوض.

VIII. الكلمات المفاتيح في الدراسة

من المهم تقديم مجموعة من الكلمات المفاتيح التي اعتمدت بشكل أساسي في الدراسة، والتي من شأنها الكشف عن البنية الداخلية للأطروحة واختصار محتواها. سيتم عرض هذه الكلمات باللغة العربية وترجمتها إلى اللغتين الفرنسية والإنجليزية، مع تقديم تعاريف لها.

الكلمات المفاتيح في الدراسة

التغيرات المناخية: يشير إلى التغير الحاصل في حالة المناخ، يمكن رصده (على سبيل المثال عن طريق الاختبارات الإحصائية) من خلال التغيرات في المعدلات و / أو تقلب خصائصه والتي تستمر لفترة طويلة، عادة لعقود أو أكثر (GIEC, 2013). **Changement climatique) (Climate change).**

التغايرية المناخية: يشير إلى الاختلاف شبه موسمي في المناطق خارج المدارية، والتي يمكن أن تسبب ظروفًا جوية مستمرة، بما في ذلك موجات البرد في الشتاء أو موجات الحرارة في الصيف. (GIEC, 2013) **(Variabilité climatique) (Climatic variability).**

الموارد المائية: المياه المتاحة أو التي يمكن أن تتوفر لدى المستخدم أو مجموعة من المستخدمين لتلبية احتياجاتهم (Glossaire International d'Hydrologie, 1992). **(Water resource) (Ressource en eau)**

صعود الصبيب: ارتفاع في منسوب مجرى مائي إلى الحد الأقصى، والذي يبدأ في النزول منه بشكل أبطأ. يتم قياسه بارتفاع مستوى الماء أو معدل الصبيب (Glossaire International d'Hydrologie, 1992). **(High water) (Hautes eaux)**

نزول الصبيب: أدنى معدلات صبيب أو مستوى مائي خلال السنة، ويقاس بارتفاع مستوى الماء أو معدل الصبيب. خلال فترة نزول الصبيب، يحتل المجرى المائي السرير الأدنى. (Le Glossaire eau, milieux marins et biodiversité, 1991) **(Basses eaux) (Low water).**

الشح المائي: المستوى السنوي الأدنى الذي يصل إليه المجرى المائي في نقطة معينة (Roche, 1986). **(Étiage) (Low flow).**

عتبة صبيب الشح: يعتبر صبيب فترة محدودة في السنة عندما ينخفض الصبيب إلى ما دون قيمة العتبة الخاصة بكل مجرى مائي ويتم حسابها إحصائيًا. (Le Glossaire eau, milieux marins et biodiversité, 1991) **(Seuil d'étiage) (Low flow threshold).**

النضوب المائي: مرحلة من الجريان لمجرى أو منبع مائي يتوافق مع الانخفاض المطرد للصبيب في غياب أي مساهمة مناخية أو تدخل بشري (Dacharry, 1997). **(Tarissement) (Drying up)**

الصبيب الأساس: هو ذلك الجزء من صبيب المجرى المائي الذي يأتي أساسًا من المياه الجوفية، ولكن أيضًا من إفراغ البحيرات وذوبان الجليد، خلال فترات طويلة بما فيه الكفاية حيث لا يحدث أي تأثير للتساقطات.(Glossaire International d'Hydrologie, 1992) . **(Base Flow) (Débit de base)**

النمذجة الهيدرولوجية: هي تمثيل رياضي لنظام هيدرولوجي لحوض نهري، لسلسلة من قاعدة البيانات (Glossaire International d'Hydrologie, 1992). **(Modélisation hydrologique) (Hydrological modeling).**

جودة المياه: قدرة المياه، التي تحددها خصائصها الفيزيائية أو الكيميائية أو الحيوية أو الحسية، على تلبية استخدامات محددة أو السماح بعمل بيئة مائية معينة (Glossaire International d'Hydrologie, 1992). **(Qualité de l'eau) (Water quality)**

الوقع البشري: ينتج الوقع البشري عن تدخل الإنسان بشكل مباشر أو غير مباشر في الطبيعة. يمكن أن يشير الفعل البشري المنشأ إلى علوم الأحياء وعلوم الأرض والفيزياء وعلم الكونيات (AquaPortail, 2007). **(Impact anthropique) (Anthropogenic) impact.**

جلب المياه: استخلاص المياه من مصدر جوفي أو سطحي بشكل دائم أو مؤقت ونقلها إلى مكان استخدامها. تشمل عمليات جلب المياه جميع عمليات السحب المرتبطة بالأنشطة المتولدة عن الفلاحة أو الصناعة أو إمدادات مياه الشرب أو غير ذلك. (Le Glossaire eau, milieux marins et biodiversité, 1991) **(Prélèvement de l'eau) (Water abstraction)**

تدبير الموارد المائية: هو الفعل الذي يطلق على أنشطة التخطيط والتطوير والتوزيع وإدارة الاستخدام الأمثل للموارد المائية. ويُعتبر جزء من تدبير دورة المياه (AquaPortail, 2018).**(Gestion des ressources en eau) (Water resources) management**

الأنظمة: فعل تنظيمي، يضم مجموعة من القواعد والقوانين والإشارات والنصوص التي تخص مجالا معينا. يتم إعدادها من قبل الإدارات المختصة أو الأشخاص المرخص لهم. (Dictionnaire juridique de Serge Braudo, 1996). **(Réglementation) (Regulations)**

IX. بنية البحث

تتطلب معالجة إشكالية الشح والنضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) دراسة دقيقة ومترابطة، لفهم الاشتغال الهيدرولوجي خلال هذه الفترات. لذلك تم تقسيم الدراسة إلى أربعة أقسام كبرى، منظمة على الشكل التالي:

- **القـسـم الأول**: خُصص هذا القسم لعرض الخصائص الطبيعية والبشرية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، وكذلك إشكالية تعريف الشح المائي. تمت معالجة هذا القسم انطلاقا من ثلاثة فصول:
  - **الفصل الأول:** تم خلاله عرض الخصائص الطبيعية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، انطلاقا من دراسة المتغيرات المورفومترية للحوض النهري، والسياق الجيولوجي والبنيوي والشبكة الهيدروغرافية. حيث تشكل هذه العوامل محددات أساسية تتحكم في ظروف وأنماط الجريان السطحي بالحوض؛
  - **الفصل الثاني:** في هذا الفصل سوف ندرس الخصوصيات الديموغرافية والتغيرات العميقة المرتبطة بالنمو السكاني بحوض الدراسة. كما سيتم تسليط الضوء على الإمكانات الاقتصادية والفلاحية بالحوض وعلاقتها بالموارد المائية؛
  - **الفصل الثالث:** في هذا الفصل سيتم عرض التعاريف والمفاهيم المتعلقة بالشح المائي وفترات النضوب المائي وكذلك تقديم المنهجية وأهم الطرق المعتمدة في تحديد المؤشرات المختلفة لتوصيفها.
- **القـسـم الثاني**: تم خلال هذا القسم تسليط الضوء على الخصائص المناخية والهيدرولجية (التساقطات المطرية ودرجة الحرارة، التبخر-النتح والصبيب) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، على مستويات زمنية مختلفة (سنوية، شهرية ويومية) وفهم التوزيع الزمني والمجالي للعناصر المناخية في علاقتها بوفرة الموارد المائية بالحوض المدروس. يتكون هذا القسم من ثلاثة فصول:
  - **الفصل الرابع:** بعد تقديم محطات الدراسة داخل وخارج حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، ونقد ومعالجة معطياتها، تم معالجة بيانات التساقطات المطرية باعتماد عدد من الطرق الإحصائية والمؤشرات. وتهدف هذه الدراسة إلى تحديد التباين الزمني والمكاني للتساقطات المطرية على مستوى حوض الدراسة. وتم الاعتماد في هذه المعالجة الإحصائية، بشكل أساسي، على بيانات التساقطات المطرية لمحطتي أيت تمليل (عالية الحوض) وتمسماط (سافلة الحوض) على مدى السلسلة الإحصائية (1976-2016)؛
  - **الفصل الخامس:** خُصص لدراسة التغيرات الزمنية لدرجات الحرارة والتبخر-النتح على المستوى السنوي والشهري واليومي، وإبراز القيم الأكثر ترددا خلال السلسلة الزمنية المدروسة (1986-2016). إن الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو تسليط الضوء على فترات الوفرة وفترات العجز من خلال مقارنة المعطيات المناخية (التساقطات المطرية والتبخر-النتح) واستنتاج الميزانية المائية للحوض المدروس؛
  - **الفصل السادس:** سيتم في المرحلة الأولى تقديم محطات القياس المعتمدة في الدراسة، ثم تهييئها وتحضيرها لإجراء عملية نقد المعطيات وملء الفراغات، ثم معالجة إحصائية لمعطيات الصبيب. وقد اعتمدنا في هذه الدراسة على معطيات الصبيب لمحطتي أيت تمليل (عالية الحوض) وتمسماط (سافلة الحوض) على مدى السلسلة الإحصائية (1978-2016). ويبقى الهدف هو دراسة النظام الهيدرولوجي، وتحديد التباين الزمني والمكاني لتغيراته، مما يساعدنا في فهم الاشتغال الهيدرولوجي للحوض.
- **القـسـم الثالث**: تشكل فترات الشح المائي، ذات المدة المتغيرة، ولكن الأقصر دائمًا، حدثا غير منتظم ذا تردد أقل. الهدف من هذه الدراسة هو تحديد الطرق الإحصائية التي تسمح باستخلاص وتحليل فترات الشح المائي والعمل على مقارنة النتائج المستخلصة، من تحديد العتبة الملائمة لظهور فترات الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). كما سيتم في مرحلة ثانية استخلاص وتحليل النضوب المائي باعتماد قوانين أساسية وتبرير استخدامها. وذلك بهدف تحديد التغيرات الزمنية والمجالية لمعاملات النضوب المائي. يتكون هذا القسم من ثلاثة فصول:

- **الفصل السابع:** يُخصص هذا الفصل لتمييز واستخلاص صبيب الشح باعتماد مؤشرات حسب مستويات زمنية مختلفة. سيتم استخدام المتغيرات الأكثر صلة كمعايير مرجعية يتم من خلالها إجراء تحليل تلك الخصائص، ويتعلق الأمر بمعدل الصبيب الشهري الأدنى، معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم متتالية والمؤشرات المستخلصة انطلاقا من منحنى الصبيب اليومي المصنف؛
- **الفصل الثامن:** خُصص هذا الفصل من أجل مقارنة المؤشرات المحددة لاستخلاص صبيب الشح باعتماد مستويات زمنية مختلفة. والغاية من هذه المقارنة هو تحديد عتبة ظهور فترات الشح المائي الملائمة للخصوصيات المناخية والهيدرولوجية للحوض المدروس؛
- **الفصل التاسع:** خلال هذا الفصل سيتم استخلاص وتحليل خصائص النضوب المائي باعتماد قوانين ملائمة. وذلك بهدف تحديد التغيرات الزمنية والمجالية لمعاملات النضوب المائي واستنتاج وتيرة تفريغ الفرشة الباطنية، ومساهمتها في تغذية المجرى المائي خلال فترات الشح المائي.

- **<u>القسم الرابع</u>**: يتضمن هذا القسم الدراسة الميدانية (قياس وتتبع الصبيب) المنجزة، خصوصا خلال فترات نزول الصبيب، التي ستساعدنا على فهم أنماط الجريان على المستوى المجالي، بالأحواض الفرعية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). كما سيتم اعتماد النمذجة الهيدرولوجية، من أجل استكمال فهم جيد للاشتغال الهيدرولوجي خلال الأحداث المتكررة للشح المائي والتنبؤ بالصبيب خلال هذه الفترات. يتكون هذا القسم من ثلاثة فصول:
  - **الفصل العاشر:** يُخصص الفصل للدراسة المجالية للشح المائي من خلال معالجة البيانات المحصل عليها انطلاقا من قياس وتتبع الصبيب خلال الفترة (2017-2020). والغاية من ذلك هو تحديد أنماط الجريان للأحواض الفرعية المقيسة، وتحديد أنماط الجريان خلال فترات الشح؛
  - **الفصل الحادي عشر:** بعد اختيار وتقديم النماذج الهيدرولوجية المعتمدة سيتم نمذجة الصبيب اليومي بالحوض النهري المدروس، وتسليط الضوء على فترات الشح المائي، ثم تقييم فعاليتها باعتماد عدد من مؤشرات الأداء والهدف الأساسي من هذه النمذجة هو التنبؤ على المدى القصير والمتوسط بمستويات الشح والنضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)؛
  - **الفصل الثاني عشر:** خلال هذا الفصل تم دراسة الأنشطة البشرية المرتبطة باستغلال الماء بالحوض استنادا إلى تحديد وجرد المنشآت الهيدروفلاحية وتقدير كميات المياه المجلوبة من المجاري المائية. من جهة أخرى تم دراسة التأثير البشري على جودة المياه السطحية، عن طريق قياس وتتبع المتغيرات الفيزيائية والمواد الثقيلة وتركيزها خلال فترات الشح المائي. إن الهدف من هذه الدراسة هو فهم علاقة التفاعل بين الأنشطة البشرية وفترات الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، وذلك بهدف الخروج بتدابير لهذه الأحداث المترددة لتحقيق تنمية مستديمة.
- **<u>خـــاتمة عامة:</u>** تم خلالها استعراض النتائج والخلاصات التي تم التوصل إليها وعرض مجموعة من الاقتراحات والتوصيات.

بـــنـيـة الـبـحـث

القسم الأول: حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): الخصائص الطبيعية والبشرية والإطار النظري والمنهجي للشح المائي

الفصل الأول: الخصائص الطبيعية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

الفصل الثاني: حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): الخصائص البشرية والرهانات الاقتصادية

الفصل الثالث: صبيب الشح والنضوب المائي: الإطار النظري والمنهجي

القسم الثاني: الاشتغال الهيدرو مناخي بحوض تساوت عالية سد مولاي يوسف(1976-2016)

الفصل الرابع: تحليل تغايرية التساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1976-2016)

الفصل الخامس: دراسة وتحليل درجات الحرارة والتبخر-النتح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (2016-1986)

الفصل السادس: الخصائص الهيدرولوجية وأنماط الجريان لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (2016-1978)

القسم الثالث: التحليل الإحصائي للشح والنضوب المائي وتحديد العتبات بحوض تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (2016-1978)

الفصل السابع: تحديد واستخلاص صبيب الشح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978 - 2016)

الفصل الثامن: تحديد عتبات ظهور الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

الفصل التاسع: النضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (2016-1978)

القسم الرابع: مظاهر وتجليات الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): التتبع والقياس والنمذجة والتدبير

الفصل العاشر: تتبع وقياس الصبيب خلال فترات الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (2020-2017)

الفصل الحادي عشر: نمذجة صبيب الشح والنضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

الفصل الثاني عشر: الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): المظاهر والتجليات والتأثير وآفاق التدبير

القسم الأول:
حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): الخصائص الطبيعية والبشرية والإطار النظري والمنهجي للشح المائي

الفصل الأول:

الخصائص الطبيعية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

الفصل الثاني:

حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): الخصائص البشرية والرهانات الاقتصادية

الفصل الثالث:

صبيب الشح والنضوب المائي: الإطار النظري والمنهجي

مقدمة القسم الأول

سنستعرض خلال هذا القسم أهم الخصائص الطبيعية والبشرية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والإطار النظري والمنهجي للشح المائي. تعتبر الموارد المائية مادة حيوية وعاملا أساسيا من عوامل التنمية المحلية، وقبل الشروع في أي دراسة هيدرولوجية يجب تقييم الخصائص التي تلعب دورًا مهمًا في الجريان السطحي والباطني. تشمل هذه العوامل الخصائص المورفومترية والجيولوجية والجيومورفولوجية والبشرية (الأنشطة الاقتصادية والفلاحية...)، والتي سنهتم بها في هذا القسم، كما أنه من المهم التعرف على المفاهيم الأساسية وأهم الدراسات التي تطرقت لإشكالية الشح المائي والمنهجيات المعتمدة في دراسته. سنعتمد في تحديد وتحليل هذه الخصائص على مجموعة من المعطيات التي تم الحصول عليها من الخرائط الطوبوغرافية والجيولوجية والنماذج الرقمية للأراضي، والمعطيات المحصل عليها انطلاقا من المصالح الإدارية المختصة، بالإضافة إلى المراجع والبحوث ذات الصلة بموضوع الأطروحة. إن الهدف من هذه الدراسة هو فهم الخصائص الطبيعية والبشرية من جهة وتقديم رؤية شاملة لأهم المنهجيات في تحليل ومعالجة الإشكالية المدروسة من جهة أخرى، حتى تكون دراستنا مبنية على أسس علمية وبشكل مترابط ومتناغم.

يتكون القسم الأول من ثلاثة فصول يمكن تقديمها على الشكل التالي:

الفصل الأول: يتضمن الخصائص الطبيعية للحوض، والتي نهدف من خلالها إلى الكشف عن الإطار العام للحوض النهري تساوت (عالية سد مولاي يوسف). هذا التقديم لمجال الدراسة يمكننا من تحليل الخصائص الطبيعية للمجال والتعرف على الميكانزمات والآليات التي ستشكل أرضية لدراسة الجريان السطحي والباطني للحوض.

الفصل الثاني: يتعلق بالخصائص البشرية للحوض، انطلاقا من استحضار ممارسات وأنشطة السكان، ويتعلق الأمر بالأنشطة البشرية وتوزيع الساكنة داخل الحوض، والدينامية الفلاحية المميزة له وما يواكبها من تجهيزات هيدروفلاحية، وهذا سيعطينا فكرة أولية عن أشكال وأنواع الاستغلال للموارد المائية وسيطرح إشكالية تدبير هذا العنصر الحيوي.

الفصل الثالث: يضم الإطار النظري والمنهجي للشح المائي والنضوب المائي والمفاهيم الأساسية للدراسة، وسنهتم من خلاله بالتعاريف والمفاهيم التي لها علاقة بالشح والنضوب المائي. والهدف من ذلك هو توجيه تفكيرنا نحو المفاهيم التي تبدو أكثر أهمية والتي سنعتمد عليها خلال هذه الدراسة.

الفصل الأول: الخصائص الطبيعية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

مقدمة الفصل الأول

يخصص هذا الفصل لدراسة الخصائص الطبيعية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، والتي تعتبر متعددة ومعقدة للغاية، لذا سنسعى في دراستها إلى اختيار وتحديد ما يمكن أن يساعدنا منها على فهم وتحليل أنماط الجريان بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). سيتم معالجة وتحليل هذه الخصائص باعتماد مجموعة من المراجع والتقارير ذات الصلة وخرائط طبوغرافية تغطي الحوض بمقياس 1/100000، وخرائط جيولوجية بمقياس 1/200000، النماذج الرقمية للارتفاعات بدقة 12,5 متر وصور الأقمار الاصطناعية Landsat وGoogle Earth لسنة 2020. إن الهدف الأساسي من دراسة السياق الطبيعي هو فهم الآليات التي تتحكم بشكل مباشر وغير مباشر في الجريان السطحي والباطني لحوض الدراسة.

سنناقش في هذا الفصل مختلف الخصائص الطبيعية للحوض المائي تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، عبر محورين كالتالي:

المحور 1: نستهل دراستنا بتحديد الخصائص المورفولوجية والتضاريسية للحوض بالإضافة إلى توزيعاتها المكانية. سنقوم بحساب وتحليل المعلمات المورفومترية (المساحة، المحيط، Kg، الاستطالة....) والطوبوغرافية (توجيه السفوح، توزيع الارتفاعات، المنحنى الهيبسومتري، الانحدارات)، ثم الشبكة الهيدروغرافية (الرتب النهرية، كثافة التصريف، المقطع الطولي). يهدف اختيار دراسة هذه الخصائص إلى معرفة تأثير هذه المؤشرات الفيزيوغرافية على الجريان بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف).

المحور 2: سنقوم بتحديد وتصنيف، بشكل تركيبي، المجموعات الجيولوجية والصخرية الرئيسية على مستوى الحوض النهري، لمعرفة التسلسل الزمني لتكوين الصخور الرئيسية السائدة بالحوض. بعد ذلك، سوف نستغل هذه الخصائص الصخرية المختلفة لاستنتاج سلوك الطبقات الصخارية على الحوض المائي فيما يتعلق بالموارد المائية ولتقدير درجة النفاذية. وفي الأخير، سنلقي نظرة على التوزيع المكاني للغطاء النباتي من خلال تحديد الغابات المختلفة وأنواعها الرئيسية، والتعرف على تأثير هذا التوزيع على الجريان السطحي والباطني بالحوض المائي لتساوت (عالية سد مولاي يوسف).

المحور 1: الخصائص الهندسية والتضاريسية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

ينتمي مجال الدراسة إلى الأطلس الكبير الأوسط، الذي يتميز بتضاريس وعرة، وانحدارات وعرة، والتي يمكن أن تؤثر بشكل مباشر على السلوك الهيدرولوجي للحوض. ونظرا لكون حوض الدراسة يتوفر على محطتين للقياس (محطة أيت تمليل وتمسماط)، فإن مجال الدراسة تم تقسيمه إلى ثلاث وحدات؛ حوض تساوت (عالية سد مولا يوسف) في كليته والحوض الفرعي لواد أيت تمليل (عالية الحوض) والحوض الفرعي لواد تمسماط (سافلة الحوض).وقد تم الاعتماد في دراسة هذه الخصائص على الخرائط الطبوغرافية لأحوض الدراسة والأنموذج الرقمي للأراضي. ويتجلى الهدف الأساسي من تحديد الخصائص الهندسية والتضاريسية في تسليط الضوء على العناصر المتحكمة في الجريان.

I. الخصائص الهندسية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

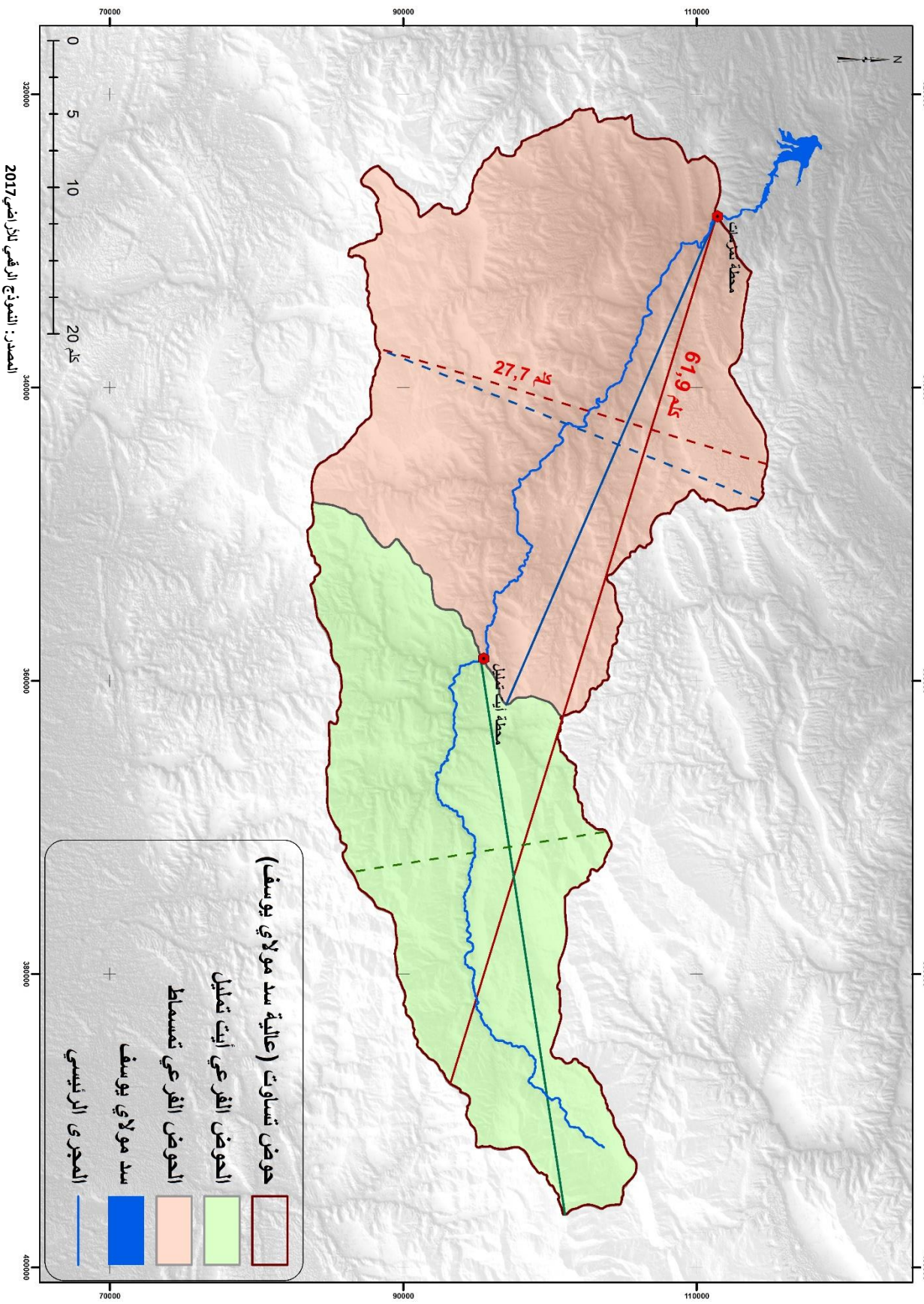
يمكن تحديد الخصائص الهندسية للحوض النهري انطلاقا من المؤشرات المورفومترية. مساحات الأحواض، مؤشرات الاستطالة Gravélius، مؤشرات التراص... والتي لها علاقة وطيدة بالسلوك الهيدرولوجي للحوض النهري. وهذا سيعطينا فكرة عن شكل ونوع وقوة وسرعة الجريان. ومن أهم الخصائص التي سيتم دراستها:

- **المساحة والمحيط** Superficie et Périmètre
- **الشكل** Forme
  - مؤشر الاستطالة اورتون Indice d'allongement d'Horton
  - مؤشر التراص L'indice De Compacité De Gravélius Kc
  - مؤشر المستطيل المعادل Indice de Rectangle Équivalent

سنعتمد في دراسة هذه الخصائص الهندسية على الخرائط الطبوغرافية والأنموذج الرقمي للأراضي ((MNT لحوض الدراسة، وعلى نظم المعلومات الجغرافية. وسنحاول التطرق للخصائص المورفومترية للحوض بشكل موجز، والتي تم التفصيل فيها بشكل كبير من خلال بحوث ودراسات سابقة: (El Ghachi, 2007) (Laborde, 2000)

يأخذ مؤشر الاستطالة، بعين الاعتبار العلاقة بين أكبر طول وعرض للحوض، والذي يوضح أن مجموع حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) متراص نسبيا (طول الحوض يساوي مرتين وربع عرض الحوض، Ih: 61,8، ih: 27,7). نفس النتيجة بالنسبة للحوضين الفرعيين أيت تمليل وتمسماط.

يبتعد مؤشر التراص عن الشكل الدائري، إذ تبتعد القيم عن 1 بالنسبة للحوض الكلي والحوضين الفرعين (Laborde,2000).



خريطة 3: مساحة ومحيط وشكل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

جدول 4: الخصائص المورفومترية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

مؤشرات الشكل		الحوض الفرعي لواد أيت تمليل	الحوض الفرعي لواد تمسماط	مجموع حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)
A	المساحة (كلم^2)	530,8	776,2	1307
P	المحيط (كلم)	130,8	140	218,6
Lh	أكبر طول للحوض (كلم)	38,5	39,7	61,8
Ih	أكبر عرض للحوض (كلم)	17,5	27,2	27,7
IH	مؤشر الاستطالة Horton	2,2	1,3	2,2
Kc	مؤشر التراص Gravelius	1,58	1,40	1,69
lr	طول المستطيل المعادل (	38,6	36,2	61,8
ir	عرض المستطيل	17,5	27,7	27,8
Ir	مؤشر المستطيل المعادل	2,2	1,3	2,2

المصدر: الأنموذج الرقمي للأراضي 2017

II. الخصائص التضاريسية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

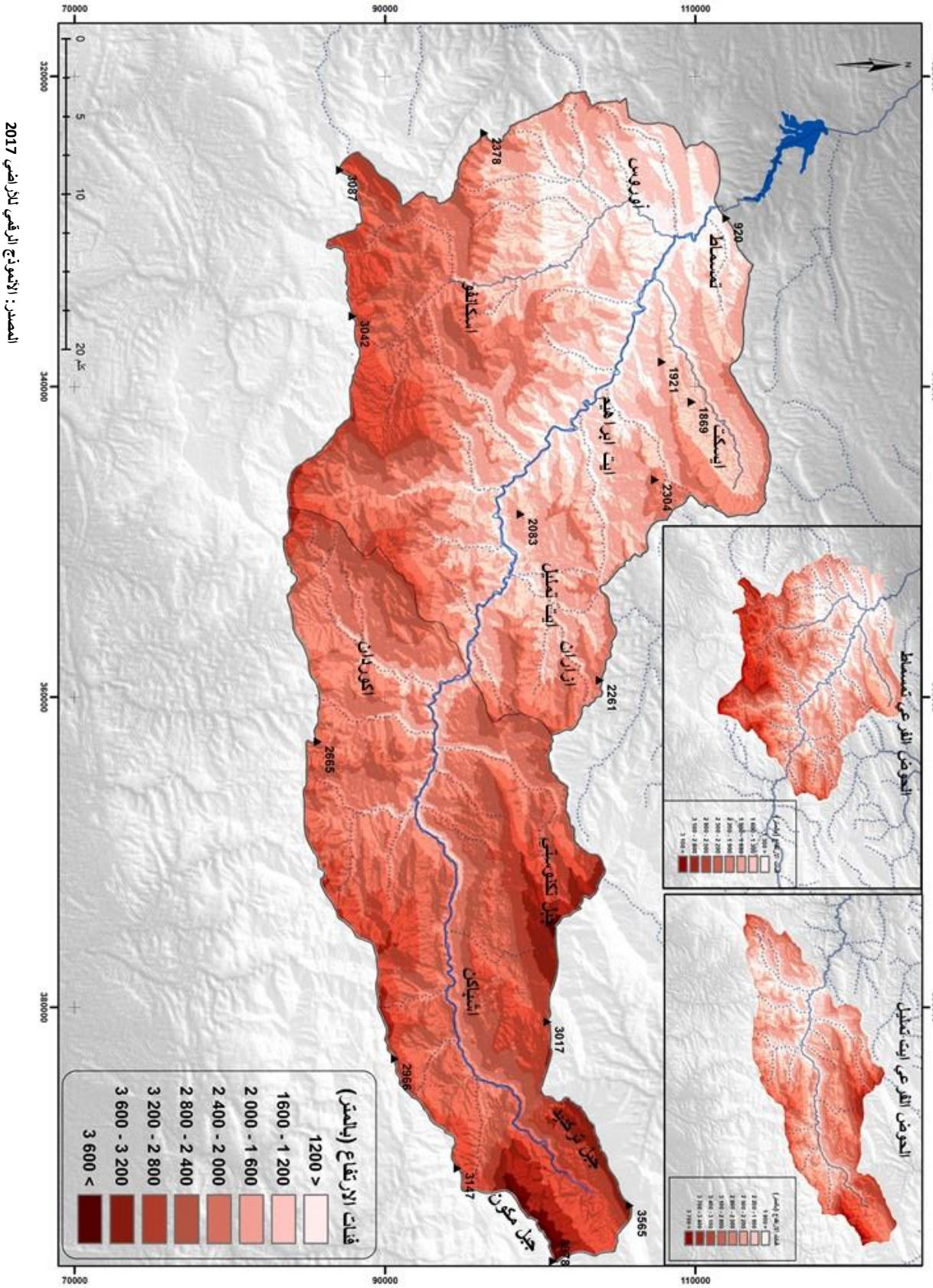
تشكل الارتفاعات عاملا أساسيا ومتحكما في الخصائص المناخية. فهي تحدد الكتل الهوائية الصاعدة في الجهة الواقعة في مهب الريح. وبالتالي فهي تتحكم في قيمة التدرج الحراري والمطري في المجال. ومن جهة أخرى تمثل التضاريس عاملا محددا للسلوك الهيدرولوجي ولزمن استجابة المجرى المائي للتساقطات المطرية (Riad, 2003)، فالانحدارات القوية تساهم في تسريع الجريان (لحلو وآخرون، 2015). ولفهم الخصائص التضاريسية سيتم حساب بعض المؤشرات العامة (مؤشر التضاريس والانحدار) والتي تمكن من معرفة وفهم طبوغرافية المنطقة، وطبيعة الأشكال المرتبطة بها (Laborde, 2000).

1. التوزيع المجالي للارتفاعات

تسمح لنا الخصائص الهيبسومترية بإبراز التنظيم المكاني للتضاريس، ونخص بالذكر الارتفاعات والمنحدرات على مستوى الحوض النهري من جهة، ومساهمة خصائص هذه التضاريس في توجيه الجريان السطحي من جهة أخرى. تم الحصول على الفئات الارتفاعية عن طريق النموذج الرقمي للأراضي (MNT). وحتى يكون التوزيع متكافئا، بحيث يشمل كل المستويات الارتفاعية، قُسم الحوض المائي إلى ثمان فئات، بفارق ارتفاعي 400 متر بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) و300 متر بالنسبة للحوضين الفرعين أيت تمليل وتمسماط.

تتوزع الفئات الارتفاعية داخل الحوض بشكل غير متجانس، إذ تُبرز لنا كل من المساحة والنسب المئوية (

جدول 5) أن الفئتين المهيمنتين هما 1600-2000 و2000-2400. يمكن أن تلعب هاتان الفئتان دورا هاما في وفرة الموارد المائية بالحوض، مقارنة مع الفئات الارتفاعية الأخرى.



خريطة 4: توزيع الارتفاعات بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والحوضين الفرعيين أيت تمليل وتمسماط.

المصدر: الأنموذج الرقمي للأراضي 2017

جدول 5: توزيع الفئات الارتفاعية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

الفئات الإرتفاعية بالمتر	المساحة (كلم2)	النسبة المئوية	الجمع التراكمي	الجمع التراكمي 2
1200<	21,1	1,60	1,60	100,00
1200-1600	179,8	13,64	15,25	98,40
1600-2000	307,8	23,36	38,61	84,75
2000-2400	317,4	24,09	62,69	61,39
2400-2800	275,3	20,89	83,59	37,31
2800-3200	170,3	12,92	96,51	16,41
3200-3600	40,8	3,10	99,60	3,49
>3600	5,2	0,40	100,00	0,396
المجموع	**1317,8**	**100,00**		

المصدر: الأنموذج الرقمي للأراضي 2017

تتميز الارتفاعات المهمة داخل الحوض بهيمنتها، حيث توجد أكثر من 70% من مساحة حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) ضمن مجال الارتفاع 1200-3200 متر. وتشكل الفئات الارتفاعية بين 2200 و 3100 متر نسبة مهمة بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، حيث تمثل % 59 من مساحته. بينما تمثل الفئات الارتفاعية من 1300 إلى 2200 متر النسبة الأهم بالحوض الفرعي لواد تمسماط حيث تمثل % 51 من مساحته الإجمالية.

2. المنحنى الهيبسومتري

يُعتمد في حساب المنحنى الهيبسومتري (La Courbe Hypsométrique) على العلاقة بين النسب المساحية المحصورة في ارتفاعات مختلفة (Strahler,1957) .حيث يلعب دورا مهما في المقارنة بين أحواض مختلفة، أو بين أقسام الحوض الواحد.

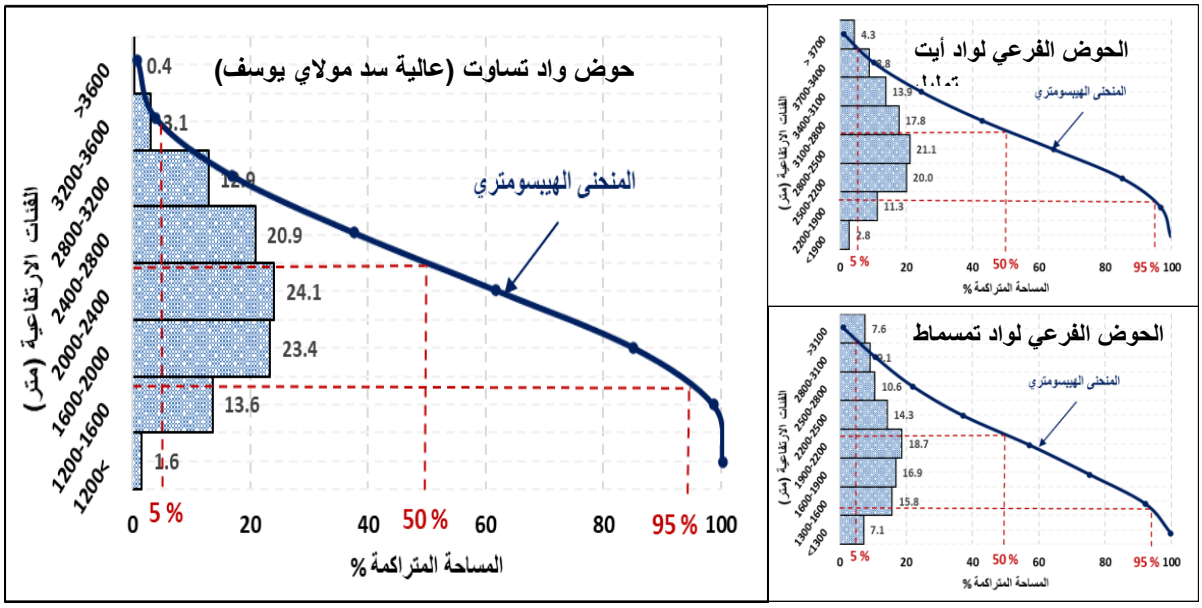
جدول 6: الخصائص الارتفاعية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والحوضين الفرعيين

الحوض النهري	H_{max}	H_{min}	H_{moy}	$H_{5\%}$	$H_{50\%}$	$H_{95\%}$
حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)	3978	920	2220	3363	2376	1554
الحوض الفرعي لواد أيت تمليل	3978	1646	2605	3688	3110	2143
الحوض الفرعي لواد تمسماط	3604	920	1958	3115	2108	1410

المصدر: الأنموذج الرقمي للأراضي 2017

يمثل الجدول 6 الفرق بين الحوضين الفرعيين أيت تمليل وتمسماط. وتتميز عالية الحوض (أيت تمليل) بخصائص ارتفاعية أكثر أهمية من تلك التي تميز سافلة الحوض (تمسماط).

مبيان 1: المنحنى الهيبسومتري بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



المصدر: الأنموذج الرقمي للأراضي 2017

يصل أعلى ارتفاع بمجال الدراسة، كما سبقت الإشارة، إلى 3978 م بجبل رات مقابل 920 م كأدنى ارتفاع عند مستوى محطة تمسماط، أي بفارق Dt = 3058 متر. ويتضح، من خلال المنحنى الهيبسومتري (مبيان 1)، أن الفئات الارتفاعية السائدة بالحوض تنتمي إلى الفئة الارتفاعية 2000-2400. تمتد الفئتين 1600-2000 و 2000-2400 على مساحة مهمة من حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) واللتان تمثلان أكثر من 47 % من المساحة الإجمالية للحوض وأكثر من 49% من مساحة الحوض الفرعي لواد تمسماط.

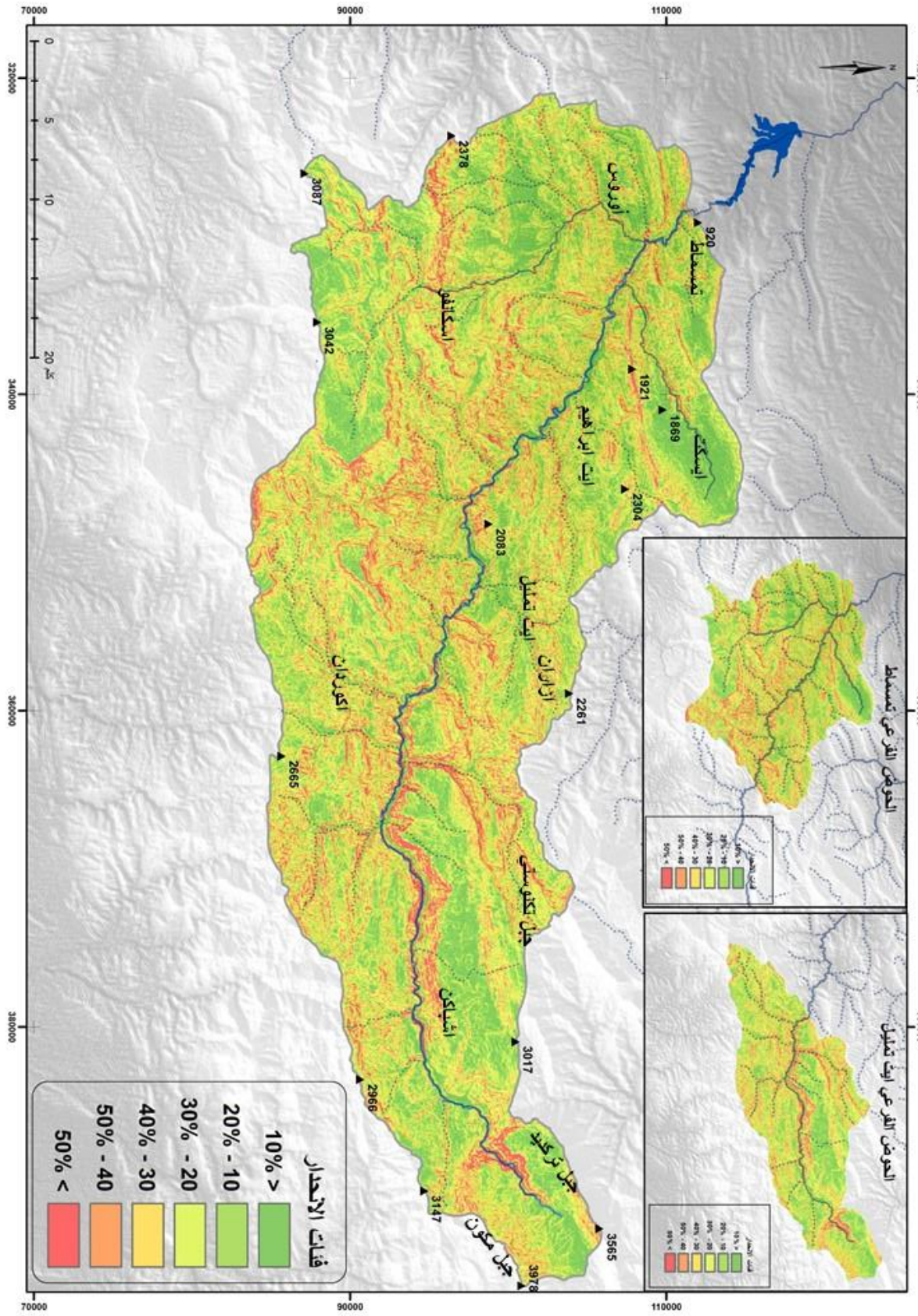
3. الانحدار

الهدف من دراسة الانحدار هو فهم السلوك الهيدرولوجي للحوض، فكلما كان قويا قلت مدة الاستجابة للحوض وبالتالي تزيد قوة الجريان، والعكس صحيح إذا كان ضعيفا، فاستجابته للتساقطات المطرية تأتي متأخرة في هذه الحالة (Roche, 1963) (El Ghachi, 2007) (Laborde, 2000). ولمعرفة دور الانحدار في تسريع وتيرة الجريان السطحي سنعمد إلى فهم المؤشرات التالية:

- الانحدار العام La Pente Totale
- معامل الانحدار العام L'Indice De Pente Global Ig
- الإشراف النوعي Dénivelée Spécifique Ds

تحتاج دراسة هذه الخصائص الهندسية لخرائط طبوغرافية ولأنموذج رقمي للأراضي (MNT) لحوض الدراسة، وعلى نظم المعلومات الجغرافية (ArcGis).

أكدت عدة مؤشرات عن قوة انحدار التضاريس داخل الحوض، والتي تفوق نسبة 50% في بعض المنحدرات، كما يوضح (المبيان 2) أن الانحدار الذي تتراوح نسبته بين 10 % و40 % يشكل نسبة مهمة من المساحة الإجمالية (أكثر من 70 %) لجميع الأحواض. ويبلغ معدل الانحدار بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) 21,5 %، أما بالحوضين الفرعيين أيت تمليل وتمسماط فيبلغ على التوالي 22,1 % و 21 % وهذا يوضح قوة انحدار التضاريس، مما يبرز أن انحدارات المنطقة تساهم بشكل كبير في سرعة جريان المياه السطحية التي تعمل على تغذية المجرى الرئيسي، حيث يمكن أن تؤدي إلى حدوث امتطاحات مهمة بالحوض (لحلو وآخرون، 2017)، بالإضافة إلى تنشيط عمليات نحت ونقل المواد من العالية نحو السافلة.



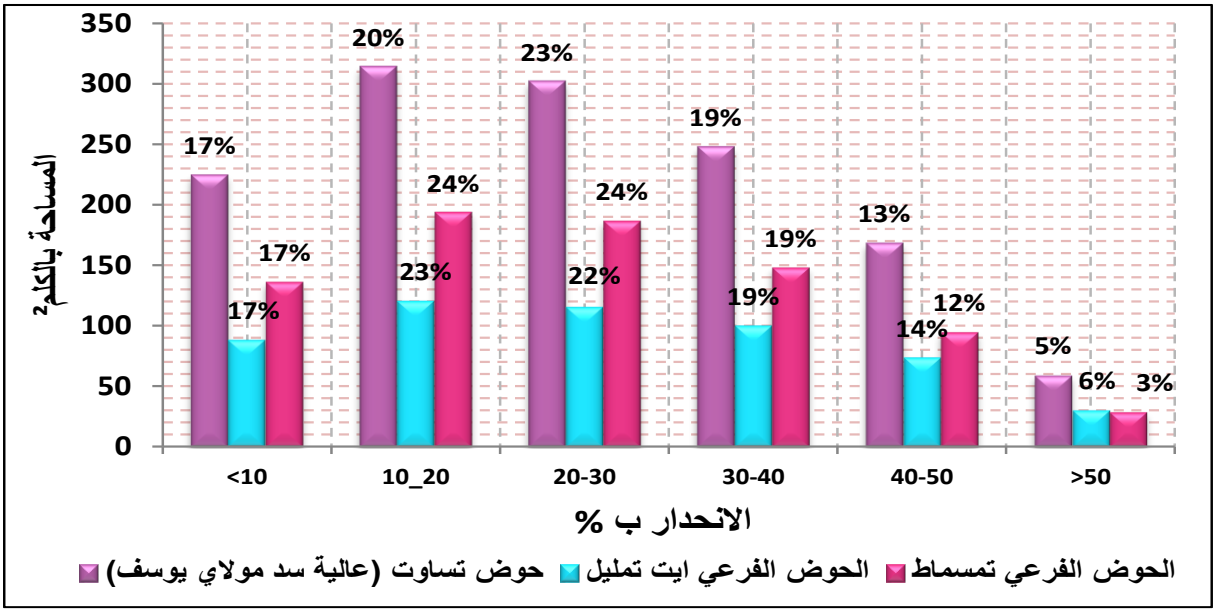
خريطة 5: توزيع الانحدار بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

المصدر: الأنموذج الرقمي للأراضي 2017

انطلاقا من الخريطة يمكن ملاحظة أن حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) يتميز بمنحدرات شديدة التباين وغير متجانسة. حيث أن وسط الحوض (منطقة ايت اميديس) وعالية الحوض على طول المجرى الرئيسي (منطقة ايفولو واشباكن) تعرف منحدرات قوية تفوق 40% وفي بعض الأحيان تبلغ أكثر من 50%، ولا تتعدى هذه الانحدارات القوية 20% من إجمالي مساحة الحوض الكلي أو الحوضين الفرعين.

توافق الانحدارات الضعيفة، في أغلب الأحيان، المنخفضات والوَهْدات، كمنطقة ايسكت وأوروس، وتمثل هذه الفئات من المنحدرات الضعيفة والمتوسطة بين 30 و40٪ من إجمالي مساحة الحوض الكلي والأحواض الفرعية. أما الانحدارات القوية نسبيا التي تتراوح حدتها بين 20 و40 % فهي الأكثر هيمنة بأحواض الدراسة، حيث تمثل بين 40 و50 % من إجمالي مساحتها الكلية.

مبيان 2: التوزيع المساحي لنسب الانحدار بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والحوضين الفرعيين



المصدر: الأنموذج الرقمي للأراضي 2017

يلخص الجدول 7 مؤشرات الانحدار بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والحوضين الفرعين.

جدول 7: مؤشرات الانحدار لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والأحواض الفرعية

مؤشرات الانحدار		الحوض الفرعي لواد أيت تمليل	الحوض الفرعي لواد تمسماط	حوض واد تساوت (عالية سد مولاي
A (كلم²)	مساحة الحوض	530,8	776,2	1307
H_{max} (المتر)	أقصى ارتفاع	3978	3610	3978
H_{min} (المتر)	أدنى ارتفاع	1650	920	920
$H_{95\%}$ (المتر)	الفئة التي تمثل 95%	3550	3020	2800
$H_{5\%}$ (المتر)	الفئة التي تمثل 5%	1800	1450	1200
DT (المتر)	الفرق بين أقصى وأدنى ارتفاع	2328	2690	3058
DU (المتر)	الفرق بين $H_{5\%}$ و $H_{95\%}$	1545	1705	1809
Lr (المتر)	طول المستطيل المعادل	38600	36200	61800
Ig	معامل الانحدار العام	0,040	0,047	0,029
Pt (%)	الانحدار العام ب %.	6,03	7,48	4,98
PU (%)	الانحدار الفعال	4,53	4,33	2.58
DS (المتر)	الإشراف النوعي	29,2	41,4	33,2

المصدر: الأنموذج الرقمي للأراضي 2017

حسب النتائج التي توصلنا إليها فإن الانحدار العام لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) قوي نوعا ما (Pt=4,98%، Pu=2,58%، Ig=0.029). هذا الانحدار سيكون له تأثير ملحوظ على سرعة الجريان خصوصا أثناء فترات التساقطات المطرية، حيث تتراجع نسبة تسرب المياه لصالح الجريان السطحي خصوصا في المجلات التي لا تعرف تطورا للغطاء النباتي. وقد حصلنا على نتائج متقاربة بالنسبة للإشراف النوعي (Ds) لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والأحواض الفرعية، والتي أكدت أن الانحدارات في الأحواض مهمة نوعا ما حسب تصنيف O.R.S.T.O.M (Laborde, 2000).

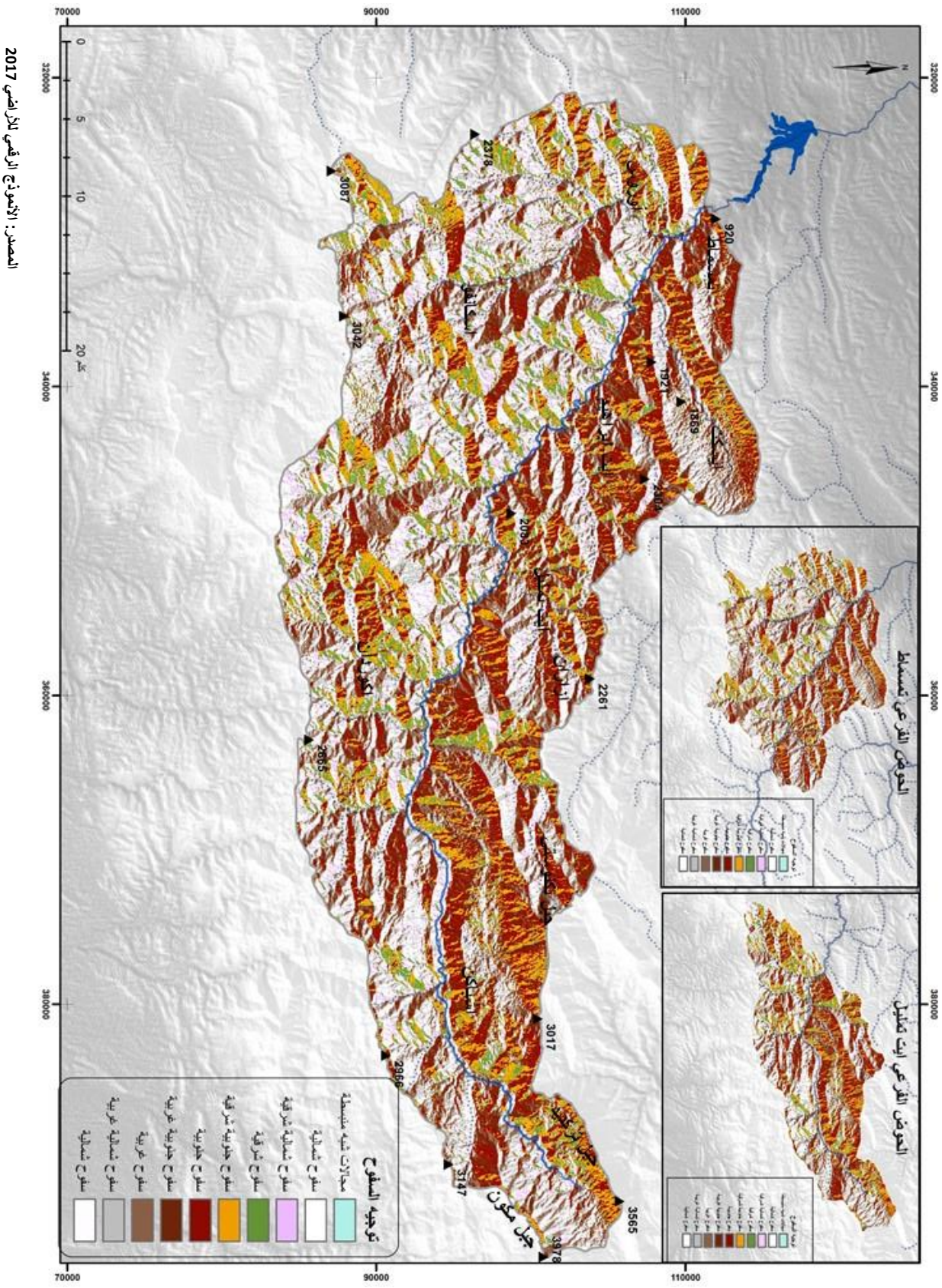
صورة 4: الانحدار بسفوح الحوض الفرعي لواد تمسماط على اليمين، والحوض الفرعي لواد أيت تمليل على اليسار (عمل ميداني، 2017)

لم يظهر تحليل الخصائص المورفومترية ومؤشرات الانحدار اختلافا كبيرا بين مجموع الحوض والأحواض الفرعية، ويتعلق الأمر هنا بحوض متراص يتميز بتضاريس وانحدارات قوية كما تبينه لنا الصورة 4، ويمكن أن نستنتج أن الحوض يعرف سرعة جريان مهمة وتعرية قوية كلما ارتفعت التساقطات المطرية التي يتلقاها.

4. توجيه السفوح

تتميز سفوح (L'exposition des versants) حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) بالاختلاف في التوجيه، وهذا راجع لوعورة التضاريس، فالسفوح الموجهة نحو الشمال والشمال الغربي والغرب، ظليلة ورطبة تربتها سميكة، وبالتالي توفر الغطاء النباتي. على عكس السفوح الموجهة إلى الجنوب والجنوب الشرقي، فهي سفوح شميسة وجافة، تربتها هيكلية وغير سميكة، وتتميز ببنية ضعيفة مما يجعل ظروف تطور الغطاء النباتي ضعيفة، فتكون أكثر عرضة لعوامل التعرية.

يعرف حوض الدراسة هيمنة السفوح الشمالية (22% من المساحة الإجمالية) بشكل متباين مجاليا خصوصا في الضفة اليسرى من الحوض، والتي تتميز بتربة رطبة وسميكة سمحت بتطور الغطاء النباتي بشكل واضح، في المقابل نلاحظ سيادة السفوح الجنوبية (11%) والجنوبية الغربية (10%) على الضفة اليمنى للوادي، مما ينتج عنه قلة الغطاء النباتي ويجعلها معرضة لعوامل التعرية. تراوحت نسبة باقي السفوح في اتجاهات مختلفة ما بين 8 و10 % من مساحة الحوض الإجمالية. وقد عرفت الأحواض الفرعية نتائج متقاربة في نسبة توزيع السفوح مقارنة بالحوض الكلي.



خريطة 6: توجيه السفوح حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

المصدر: الأنموذج الرقمي للأراضي 2017

III. الشبكة الهيدروغرافية داخل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) :

تُعتبر الشبكة الهيدروغرافية إحدى أهم خصائص الحوض النهري، وقد تم تعريفها بأنها جميع المجاري المائية الطبيعية أو الاصطناعية، الدائمة أو المؤقتة، التي تساهم في جريان المياه (Musy et *al*, 2004) عن طريق الجريان السطحي أو الجوفي في شكل عيون (Roche, 1963). إن التنظيم المجالي لهذه الشبكة مشروط بعدة عوامل طبيعية، وهي الجيولوجيا والتضاريس وشدة المنحدرات والمناخ وكذلك الأنشطة البشرية. نركز في هذه المرحلة على دراسة الشبكة الهيدروغرافية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، من خلال التعرف على خصوصياتها: كثيفة وقوية أو قليلة وضعيفة، التنميط وكثافة التصريف....الخ. يستند تمثيل هذه الخصائص إلى الأنموذج الرقمي للأراضي (2017) والخرائط الطوبوغرافية للحوض المدروس. وذلك بهدف تحديد خصائص هذه الشبكة وتصنيفها، وتمثيل المقطع الطولي للمجاري المائية.

1. تحديد وتنميط الشبكة الهيدروغرافية

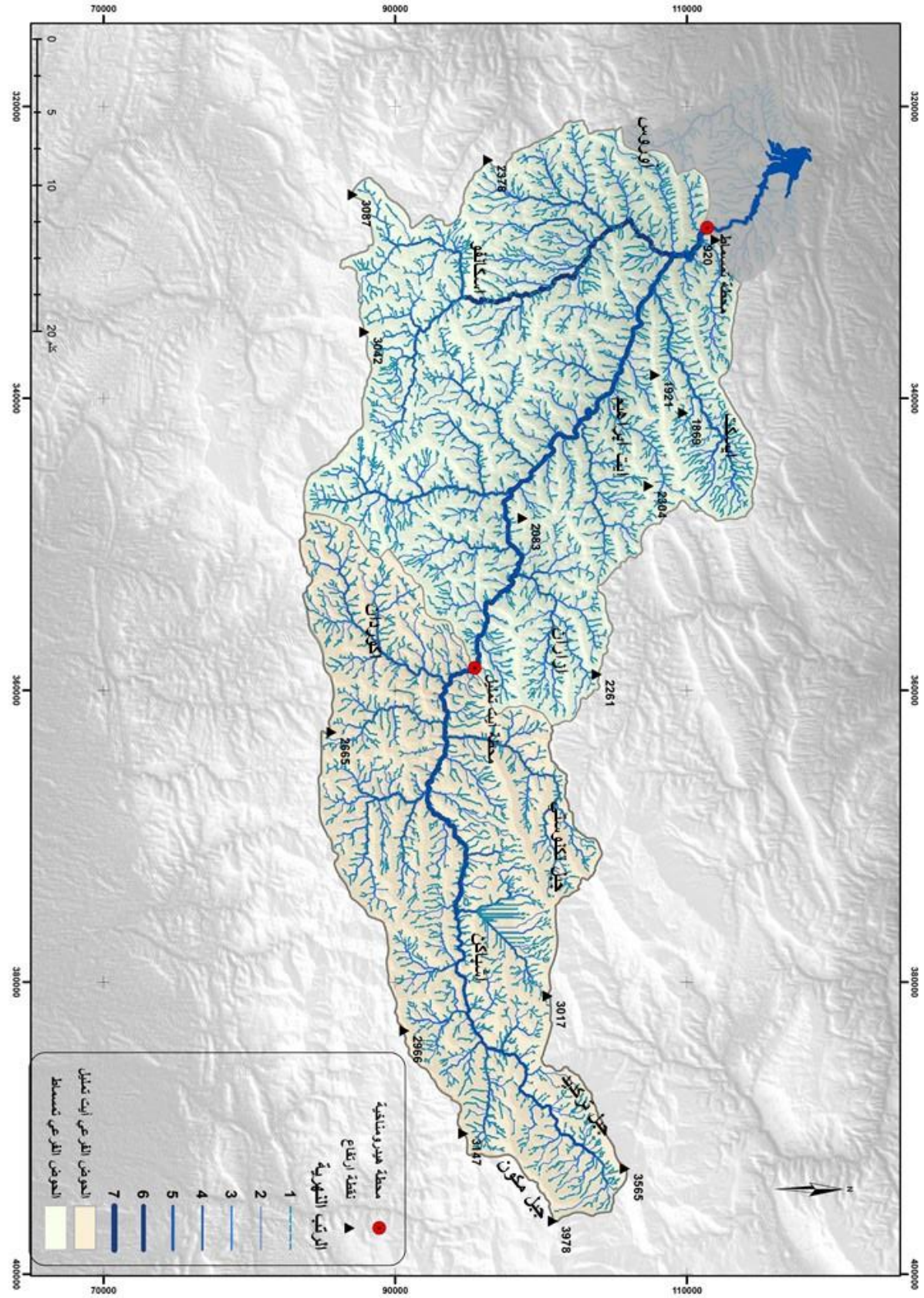
يتوفر الحوض على شبكة مائية مهمة، كون مجال الدراسة يتميز بشدة الانحدار وبغطاء نباتي غير كثيف. نجد بحوض الدراسة مجموعة من الأودية الصغيرة الموسمية والدائمة، التي تساهم في تغذية المجرى الرئيسي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، والتي تنحدر من جبال الأطلس الكبير الأوسط، وتأخذ اتجاها عاما، من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي بالنسبة لروافد الضفة اليمنى من المجرى الرئيسي، ومن الجنوب الشرقي إلى الشمال الغربي بالنسبة لروافد الضفة اليسرى من المجرى الرئيسي.

ومن أهم هذه الروافد أسيف ن إدمامان وأسيف ن تيفتيش وأسيف ن تسلنت وأسيف ن تيسيلي وأسيف نتكنسيفت بعالية الحوض وأسيف ن أيت حميد وأسيف ن أيت صالح وأسيف أيت مروان بوسط الحوض وواد أوروس وأسيف ماركنيد وأسيف إساكاترن وأسيف ن تأسيفدارت وأسيف تيسلاتين وأسيف بو علي بسافلة الحوض.

تختلف الشبكات المائية في أهميتها، وذلك تبعا لطول الأودية الرئيسية أو قصرها وكذلك تبعا لروافد المجرى الرئيسي. إن دراسة رتب حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) سيقودنا لدراسة كمية التصريف المائي لكل مجرى على حدة. لذا من المهم تحديد مميزات هذه الشبكة انطلاقا مما يلي:

- **رتب المجاري المائية:** وتعتبر طريقة سترايلر(Strahler, 1957) أكثر الطرق المورفومترية استعمالا، نظرا لبساطة تطبيقها، وسهولة إجراء مقارنتها بواسطة الأحواض النهرية؛
- **كثافة التصريف Densité du Drainage:** يساهم في معرفة السلوك الهيدرولوجي السائد في أي منطقة (Laborde, 2000).
- **التردد النهري: Fréquence du Chenal**: يساعد في فهم العلاقة بين عدد المجاري المائية بجميع رتبها ضمن حوض نهري معين ومساحته بالكلم^2 (Laborde, 2000).

خريطة 7: رتب الشبكة المائية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) حسب طريقة ستراير(Strahler, 1957)



المصدر: النموذج الرقمي للأراضي2017 + الخرائط الطوبوغرافية لمنمنات، أزيلال، تلوات، سكورة، زاوية احنصال، قلعة مكونة: (1/100000)

جدول 8: رتب وأطوال المجاري بالحوض المائي.

	حوض تساوت		الحوض الفرعي لواد تمسماط		الحوض الفرعي لواد أيت تمليل	
الرتبة	عدد المجاري	طولها (كلم)	عدد المجاري	طولها (كلم)	عدد	طولها (كلم)
1	4182	3324	2508	1974	1674	1350
2	756	1454	461	842	295	612
3	174	367	101	229	73	139
4	39	172	22	91	17	81
5	11	80	6	41	5	39
6	2	84	2	62	1	23
7	1	4	1	4	***	***
المجموع	**5165**	**5486**	**3101**	**3243**	**2065**	**2243**
المساحة (كلم^2)	**1307**		**776,2**		**530,8**	
كثافة التصريف (Dd)	**4,2**		**4,17**		**4,22**	
التردد النهري (F)	**3,95**		**4,00**		**3,89**	

المصدر: الأنموذج الرقمي للأراضي 2017

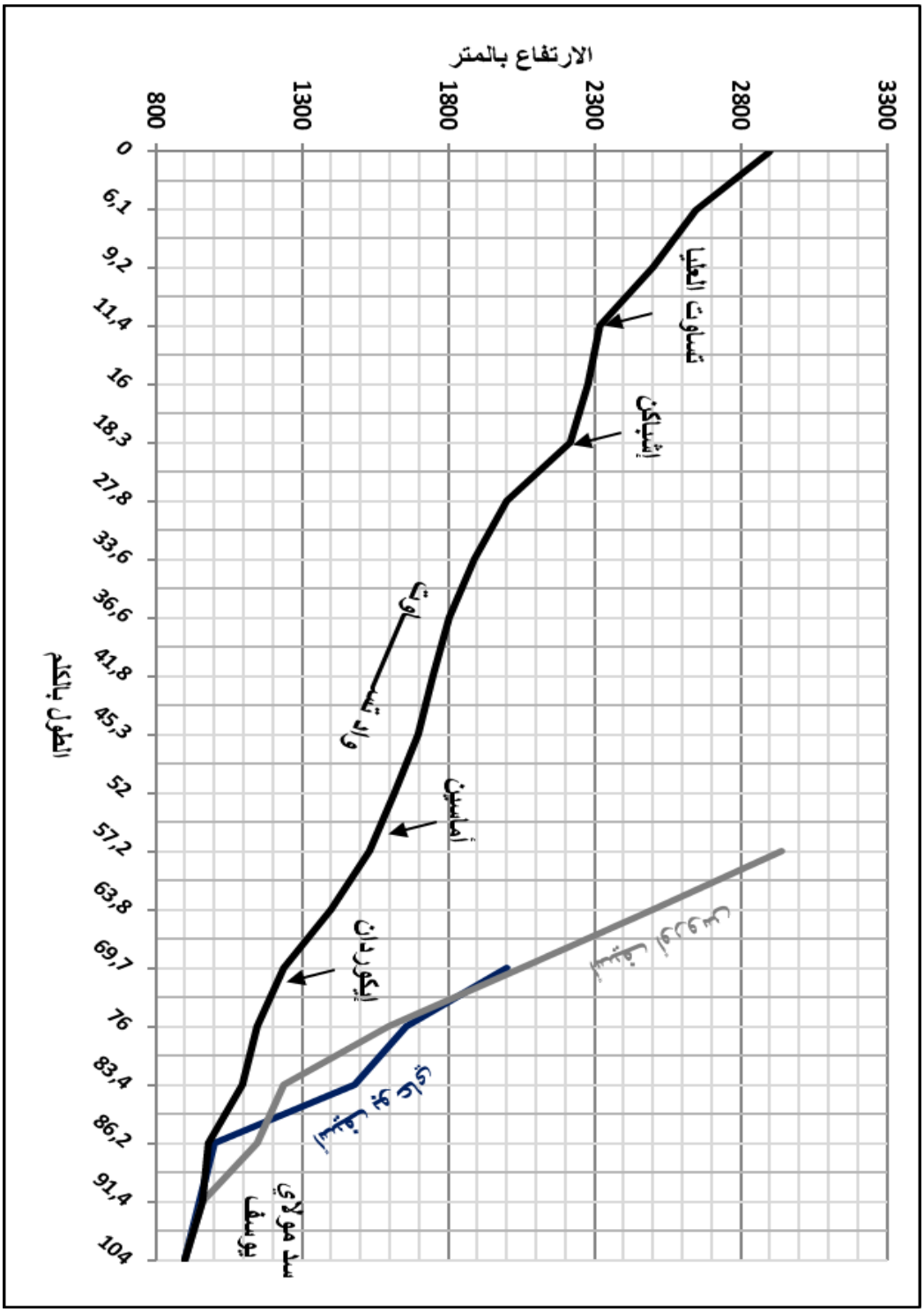
تعتبر كثافة التصريف بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والأحواض الفرعية لأيت تمليل وتمسماط متقاربة جدا، والتي تساوي على التوالي 4,2 كلم^2/كلم و 4,17 كلم^2/كلم و4,22 كلم^2/كلم. تدل هذه النتيجة على أن كثافة التصريف بالحوض متوسطة، لكن يمكن أن تزيد أهميتها عندما تكون التساقطات المطرية غزيرة، بالإضافة إلى شدة الانحدار وضعف الغطاء النباتي اللذان يطبعان الحوض. وقد سجل التردد النهري بدوره قيما لا بأس بها بالنسبة للحوضين الفرعيين وحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والتي بلغت 3,95 كلم^2 بهذا الأخير، وهذا يعطينا فكرة عن طبيعة الجريان السطحي بالحوض النهري.

3. المقطع الطولي للمجرى

يعطينا المقطع الطولي (Profil en Long) للمجرى فكرة عن العلاقة التي تربط ارتفاع المجرى المائي في نقطة معينة مع المسافة المقطوعة من المنبع، ويسمح لنا كذلك بإدراك التغيرات التي يمكن أن تحدث على مستوى قيم الانحدار(Laborde, 2000) (Roche, 1963).

تم إنجاز مقاطع طولية لثلاثة أودية أساسية داخل مجال الدراسة: المجرى الرئيسي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) ورافدان أساسيان واد أوروس وواد ن بو علي.

يتميز المقطع الطولي للمجرى (على طول 105 كلم) بتقعر على مستوى عالية الحوض، وبتقطع في الانحدار على مستوى منطقة إشباكن والسافلة الحوض، هذا الاختلاف في التقطع يرجع بالأساس إلى تنوع القاعدة الصخرية داخل الحوض. وبالتالي، فإن الواد يتعمق في التشكيلات الصخرية الهشة. ويتميز واد أوروس وأسيف بوعلي بانحدار قوي كما يُظهر المبيان 3، حيث أن واد أوروس يقطع مسافة 46,8 كلم فقط في فارق ارتفاعي يقدر 2000 متر أما أسيف بو علي فيقطع مسافة 34,4 كلم في فارق ارتفاعي يبلغ 1100 وهذا يبين أهمية الانحدار، وبالتالي قوة الجريان بهاذين الحوضين.



ميبان 3: المقطع الطولي لواد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

المصدر: الخرائط الطبوغرافية لدمنات، أزيلال، تنوارت، سكورة، زاوية أحنصال، قلعة مكونة: (1/100000)

خلاصة

يتميز حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) بارتفاعات مهمة تتراوح بين 920 م و3978م، كما يبلغ معدل الانحدار 21,5 % مما يعطينا فكرة عن قوة الجريان بالحوض. على العموم، تعتبر الخصائص الهندسية والتضاريسية مؤشرا أوليا تدل على طبيعة الجريان بالحوض المدروس. حيث أنها تتحكم بشكل كبير في الجريان السطحي، كما أنها تؤثر بشكل كبير في السلوك الهيدرولوجي للحوض.

المحور 2: الخصائص الجيولوجية والغطاء النباتي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

كان ولايزال الأطلس الكبير الأوسط موضوع بحث الجيولوجيين منذ بداية القرن. تتعلق هذه الدراسات بكيفية تطور التطبق الصخاري لجغرافية العصور القديمة والتكتونية والبنائية. من بين الجيولوجيين الذين جذبهم فضولهم لسلسلة الأطلس نجد: (Leveque,1961)، (Monbaron,1981)، (Roch,1939)، (Huvelin, 1970)، (Laville, 1975)، (Jenny, 1983)، (Mattis, 1977)، (Couvreur, 1988).... وسنعمل من خلال مجموعة من الدراسات والبحوث، استنتاج الخصائص الجيولوجية والصخارية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) وتطور تكوينها وتوزيعها المجالي، اعتمادا على الخرائط الجيولوجية التي تغطي حوض الدراسة. إن الهدف من دراسة الإطار الجيولوجي هو تفسير تباين الأوساط الطبيعية، وإبراز دور الركيزة الصخرية وتعاقبها في تجديد درجة النفاذية التي تكمن أهميتها في توجيه نظام وحجم الجريان السطحي للأودية (الفيضان، الشح) من جهة، ودورها في تغذية الطبقات الجوفية مع العلاقة التبادلية بينها (مساهمة العيون والينابيع في تغذية الجريان السطحي...) من جهة أخرى. كما أن تطور مسكات التربة وتنوعها (طبيعتها، سمكها، بنيتها، انتشارها...) هي عناصر تتحدد من خلالها تطور الغطاء النباتي، الذي يشكل عاملا أساسيا في الجريان السطحي والباطني. لهذا كان من الضروري دراسة الخصائص الجيولوجية وتوزيع الغطاء النباتي، من أجل تكوين نظرة شاملة عن العوامل المتحكمة في السلوك الهيدرولوجي.

I .الخصائص الجيولوجية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

استنادا إلى المعطيات الجيولوجية لحوض الدراسة، سيتم تحديد التوزيع والامتداد المجالي للتكوينات الصخارية وتوزيعها واستنتاج مستويات النفاذية؛ التي ستعطينا نظرة مسبقة عن السلوك الهيدرولوجي في علاقته بالتشكيلات الصخارية التي يمر منها المجرى المائي (Castany, 1982).

1. التطور البنائي للأطلس الكبير الأوسط

ينحصر موقع هذه الوحدة من ممر "تيزي تيشكا" و "واد الردات" غربا، وينتهي بهضبة البحيرات في عالية "واد دادس" شرقا. وتطغى على هذا القسم الأوسط، جبال كتلية ضخمة ذات أجراف عالية وعمودية بفعل التعمق الشديد للأودية وسرعة جريان مياهها وتعدد روافدها. وأعلى القمم بهذا القسم تتمثل في جبل "مكون" بـ 071 4 م الذي يشكل جزء من حوض الدراسة.

تعرضت منطقة الأطلس الكبير الأوسط، وضمنها مجال الدراسة، خلال ما قبل الكمبري والزمن الأول، لسلسلة من الإرسابات، تتكون أساسا من الشيست والكوارتزيت والصخور الإندساسية، ولا تظهر هذه الرواسب إلا في الجزء الغربي من هذا الأطلس(El Youssi, 1986) . وقد عرف الأطلس خلال الترياس (الزمن الثاني) تمددا، أدى إلى تكوين أخاديد انكسارية متهدلة واستقبال إرسابات، قارية. ويمكن التمييز بين مجموعتين: الأولى في القاعدة حيث هناك غلبة للحث الكتلي الكوارتزي والرصيص، والثانية مكونة من توضعات فتاتية بحيرية(Leveque,1961) ، والتي تظهر في غرب الأطلس الكبير الأوسط. تلتها مرحلة غمر بحري مع بداية الليلياس، تكونت خلاله سحنات كلسية دولوميتية صلصالية، تخللتها عملية تخديد مهمة سمحت بمرور كميات مائية كبيرة، أدت إلى توسيع هذه الأخاديد. إلا أنه خلال حقبة الكريطاسي تعرض الرصيف القاري لعمليات تخديد عنيفة، ثم لغمر بحري استمر إلى بداية الباطوني، شكلت هذه المرحلة بداية نشأة جبال الأطلس بالمغرب.(Monbaron,1981) . لعبت هذه الحركات دورا أساسيا، خلال الزمن الثالث، في بروز ونشأة سلسلة الأطلس الكبير عامة والأطلس الكبير الأوسط خاصة، إذ عرفت القشرة الأرضية ضغطا كبيرا أدى إلى اصطدام الصفيحة القارية الأوربية بنظيرتها الإفريقية، برز على إثرها المجال الأطلسي وتجدد نشاط الانكسارات العكسية، كما ظهرت مجموعة من الطيات (Roch,1939) . نجد كذلك إرسابات الزمن الرابع المتمثلة في الدرجات النهرية (الرصراصية والكلسية...والطين والغرين)، والمنحفضات الجوراسية

الألينية، التي تتكون أساسا من المواد الحصوية الملتحمة بلحام كلسي ثم حصى وحصيم ممزوج بعناصر كلسية وحتية، إلى جانب غرين يشكل أغلبية أتربة الأطلس الكبير الأوسط(Monbaron,1981) .

أنشأ (Roch, 1939) تمثيلا للتطبق بعروة أيت تمليل، وقد نسب جميع التكوينات التي كانت موجودة إلى ما قبل الكربوني (السيلوري) بسبب غياب أحافير الأوردوفيشي. وقد خصص (Leveque,1961) أطروحة الدولة لدراسة الأطلس الكبير الأوسط لدمنات. وقد فسر سلسلة الزمن الأول من خلال طيات مستلقية ولم يلاحظ أيًا من الاتصالات غير الطبيعية للسفح الغربي لجبل "رات"، كما قدم مع ذلك مقاطع تكتونية. كما أظهر (Huvelin, 1970) استبصارًا عندما لاحظ أن سمك السيلوري-اللوشكوفي لا يتجاوز أبدًا 250 مترًا في عروة أيت تمليل، عوض ما كان معتقدا (1500 متر من السمك)، مع ملاحظة بعض المقارنات بخصوص فرشة مجموع الرواسب لجبيلات الشرقية، وقد تصور "فرضية المجموعات المتداخلة وربما طبقات من العصر الفيزي الأعلى.

وقد درس (Laville, 1975) عروة الزمن الأول لسكورة التي تحد حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) جنوبا. وأثناء الاستطلاع، وجد أن "الباليوزويك الأعلى" تعرض لحركات إلتوائية مكثفة وخضع لتكوينات متعددة المراحل، متناقضة بشكل كبير مع البنية شبه المنبسطة لعروة سكورة. وبالتالي، استنتج من خلال هذه الملاحظات حدودا تكتونية جنوب شرقي هذين القطاعين. غير أن تشوهات العروتين، حدثت خلال الفترة ما بعد "الفيزي الأعلى" في الاتجاه الجنوبي الشرقي. كما لاحظ وجود مرحلة من البنائية الانكسارية وغير متداخلة في أواخر العصر الهرسيني ومرحلة ما قبل العصر البرمو الترياسي.

2. الخصائص الصخارية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

يقع حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) في الجزء الجنوبي الغربي من الأطلس الكبير الأوسط، الذي يتميز بتنوع كبير في الصخارة، تعود إلى مختلف الأزمنة الجيولوجية، باستثناء الزمن الثالث الذي غاب في التكوينات الجيولوجية للحوض.

الكمبري (Cambrien): يظهر النتوء الوحيد للكامبري وقاعدة الأوردوفيشي، في توافق واضح وفي موضع أفقي على ريوليت أسيف ن إيبورودن، على شكل حث متراص ناعم بلون أخضر وشيست. لقد تعرَف (Jenny, 1983) على الكلس الصدفي مع فُتات ثلاثيات الفصوص من المستوى الكلاسيكي لقاعدة الكمبري الأوسط (أكاديان) للأطلس الكبير الأوسط والأطلس الصغير.

الأوردوفيشي (Ordovicien): ينتسب إلى الأوردوفيشي العلوي الحث البلقي (Psammites) المشكل من طبقات زجاجية والكوارتزيت التي أعطته لونا رماديا. تتطور هذه التكوينات بشكل خاص في الجزء العلوي من الطبقات. هذا التطبق مدعوم بتشبيهات مهمة مع الجبيلات، حيث أنتج الحث البلقي أحافير (Huvelin, 1967) وذلك بسبب موقعها الطبقي تحت الأفطانيت (phtanite) من السيلوري السفلي. في المواقع التي توجد بها الكوارتزيت، توجد أحجار رملية ذات دراج كوارتز ميليمترية (حث ذو تراص متناهي الصغر) (Destombes, 1971). لا تظهر قاعدة الحث البلقي من خلال عروة أيت تمليل إلا أن (Jenny, 1983) استنتج من خلال دراسة (Laville, 1975) أن رواسب الأوردوفيشي تتجاوز 2000 متر شمال ورزازات في تحدب الطية المركبة لسكورة.

السيلوري (Silurien): يتمثل هذا النظام بالأفطانيت (phtanite) الأسود بطلاء أزرق وأحيانا الطين الصخري الأسود المتفسخ باللون البني مع العديد من "الجرابتوليتات" أو "الخطيات" (Graptolites)، بالإضافة إلى الكلس المارني الصدئ مع قوالب الحفريات (الشوكيات بشكل أساسي). وتميز "الجرابتوليتات" جميع مراحل تكوينات العصر السيلوري والتي يبدو، حسب (Jenny, 1983)، أن قاعدتها القصوى مفقودة عند عروة أيت تمليل. يشكل الطين الصخري والأفطانيت والجرابتوليتات مستوىً مرجعيا ممتازًا يمكن التعرف عليه بسهولة، وقد تعرض هذا المستوى لتشوهات شديدة، وتنافر الطبقات.

الديفوني (Dévonien): يضم أساسا الحث والشيست وتكوينات كلسية، كما تضم تكوينات الديفوني الأسفل الحجر الغريني على شكل صفائح بلون أخضر، وأيضا الكلس الحثي الحطامي المتطبق، مع حطام ثلاثيات الفصوص ومِجَسيّات. تتطور التكوينات الكلسية بشكل ملحوظ على طول تساوت حيث وصفها (Lévèque, 1961) تحت اسم

"كلس تساوت". في الطبقات العليا، يتطور الطمي البَلِق الرمادي، مع عدسات ورفوف حثية صغيرة، والتي نسبها (Jenny, 1983) للعصر الديفوني الأعلى، دون دليل علم الحفريات. كما يمكن ملاحظة هذه السحنات بشكل مباشر غرب منطقة أيت تمليل. في هذا القطاع وفي المواقع المحيطة مباشرة بمنطقة "إكولوان"، تعلو هذه السحنات حدودا تتشكل في أغلبها من المارن الأسود، على شكل نسيج، مع أو بدون طبقات الكلس السيليسي.

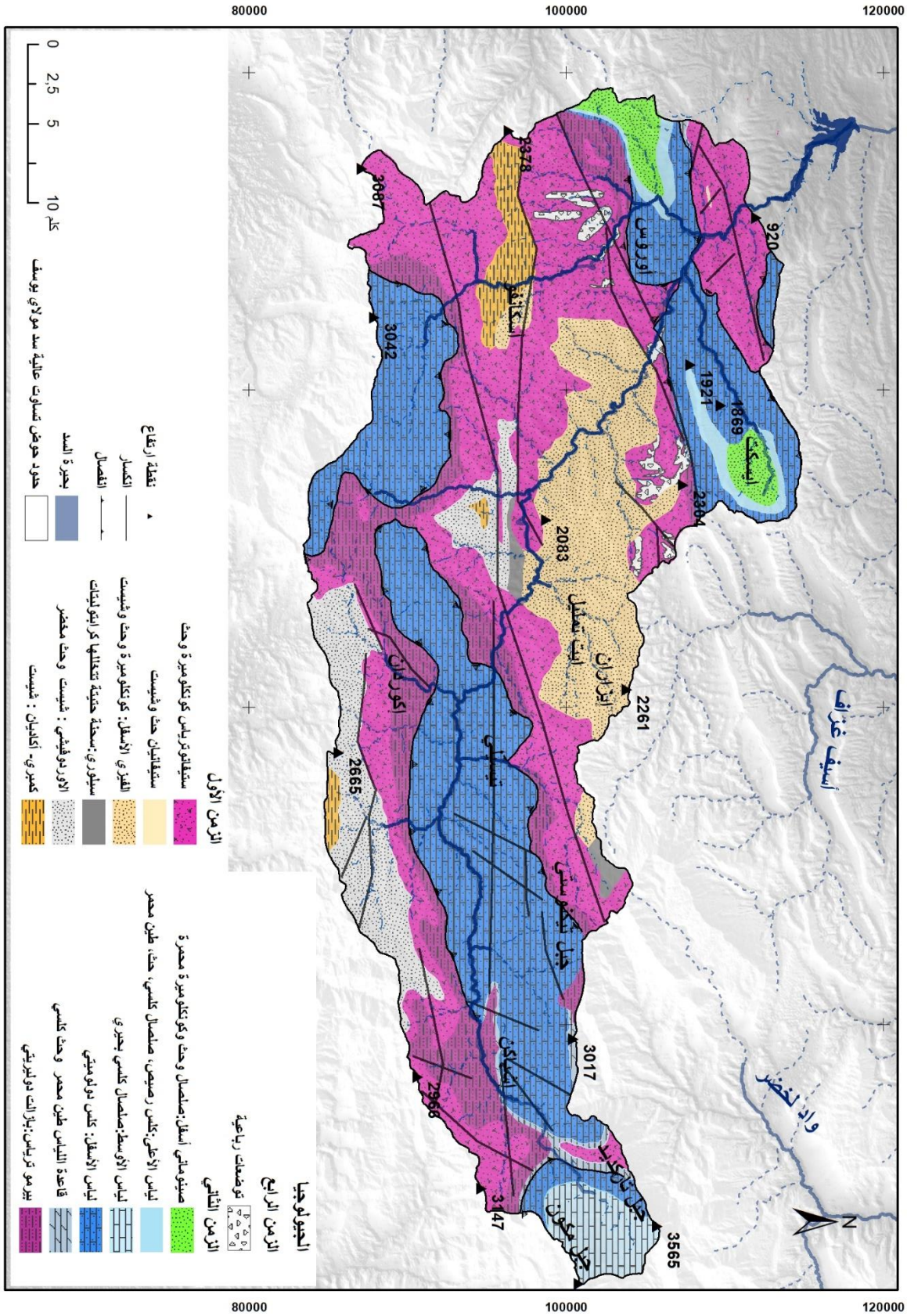
الفحمي (Carbonifère): تُنسب إلى العصر الفحمي خمس تشكيلات؛ ثلاثة نتوءات في منطقة "تيزي ن أوطفي"، واثنان في منطقة "إيكولوان". وتبقى علاقات التطبق واضحة في كل منطقة. يتشكل شرق "إيكولوان" (الضفة اليمنى من واد تساوت)، على امتداد مجال واسع، من تناوب رتيب لطبقات بسمك عدة سنتمترات من الطين الصخري الأسود والحث الدقيق. ويتقاطع مسار أيت تمليل من الجنوب إلى الشمال، صعودًا لسلسلة التطبق، وهي سماكة كبيرة جدًا، من الطين الصخري الرمادي- الأسود بالتناوب مع الحث الدقيق. وتمثل العدسات الديسيمترية للكلس المتداخل قاعدة بعض طبقات الحث. وقد تطورت بالقرب من منطقة "إيزران" (شمال شرق أيت تمليل) عدسات كتلية من الرصيص بسمك 70 متر (Jenny, 1983). تمتد تكوينات منطقة "تيزي ن أوطفي"، التي تقع شمال جبل "أيمكان"، على شكل منخفض متأثرٍ بالعديد من الانزلاقات الأرضية. تتشكل هذه التكوينات أساسا من الطين الصخري الرمادي والصخور الحثية، على شكل رفوف ديسيمترية تغلف طبقة رسوبية بسمك ديسيمتري إلى ديكاميتري. ويشكل الحث المكائي المحمر ذو الأشكال الحالية (الانزلاقات والنّايْشَكْلِية) والبَيْرُفوف الطينية، أصغر التكوينات في منطقة "تيزي ن أوطفي"، ويُستهل الحث بالكوارتزيت المرتبط برصيص من حصى الكوارتزيت، والأفطانيت، و "كلس تساوت" والكلس الحُطامِي (Roch, 1939).

الترياس (Trias): يتشكل أساسا من البازالت الدوليريتي، والمارن والطين مع مستويات ملحية. تتميز هذه التشكيلات الصخارية بضعف نفاذيتها. كما عرفت هذه التكوينات انكسارات شبه متوازية في اتجاه الشمال الشرقي/ الجنوب الغربي، وقد أدت هذه الانكسارات الجانبية-اليسارية والعمودية المتراكبة إلى تقطيع الأحواض (Jenny, 1983).

الليلياس (Lias): يتشكل الليلياس في الأطلس الكبير الأوسط من العديد من التكوينات الكربوناتية، تميزت بثلاث مراحل رئيسية من التكوين: مرحلة تكون الحوض، اقتصر على البحر الهامشي في زمن الليلياس الأسفل (ما قبل السينيموري الأعلى)، ثم مرحلة بحرية مفتوحة لظروف التزويد، خاصة خلال السينيموري الأعلى، وأخيرا مرحلة بحرية مفتوحة لظروف قليلة التزويد خلال البْلِنْسْبَاشِي (Mattis, 1977). يتشكل جزء كبير من حوض الدراسة من التكوينات الكلسية للعصر الجوراسي (الدوميري). وتتشكل تكوينات الليلياس من الكلس الدولوميتي الكتلي، الذي يمثل جزءا واسعا من كلس الأطلس الكبير الأوسط، ثم الكلس الدولوميتي (الليلياس الأسفل)، وتمثل هذه التكوينات أكبر استمرارية في السلسلة التي أعطتها أشكالا هيكلية من الأعراف المستقيمية (Ressources en eau du Maroc, Tome 3, 1977).

وبذلك، فإن المجرى المائي لتساوت (عالية سد مولاي يوسف) يمر بالتناوب عبر تكوينين أساسين: - تكوينات الليلياس التي تمثل أغلبية سلسلة الأطلس الكبير الكلسي، المشكلة أساسا من الصخور الكلسية الدولوميتية ذات النفاذية المهمة، وتكوينات الترياس والتي تتشكل من البازالت الدوليريتي، والمارن والطين، والتي تلعب دور القاعدة ذات النفاذية الضعيفة للتكوينات الجوراسية.

خريطة 8: الخريطة الجيولوجية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



المصدر: النموذج الرقمي للأراضي2017 + الخرائط الجيولوجية لمدينات وأزيلال وسكورة وتلوات 1/100000

3. الطبوغرافيا وتطور الشبكة الهيدروغرافية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

يتبع واد تساوت، انطلاقا من المنابع حتى تاكلست، الممر الكبير للطية المقعرة للمنطقة المحورية بين سلسة مكون بالجنوب و"تاركديد- تيكنوستي" بالشمال. يتدفق الواد في اتجاه الغرب لبعض الكيلومترات بين الارتفاعين 2950 و2800 م في الاتجاه المعاكس لرفع الطية المقعرة أغيل مكون وجبل تاركديد. وبعد ذلك يدخل المجرى بين خانق صعب الوصول إليه، والذي يبلغ 500 م في العمق، وقد فسر (Roch,1939) هذه الحالة بالأسر الكارستي (capture karstique) كما أشار إلى وجود عدد من العيون عند سافلة الخانق، حيث تساهم هذه العيون بشكل كبير في تغذية المجرى المائي لتساوت. بعد هذا المقطع، يجري واد تساوت في اتجاه الجنوب الغربي على مسافة 40 كيلومتر تقريبا، ليتعرض بعد ذلك للانحباس في عمق الطية المقعرة "لتيكنوستي" ثم يوافق اتجاهه سلسلة من التصدعات، والتي تتمثل في انكسارات طولية، تعرضت الصخور على طولها للبنائية، ثم بعد ذلك على مستوى اشباكن هناك تصدع قوي للطبقات، وفي الأخير انكسار مستعرض شمال شرقي- جنوب غربي قبل الولوج إلى عمق الطية المقعرة لفاخور(Couvreur, 1988).

يـأخذ المجرى المائي منبعه على ارتفاع 2400 م، وصولا إلى سد مولاي يوسف، ثم يتطور الوادي بعالية "أمزري" على التكوينات الطينية لزمن الترياس، وفي اتجاه السافلة، يحفر الواد في التكوينات الكلسية لزمن الليلياس من منطقة اشباكن إلى حدود منطقة ايت مكون على طول 30 كلم تقريبا، ثم يجرى الواد بمنطقة "ايكوردان" على التكوينات الحثية والشيستية على مسافة 15 كلم إلى حدود منطقة "اكرمان" على ارتفاع 1150م، ليدخل واد تساوت، بمنطة ايكالا، في خانق ضيق يبلغ عمقه أكثر من 300م والذي يتشكل من التكوينات الكلسية لزمن الليلياس الأسفل (Couvreur, 1988). بالنسبة للروافد، فهي مستعرضة وقصيرة، كما أنها أقل أهمية في الضفة اليمنى لواد تساوت، لأن منطقة "تكنوستي" عبارة عن منطقة كارستية، باستثناء 'أسيف تيسيلي'، حيث أن عالية هذا الرافد هي مجرى مرافق يجري على جبهة الضلع لتكوينات الحث لزمن الترياس بالشمال.

4. النفاذية

النفاذية هي قدرة خزان معين على تمرير الماء من خلاله تحت تأثير الانحدار الهيدروليكي (Castany,1982). ويمكن حسابه من خلال معامل النفاذية K حسب قانون دارسي «Darcy»، وتقاس النفاذية بكمية الماء التي تمر بوحدة الزمن من خلال وحدة المساحة، وتتباين الصخور والرواسب بشكل كبير جدا من ناحية معامل نفاذيتها. وقد تم تصنيف التشكيلات الصخارية وإنجاز خريطة النفاذية اعتمادا على الخريطة الجيولوجية، والغاية من ذلك، هو التمييز بين الصخور قوية النفاذية ومتوسطة النفاذية وضعيفة النفاذية، اعتمادا على جدول النفاذية المقترح (Castany,1982) , (Banton, 1997).

سمح لنا التصنيف الصخري والجيولوجي السابق، بتحديد ثلاث فئات رئيسية من الصخور من حيث النفاذية:

صخور قوية النفاذية: هي الصخور الكربوناتية وتتكون أساسًا من الكلس والدولوميت، هذه الصخور تعزز تسرب المياه من خلال الفجوات والشقوق.

صخور متوسطة النفاذية: هي الطبقات ذات النفاذية الضعيفة المترسبة بالتناوب مع الصخور قوية النفاذية.

صخور ضعيفة النفاذية: تتشكل من صخور رسوبية (مارل، طين،...) وصخور بركانية (غابرو وبازلت) ذات نفاذية ضعيفة.

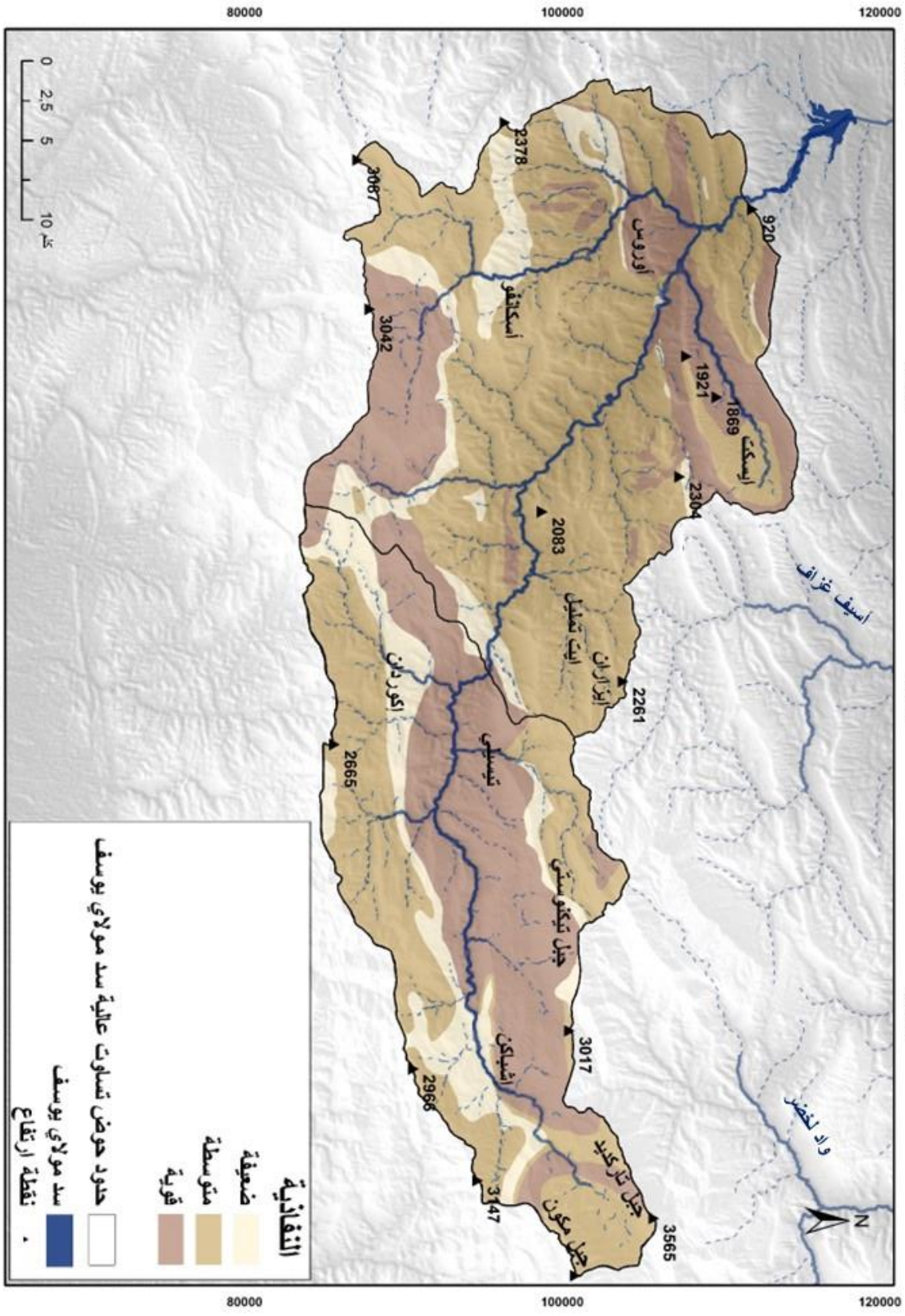
جدول 9: المسامية والنفاذية ومعامل التسرب لبعض الصخور

الصخور	المسامية العامة (%)	المسامية الفعلية (%)	النفاذية Log(K ,m/s)	معامل التسرب (%)	التسرب
حصى	25 إلى35	20 إلى 30	3- إلى 0	6	قوي
طمي الواد	15 إلى 25	10 إلى 20	3- إلى 0		
حث	0 إلى 30	0 إلى 25	5- إلى 4-	4	متوسط
رمل	25 إلى 40	20 إلى 35	7- إلى 4-		
رمل غريني	35 إلى 45	25 إلى 35	8- إلى 4-		
غرين	35 إلى 45	15 إلى 25	9- إلى5-		
غرين طيني	45 إلى 55	5 إلى 10	11- إلى 8-		
رمل طيني	35 إلى 45	25 إلى 35	8- إلى 5-		
صلصال	0 إلى 10	0 إلى 5	10- إلى 8-		
طين رملي	45 إلى 55	5 إلى 10	10- إلى 6-		
كلس	10 إلى 25	2 إلى 10	11- إلى 9-	2	ضعيف
قشرة مغلفة	10 إلى 25	2 إلى 10	11- إلى 9-		
دولومي	10 إلى 25	5 إلى 10	11- إلى 9-		
جبس	10 إلى 25	2 إلى 10	12- إلى 10-	1	ضعيف جدا
طين	45 إلى 55	0 إلى 5	12- إلى 9-		
رواسب طينية	45 إلى 55	2 إلى 5	9- إلى 6-		
أتربة السبخات	10 إلى 40	2 إلى 10	12-إلى 8-		

المصدر : (Banton, 1997 et Castany, 1982 ; modifié)

التكوينات قوية النفاذية: تشكل التكوينات الهيدروجيولوجية ذات النفاذية المهمة رواسب المياه الجوفية أو طبقاتها، والتي تحدد تكوين وهيكل الخزان (Castany, 1982) المكون من مواد ذات مسامية تسمح بمرور المياه. وتتشكل التكوينات الهيدروجيولوجية القوية النفاذية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) من صخور كربونية، غالبًا ما تتميز بالشقوق والفجوات، يمكن أن تعطي في معظم الحالات، أشكالًا كارستية سطحية وجوفية. على مستوى الحوض النهري، تتشكل التكوينات ذات النفاذية المهمة، بشكل أساسي، من عدة مئات من الأمتار من الكلس والدولوميت، يعلوها الكلس الذي يعود إلى الليلاس. كما تعتبر أيضا المجالات المكونة من الكلس الكتلي للعصر الجوراسي الأسفل (الليلاس)، والتي تشكل بعض الطيات المقعرة لحوض تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، مناطق ذات نفاذية قوية. تستفيد المياه السطحية من الحركات التكتونية التي نشأت على مستوى الحوض النهري، مثل الصدوع والتراكب من جهة، ومن نتوءات الطبقات التي لها ميلان مهم جدًا عند حواف الطيات المحدبة والمقعرة من جهة أخرى، التي تسمح بالتسرب واتباع الفجوات والفراغات بين الطبقات الصخرية، سواء كانت منفذة أو غير منفذة. تتدفق هذه المياه بعمق حتى تصل إلى الخزانات الجوفية التي تغذي الينابيع. تشكل فئة التكوينات قوية النفاذية 31٪ من المساحة الإجمالية لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، حيث تمتد على طول عالية الحوض (عالية منطقة "ايت مكون" إلى منطقة أمزري)، كما نجدها بسافلة الحوض الفرعي "أوروس" وعاليته ومنطقة "ايسكت". تؤدي هذه النفاذية بالتأكيد إلى جريان سطحي متقطع، يتم ملاحظته جيدًا في المجاري المائية غير الدائمة. كما تدل عدد من الينابيع والعيون على منسوب مهم من المياه الجوفية، يمكن أن تساهم في تباطؤ الجفاف الهيدرولوجي.

خريطة 9: النفاذية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



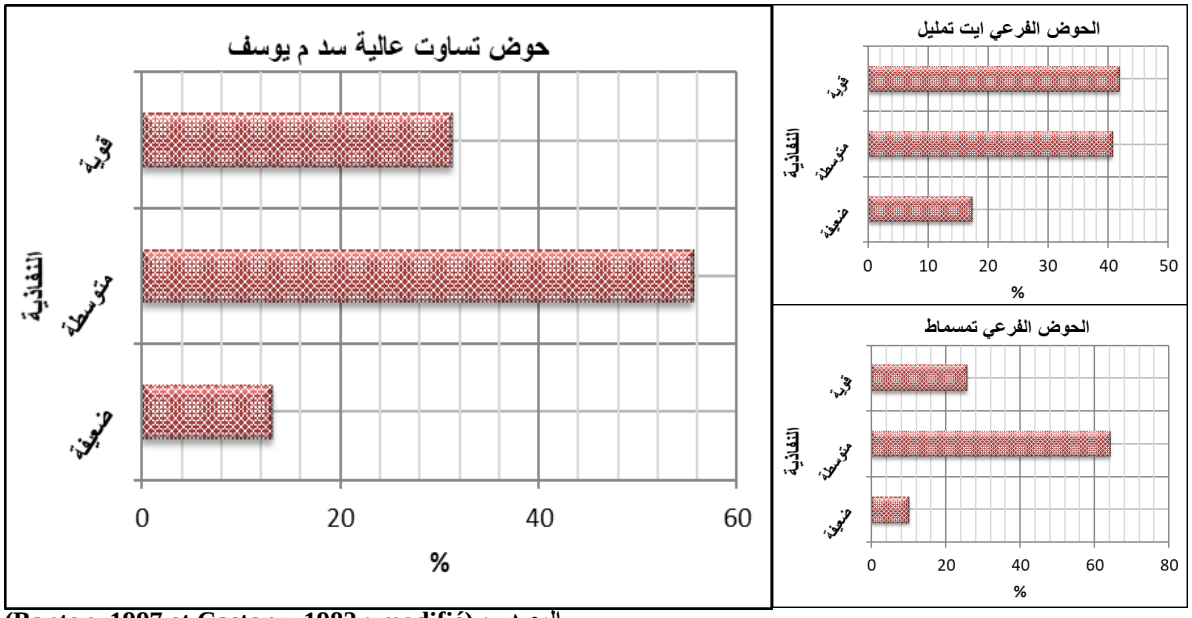
المصدر: الخرائط الجيومورفية لمنات وأزيلال وسكورة وتنوات 1/100000 (Banton, 1997 et Castany, 1982 ; modifié)

التكوينات متوسطة النفاذية: تتكون من تشكيلات منفذة تتخللها طبقات غير منفذة، أو في بعض الأحيان، تكوينات جيولوجية لا تُسَهل التسريب السريع للمياه. وتتكون أساسًا من الصلصال والحث والكونكلوميرا، والصلصال الكلسي، والشيست الذي تتخلله انكسارات. تمثل هذه الفئة 56٪ من المساحة الإجمالية للحوض النهري. يتم توزيع هذه التكوينات المتوسطة النفاذية بقوة في أجزاء من وسط الحوض والشريط الجنوبي الشرقي منه، وأجزاء من سافلة الحوض (عالية سد مولاي يوسف) ومنخفض منطقة ايسكت وسط الحوض الفرعي أوروس. يمكن أن تؤدي العلاقة بين الجريان السطحي والتكوينات متوسطة النفاذية، إلى تسريب بطئ نحو الفرشة الباطنية، حسب درجة التماس والانكسارات ونسبة التكوينات الكاريستية لهذه التشكيلات الصخارية.

التكوينات ضعيفة النفاذية: ترتبط التكوينات ضعيفة النفاذية عمومًا بالنتوءات العلوية للترياس المتشكلة من البازالت الدوليريتي، وتكوينات الكمبري أكاديان (الشيست) والتكوينات الطينية (الطين المحمر). تمثل هذه التكوينات ضعيفة النفاذية نسبة ضئيلة من مساحة الحوض النهري (13٪) مقارنة بباقي التكوينات الصخارية.

ويمثل المبيان 4 نسبة كل فئة من الصخارة، حسب النفاذية، من المساحة الكلية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والحوضين الفرعين أيت تمليل وتمسماط:

مبيان 4: نسبة نفاذية الصخارة من المساحة الكلية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



المصدر : (Banton, 1997 et Castany, 1982 ; modifié)

تمثل الصخور قوية ومتوسطة النفاذية 87 % من مجموع التشكيلات الصخارية بالحوض، حيث ستشكل خزانا هيدروجيولوجيا مهما يُساهم في تغذية المجرى المائي خلال مختلف فترات السنة، أما الصخور الضعيفة النفاذية فتمثل نسبة ضعيفة جدا من مساحة الحوض لا تتجاوز 13%. وعند حساب معامل النفاذية بالنسبة لمجمل الحوض تم التوصل إلى النسبة 4,4 % حسب تصنيف (Banton, 1997) و(Castany, 1982). توضح النتائج إذن، أن الحوض يتميز بنفاذية متوسطة إلى قوية، مما سيكون له تأثير واضح على السلوك الهيدرولوجي، حيث أن نسبة من التساقطات المطرية ستتجه نحو الجريان السطحي وجزء مهم نحو الفرشة الباطنية، ليشكل بعد ذلك صبيبا متأخراً (Débit Retardé) خلال الفترات الجافة من السنة.

II. الغطاء النباتي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف):

عرفت منطقة الأطلس الكبير الأوسط "لدمنات" توطينا من طرف الساكنة منذ آلاف السنين. والواقع أن المجال شهد تحولات كبيرة بفعل تدخل الإنسان، حيث تزداد حدة هذا التأثير أكثر في العالية نظرا لقساوة المناخ والانحدارات القوية بالإضافة إلى الرعي الجائر وتوسع الأراضي الزراعية، وهي عوامل تساهم مجتمعة في تعميق الخلل وتدهور التربة والغطاء الغابوي الذي لا تتجاوز مساحته 32000 هكتار أي ما يعادل 20% من مساحة الحوض الإجمالية (DREFLCD,2015). تصبح الزراعات في الارتفاعات الأكثر من 2500 م قليلة جدا باستثناء أعماق الأودية، ففي هذا المستوى من الارتفاع يشكل الرعي أهمية اقتصادية واجتماعية محلية للساكنة، غير أنها تخضع في غالب الأحيان لنزوات مناخية (شدة التشميس، درجة الحرارة المنخفضة، الرياح، الثلوج، التساقطات المطرية). وانطلاقا من بعض المعلومات التي استقيناها من "المديرية الجهوية للمياه والغابات ومحاربة التصحر" (DREFLCD,2015) والزيارات الميدانية للمجال المدروس، وكذا المعطيات التي توفرها صور الأقمار الاصطناعية Landsat لسنة 2020، يمكن تحديد العناصر الأساسية لاستعمال الأرض، حيث أن الغاية من تحليل معطيات استعمال الأرض هو فهم أكثر لتنظيم المجال، وكذلك استغلالها لاستنتاج سلوك الحوض النهري من حيث الجريان السطحي العنيف أو تسرب المياه الجوفية.

1. الغطاء الغابوي

نعني هنا بالغابة التشكيلات الخشبية الشجرية، ذات بنية عمودية والبالغ ارتفاعها 6 أمتار على الأقل، وفي هذه الفئة نميز بين عدة أنواع من التشكيلات الغابوية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): غابات البلوط الأخضر (Chêne Vert)؛ غابات السنديان (Chênaies Claires) ؛ غابات الصنوبر الحلبي (Pin d'Alep) .

البلوط الأخضر: تقع هذه التشكيلات، بشكل أساسي بمنطقة ايسكت وغابة أزريف، وينتشر، في أغلب الأحيان، بالمنحدرات الوعرة التي تجعل ولوج الساكنة المحلية إليها في غاية الصعوبة. تتسم هذه المناطق بمناخ شبه رطب، حيث تعرف تساقطات ثلجية، كمنطقة ايسكت وجبل أكوني. ينمو البلوط الأخضر في المرتفعات على تربة ضعيفة التطور، على شكل تجمعات صغيرة لا يتعدى ارتفاعها 5 أمتار خاصة في المناطق المرتفعة من غابة أزريف. أما على مستوى المناطق التي تتراوح بين 1000 و1700 متر يخضع الغطاء النباتي إلى ضغط كبير من طرف الساكنة المحلية، بفعل تزايد حدة الرعي الجائر والاستغلال الكثيف للموارد الغابوية عن طريق جمع الحطب وصناعة الفحم، الشيء الذي يساهم في تدهور وتراجع مساحة مهمة من البلوط الأخضر، والذي لازال يُكون تشكيلات شجرية مهمة في المناطق الوعرة والصعبة الولوج (بوحافة، 2019).

الصنوبر الحلبي: تتواجد هذه التشكيلات بشكل مهم في غابة أزريف (سافلة الحوض)، بحيث يشكل تجمعات شجرية كبيرة، نظرا للظروف المناخية شبه الجافة. يتعدى طول هذه التشكيلات 10 أمتار، وتعرف دينامية نشيطة، بفعل تجددها المستمر، خصوصا على السفوح الشمالية الغربية لجبل أفرخاس، حيث تتوفر الظروف المناخية التي تسمح بنموه بشكل مستمر، كما نجده في بعض الأحيان مختلط مع البلوط الأخضر.

ما عدا غابات البلوط الأخضر، لا تلعب الغابة إلا دورا ثانويا في حياة الساكنة، نظرا لامتدادها المحدود داخل المجال، وصعوبة الولوج إليها. الغابة إذن داخل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) قليلة الامتداد وقد عرفت تراجعا على مر الزمن بسبب قطع الأشجار والرعي الجائر(DEFCS,1976).

2. الماطورال

يُطلق اسم "الماطورال" على التشكيلات الخشبية التي يتراوح علوها بين مترين و4 أمتار، ويشكل "الماطورال" أهمية كبيرة بالنسبة لساكنة الحوض في الأنشطة الرعوية. امتدادها الواسع وتنوعها وفي بعض الأحيان غناها بالتشكيلات النباتية، يساهم في استمرارية القطيع بشكل كبير. ونميز في الحوض بين أهم أنواع "الماطورال" التالية (DREFLCD,2015): "ماطورال" البلوط الأخضر (Matorals à Chéne Vert)؛ "ماطورال" العرعر الفينيقي (الأحمر)(Matorals à Genévrier de Phénicie) ؛ "ماطورال" العفصية .(Matorals à Thuya)

أشجار العرعر الفينيقي
أشجار الجوز
أشجار العرعر الفواح
الصنوبر الحلبي
البلوط الأخضر
أشجار اللوز
المفتاح
مقرونان
مفروسة
أعراش وسهوب شوكية
أراضي زراعية
أراضي عارية
أصناف الفيتورال
البلوط الأخضر
الصنوبر البحري
الصنوبر الحلبي
العرعر الفينيقي
العرعر الفواح
دوار
الحوض الفرعي لبت تمثيل
الحوض الفرعي تغرمت
نقطة ارتفاع
المجرى المائي الرئيسي
جبل تركيت
جبل مكون
أشباكن
خان الخضر
أيت أبهي
أيت أبهي
أيت أبهي

3. الأحراش المنخفضة

يُعد اللاذَن الحبني(Cistus laurifolius) من الأنواع الأكثر تدهورا في غابة السنديان، ومن أكثرها فقرا من حيث التشكيلات النباتية بالحوض. يشكل اللادن ذو الأوراق الغارية، على عكس اللادن الزغابي، علفا مناسبا للماشية في فترات الشتاء. توجد هذه التشكيلات كلها أساسا فوق الأتربة غير الكلسية والحمضية نوعا ما، مثل الحث والأتربة الطينية للبيرمو-ترياس وشيست والدوليريت (DEFCS,1976).

4. السهوب الجفيفة الشوكية

تشكل هذه التشكيلات المستوى السهبي لعالية الأطلس الكبير الأوسط على ارتفاع أعلى من تشكيلات العرعر الفواح، أي حتى ارتفاع 3000 م، هذه التشكيلات لها القدرة على التوسع على حساب تشكيلات العرعر الفواح وغابات السنديان، فهي أكثر مقاومة للرعي الجائر، وتعتبر مصدرا مهما لعلف الماشية في بعض المناطق وخصوصا عالية الحوض (DREFLCD,2015).

5. المغروسات

تعتبر المغروسات الشجرية نوعا من أنواع الغطاء النباتي، والتي تعرف انتشارا واسعا على ضفاف المجاري المائية لواد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). تتشكل هذه المغروسات أساسا من أشجار الزيتون واللوز والجوز التي تنتشر في جميع أنحاء الحوض، كما نجد أشجار التفاح أساسا في منطقة ايت مكون وتوفغين وايت حمزة ... (عالية الحوض). كما نجد أنواعا من المزروعات العلفية كالفصة بالإضافة إلى الخضروات والتي تتطلب كميات مهمة من الماء، خصوصا خلال الفترات الجافة من السنة.

تُقدر الأراضي الفلاحية المستغلة ب 14709 هكتار أي ما يعادل 10 % من مساحة الحوض الإجمالية، وهي مساحة ضعيفة، وهذا راجع إلى وعورة التضاريس وشدة الانحدارات بالحوض، وقساوة المناخ خصوصا في عالية الحوض، وتتركز الزراعة أساسا في أعماق الأودية وفي بعض المناطق الضعيفة الانحدار مثل منطقة ايسكت، كما أن الساكنة تعتمد على تقنية المدرجات أو ما يسمى بالمصطبات للتقليل من تأثيرات التعرية المائية على السفوح. (DPAA, 2014)

خلاصة

يمثل الغطاء النباتي، ذو التشكيلات الخشبية والمكون أساسا من الماطورال، نسبة ضعيفة من مساحة الحوض، والتي لا تتجاوز 24 % من المساحة الكلية، حيث تقع أساسا في وسط وسافلة الحوض، بينما نلاحظ شبه غياب لهذه التشكيلات الخشبية في عالية الحوض. ومن خلال تحليلنا للنتائج نخلص إلى أن الغطاء النباتي بالحوض المدروس ضعيف نسبيا، مما سيكون له تأثير على قوة الجريان السطحي للمياه. ورغم الطبيعة الصخارية ذات النفاذية المهمة في أغلب أجزاء الحوض فإن قلة الغطاء النباتي وقوة الانحدار ستساهم في توفير جريان سطحي مهم في السافلة ليتم تعبئة مواردها على مستوى سد مولاي يوسف، كما سيكون لهذه العوامل تأثير كبير على السلوك الهيدرولوجي، حيث ستساهم في حدوث فيضانات وتعرية قوية بالحوض.

خاتمة الفصل الأول

إن مقاربة الآليات الطبيعية ستساعدنا، في سيرورة هذه الأطروحة، على فهم العوامل المؤثرة في الاشتغال الهيدرولوجي للحوض المدروس. ومن خلال مقاربتنا للمعطيات الطبوغرافية والمعاينة الميدانية والخرائط الموضوعاتية التي تم التوصل إليها باستعمال نظم المعلومات الجغرافية، يمكن استنتاج أن هناك ثلاثة عوامل متداخلة يمكن أن تؤثر بشكل كبير على الاشتغال الهيدرولوجي والهيدروجيولوجية للحوض، يمكن إجمالها فيما يلي:

- **العوامل المورفومترية** : حيث ستساهم المساحة الشاسعة للحوض (1307 كلم^2) وتوفره على أحواض فرعية مهمة في توفير موارد مائية سطحية مهمة، كما أن العامل الطوبوغرافي المتمثل في الانحدارات القوية والتي تتعدى نسبتها 70 % من مساحة الحوض ستساهم في تسريع وتيرة الجريان والسيلان في الحوض.
- **العوامل الجيولوجية**: تشكل دعامة أساسية في نفاذية الحوض، حيث تتميز التشكيلات بغلبة رواسب اللياس المكونة أساسا من الصخور الكلسية والدولوميتية، تسمح هذه التشكيلات الصخارية والبنائية، التي تميز المجال، بتسرب كميات مهمة من الأمطار والمياه السطحية (معامل النفاذية يساوي 4,4 %) لتُساهم في تغذية الفرشة المائية.
- **العوامل الإحيائية**: المتمثلة في ضعف الغطاء النباتي بالمجال، الذي لا تتجاوز مساحته 32000 هكتار أي ما يعادل 24% من المساحة الكلية للحوض، كما أنه يعرف تراجعا ملحوظا بسبب الرعي الجائر واجتثاث الغابة وتوسع المساحات الزراعية، هذه العوامل كلها تؤثر على الخصائص الهيدرولوجية للحوض بشكل سلبي، وبالتالي تكون شبكة هيدروغرافية كثيفة، تساهم في تسريع وتيرة الجريان السطحي.

الفصل الثاني: حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): الخصائص البشرية والرهانات الاقتصادية

مقدمة الفصل الثاني

شكّل الماء بالمغرب عبر التاريخ عاملا محدّدا للتنمية وعنصرا أساسيا في هيكلة المجال والمجتمع...إلاّ أنّ هذا العنصر الحيوي يعتبر، وبالنظر إلى الموقع الجغرافي للبلاد على صعيد النّطاقات البيومناخية للعالم، عنصرا شديد الحساسية وكثير التقلب وذا آثار مباشرة على باقي عناصر الوسط الطّبيعي والبشري على السواء. يُعد الموقع الجغرافي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) من بين المواقع الأكثر تأثّرا بالعوامل المناخية بالمغرب، لذا فالموارد المائية بهذا الحوض تشهد تغيرات مستمرّة، وهي أكثر حساسية للتّقلّبات المناخية، إذ تتميّز بتوزيع مجالي شديد التباين وبتركّز زمني كبير. هما خاصيتان تطبعان الحياة الاقتصادية والاجتماعية بالمنطقة، حيث تفرضان تدبير الوفرة أحيانا (فيضانات) والندرة أحيانا أخرى (جفاف).

سيتم خلال هذا الفصل التطرق إلى أهم الخصائص البشرية والأنشطة المرتبط باستغلال الماء، وذلك حسب محورين رئيسيين كالتالي:

المحور 3: اعتمادا على عدد من التقارير والمراجع، سيتم تسليط الضوء على التطور الديمغرافي بالحوض، بالإضافة إلى أهم الأنشطة الاقتصادية والفلاحية والرعوية بالمجال.

المحور 4: وحيث أن الرهانات الاقتصادية بالحوض ترتبط بمدى وفرة الموارد المائية ومختلف الاستعمالات (الفلاحة، الشرب، السياحة...)، سيتم تسليط الضوء بشكل عام على الانعكاسات السوسيو مجالية للموارد المائية على أهم هذه الأنشطة البشرية. وسيخصص هذا المحور لدراسة الأنشطة الفلاحية السقوية، باعتبارها أكثر الأنشطة التي تعتمد بشكل كبير على الموارد المائية المتاحة بالحوض.

المحور 3: الخصائص البشرية وتوزيعها داخل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

نظرا لصعوبة ضبط عدد الساكنة بالحوض المدروس، سنحاول في هذا المحور تقديم بعض المعطيات الإحصائية المتعلقة بالجماعات التي تنتمي جزئيا أو كليا لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). وأهم الأنشطة التي يزاولها السكان خصوصا تلك التي لها علاقة بالموارد المائية، والهدف من ذلك هو دراسة العلاقة بين الموارد المائية والواقع السوسيو اقتصادي بالحوض المدروس.

I. النمو الديمغرافي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

1. الحدود الإدارية ضمن حوض الدراسة

يمتد مجال الدراسة، بشكل جزئي وكلي، على تراب سبع جماعات قروية، تنتمي إلى ثلاثة أقاليم. تقع جماعتا أيت تمليل وايت امديس (إقليم أزيلال) في وسط الحوض حيث تمتدان على مساحة مهمة من الحوض النهري (تفوق 60% من مساحة الحوض)، كما تقع عالية الحوض ضمن نفوذ إقليم ورزازات حيث يمثل الجزء الشمالي لجماعتي امينا ولاون و تندورت 22% من مساحة الحوض الإجمالية. وتقع الجماعات القروية ايت حكيم وأيت عادل وعبادو (إقليم الحوز) بسافلة الحوض، وتمثل مساحة أقل من 18% من مساحة الحوض.

2. النمو الديمغرافي بمجال الدراسة

وتعرف هذه الجماعات نموا ديمغرافيا مهما وهذا ما يوضحه (الجدول 10):

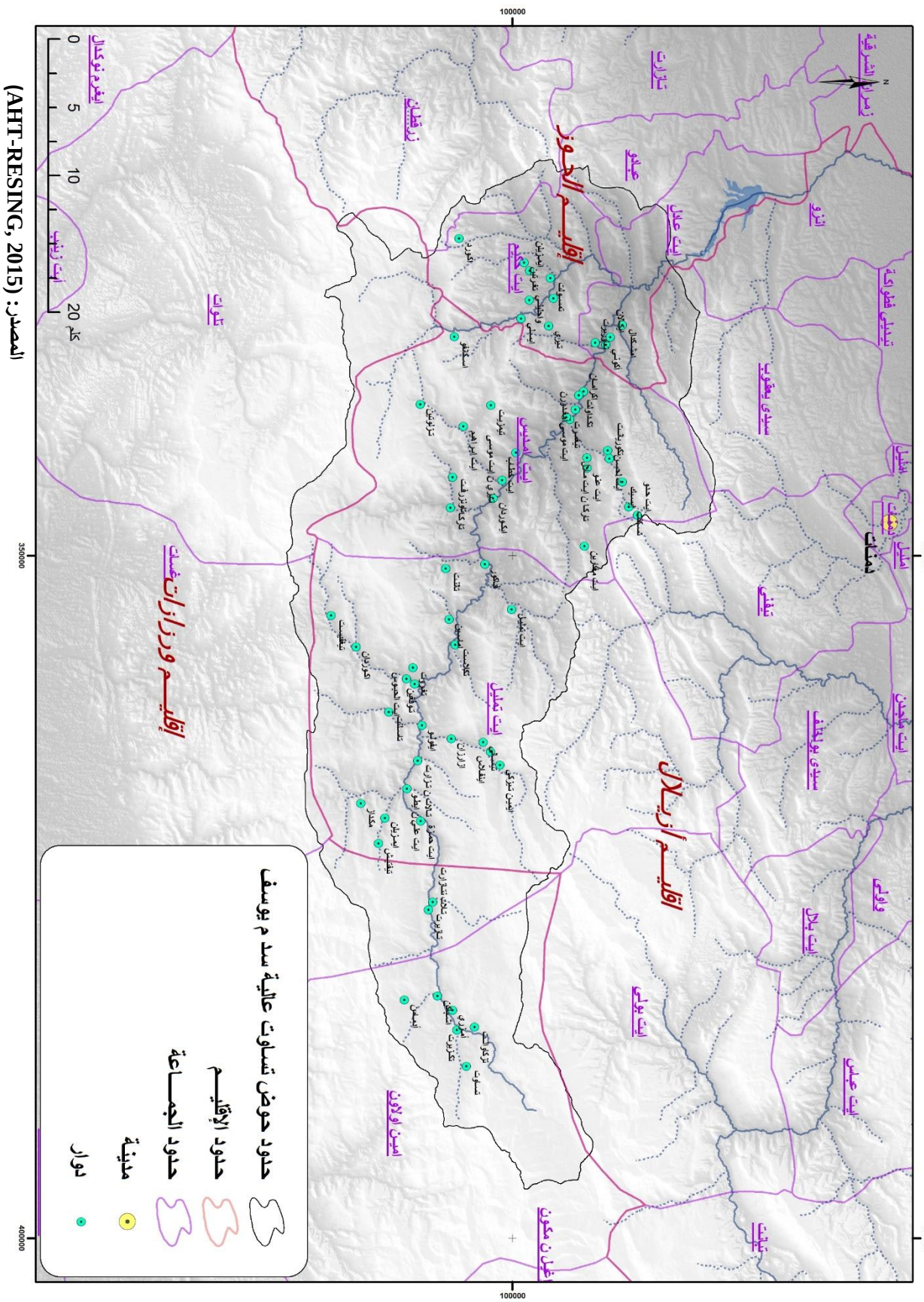
جدول 10: تطور عدد السكان بين 1994 و2014 بحوض تساوت (عالية سد م يوسف)

الجماعات	الإقليم	1994	2004	2014
امينا ولاون	ورزازات	18048	19968	21061
تندورت	ورزازات	11262	11877	12606
أيت تمليل	أزيلال	15779	18720	19930
ايت اومديس	أزيلال	14193	15377	15408
ايت حكيم	الحوز	6898	8112	8812
ايت عادل	الحوز	6113	6967	7925
ابادو	الحوز	8834	9905	10602
المجموع		**81127**	**90926**	**96344**

المصدر: (الإحصاء العام للسكن والسكنى 2014,2004,1994)

عرفت ساكنة الجماعات القروية، التي تنتمي إلى الحوض، تطورا مستمرا خلال العشرين سنة المنصرمة، كما نلاحظ أن الجماعة القروية أيت تمليل، والتي ينتمي أكثر من 70% من ترابها إلى الحوض (خريطة 11)، تعرف تركزا سكانيا مهما، كذلك الحال بالنسبة لأيت أمديس والتي توجد كليا ضمن الحوض، أما بالنسبة لجماعة امينا ولاون فهي تعرف أيضا تركزا سكانيا مهما غير أنها لا تمثل إلا نسبة قليلة من مجموع مساحتها بالنسبة للحوض.

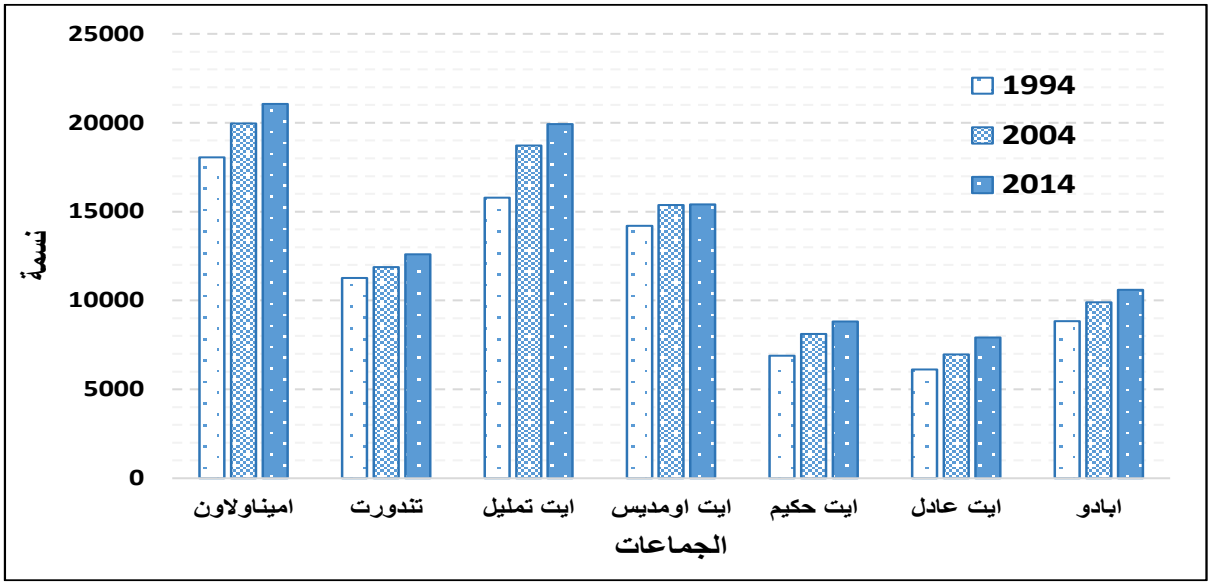
بصفة عامة يعرف الحوض تطورا سكانيا ملحوظا خلال العشرين سنة الماضية (الإحصاء العام للسكن والسكنى، 2014) رغم وعورة التضاريس التي تميز المجال، وهذا يدل على أن الأنشطة السكانية ستزيد والضغط البشري سيتضاعف أكثر على الموارد الطبيعية مما سيؤثر سلبا على البيئة الحوضية، وهذا ما سنحاول التعرف عليه في الفقرات الموالية.



خريطة 11: موقع حوض الدراسة ضمن الحدود الإدارية للأقاليم والجماعات القروية.

المصدر: (AHT-RESING, 2015)

مبيان 5: تطور عدد السكان (1994 و2014) للجماعات المنتمية لمجال الدراسة



(المصدر: الإحصاء العام للسكن والسكنى 2014,2004,1994)

3. السكن والأسواق

تتوزع الساكنة بمجال الدراسة بشكل متفاوت ومختلف تبعا للظروف الطبيعية، حيث يُلاحظ من خلال الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية أن أغلب الساكنة تستقر بالقرب من المجاري المائية.

1.3 السكن

نجد نوعا من السكن التقليدي يقوم على أساس تجمع سكني لمجموعة من المنازل، وتعتبر المنازل العصرية بالحوض نادرة جدا، كما يمكن أن نصادف في بعض الأحيان دواراً يضم فقط ثلاثة منازل أو أربعة في حالة تحول العزيب المؤقت إلى سكن دائم ومستقر (عمل ميداني،2017). ونميز بين نوعين من الدواوير؛ الدواوير التي تتخذ منازلها شكلا ممتدا، وبشكل عام نجدها تقع فوق الساقية، وتأخذ شكل عش النحل. والدواوير الكبيرة الجد معقدة، والتي تتشكل من دواوير فرعية، توافق غالبا الأصول (إخس)، وكل دوار يحمل اسم يتعلق بأصله يبتدئ بلفظة "أيت": أيت لحسن، أيت تسكينت (عمل ميداني، 2017). تقع أغلب الدواوير أساسا في بطون الأودية وأحيانا في بعض المنحدرات القوية، من أجل ترك أكبر مساحة ممكنة للمجالات الفلاحية. كما نجد ما يسمى بالعزيب والذي يُقصد به المأوى أو حضيرة الأغنام، وهو كذلك مأوى للإنسان، يتم بناؤه من خلال المواد المحلية ويتم تسييجه بواسطة الأحجار، كما يمكن للفلاح في موسم الحرث أو الحصاد أن يقطن به، وبالتالي يصبح بمثابة السكن الثانوي له، وبهذا فإن العزيب له عدة وظائف في حياة الساكنة المحلية: وظيفة رعوية ووظيفة فلاحية ووظيفة مختلطة (عمل ميداني، 2017).

2.3 الأسواق

من أهم الأسواق المتواجدة في المنطقة والتي لها إشعاع على الصعيد المحلي انطلاقا من العالية في اتجاه السافلة: أكيرد وخميس تندورت بإمرحان، أيت تمليل بأيت مديوال، أربعاء أبادو بأيتسادلي، سيدي يعقوب، دمنات، تيمي نوتين بسد أيت عادل. (عمل ميداني، 2017). إلى جانب دورها الاقتصادي، فإن للأسواق دورا اجتماعيا أساسيا في حياة الساكنة، فهي حلقة وصل بين أهالي المنطقة، كما يمكن لممثلي الساكنة مثلا تقديم المستجدات...

II. الأنشطة الاقتصادية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

للقيام بتشخيص دقيق للموارد تم التطرق إلى الأنشطة الاقتصادية ونظام الإنتاج، نظرا لما يمثله من أهمية كبرى في فهم علاقة الإنسان بمجاله. ترتبط أغلب الأنشطة الاقتصادية بمجال الدراسة بالأنشطة الزراعية التي تكتسي طابعا تقليديا. كما نجد أنشطة غير فلاحية كالصناعة التقليدية والسياحة والمهن المختلفة.

1. الأنشطة الزراعية

الأراضي الزراعية بالحوض محدودة، وهذا راجع إلى وعورة التضاريس والانحدارات القوية، لهذا فهناك استثمار كبير لليد البشرية في الفلاحة المسقية عن طريق بناء المدرجات المثبتة بواسطة غطاء نباتي طبيعي أو اصطناعي لحمايتها من التعرية، كما تمثل الأراضي البور نسبة مهمة من المساحة المزروعة، كما نميز في الأراضي البور بين الضعيف التهيئة والخاضع للتهيئة بإنجاز مدرجات بواسطة حواجز اصطناعية أو طبيعية، وحسب بعض المعطيات التي تم استخلاصها من المديرية الجهوية للمياه والغابات ومحاربة التصحر، فإن مساحة الأراضي الزراعية بالحوض تبلغ 14709 هكتار، والتي تمثل 11 % من المساحة الإجمالية للحوض، بما فيها المساحة المسقية التي تبلغ 4649 هكتار، والأراضي البورية، 10060 هكتار(DPAA, 2014). أغلب هذه الأراضي هي عبارة عن استغلاليات صغيرة يسهر رب الأسرة بمساعدة أفراد العائلة على أعمال الحقل، هذا يعني أن أغلب فلاحي المنطقة يتركزون ويستغلون مساحات صغيرة من الأراضي الزراعية. إلا أن المشكل المطروح هو التوسع الزراعي على حساب المساحات الغابوية وسوء استعمال الأرض مما يزيد من مشكل التعرية المائية وبالتالي حدوث فيضانات. أما بالنسبة للمنتجات المحلية فهي متنوعة وموجهة لسد الحاجيات المحلية وجزء منها يوجه للأسواق، ومن أهمها الحبوب والقطاني والزراعات العلفية والذرة هذا بالإضافة إلى الأشجار المثمرة مثل اللوز والجوز والزيتون والتفاح...

تعرف المنطقة منتوجات شجرية مهمة موجهة للتسويق المحلي والخارجي من أهمها منتوجات اللوز والجوز والتفاح بالإضافة إلى الزعفران الذي عرف تطورا ملحوظا في السنوات الأخيرة. وقد ظهرت وتطورت العديد من التعاونيات لتثمين هذه المنتجات، من أهمها نذكر تعاونية اللوز والجوز والزعفران أجيال تيزي بأيت تمليل وتعاونية إميري بإمازاين وتعاونية توف سكمود بإمي ن تزكي، وقد اهتمت بعض التعاونيات بإنتاج وتثمين منتجات الأعشاب الطبية والعطرية التي تساعد في صناعة مستحضرات التجميل واستخراج الزيوت والطب التقليدي.. (عمل ميداني، 2019). وقد لعبت هذه التعاونيات دورا مهما في تحريك عجلة الاقتصاد المحلي، حيث تتجه عدد من الأسر بالمنطقة إلى سفوح الجبال والمروج الخضراء والمشارات الفلاحية لقطف محصولهم اليومي، إذ يعتمد دخلهم على ما يجنونه منها ويقومون ببيعه للتعاونيات. كما اطلعت بعض التعاونيات بالعمل في مجال تربية النحل وإنتاج العسل الحر، وتحقيق مداخل مالية إضافية لفائدة الأسر التي تعمل في هذا المجال.

2. تربية الماشية

تُعد تربية الماشية من أهم الأنشطة اليومية للساكنة المحلية، وهي تعرف انتشارا كبيرا وتنوعا ما بين الأبقار والأغنام والماعز، ويبقى قطيع الماعز والأغنام على رأس القطيع نظرا للطبيعة الجبلية بالمنطقة، حيث تتميز الأغنام (السلالة البيضاء الجبلية) بمواصفات بنوية قادرة على التكيف مع أصعب الظروف المناخية وبقدرتها العالية على الانتقال والترحال. وتلعب الزراعات العلفية، المسقية على الخصوص، دورا مهما في توفير الكلأ للقطيع، وتوفير أراضٍ واسعة من الحشائش والمروج الطبيعية أو المسقية أو ما يسمى باللغة المحلية "إكودلان". وقد توجه بعض الفلاحين إلى تجاوز هذه الأساليب التقليدية في تربية الماشية والتي تعتمد أساسا على العزيب والرعي... إلى اعتماد عملية التسمين وتربية المواشي داخل الإسطبلات وتوفير الأعلاف والرعاية البيطرية. هذا التطور في أساليب تربية الماشية أدى إلى اتساع رقعة التسويق، وجعل الفلاحين يتوجهون إلى العديد من الأسواق من قبيل أيت تمليل، ايسولان، دمنات، قلعة السراغنة، العطاوية... أما خلال فترات العيد الأضحى، فإن نطاق التسويق يتسع أكثر بحيث تصل مواشي المنطقة إلى مراكش وبني ملال وخصوصا الدار البيضاء...(عمل ميداني، 2017).

تساهم تربية الماشية، بالإضافة إلى إنتاج اللحوم، في توفير الجلود والصوف وبالتالي تأمين المادة الخام التي تدخل في العديد من الصناعات التقليدية. يحتاج هذا القطيع بطبيعة الحال إلى رعاية دائمة للحفاظ عليه وضمان تحسين

نسله وإنتاجه. ويمكن التمييز، بمنطقة تساوت، بين نمطين من الرعي؛ الرعي الجماعي؛ حيث يتكلف الراعي بالقطيع، مقابل مبلغ مالي يقدر في السنة لكل رأس أو يأخذ نصيبه عينا من القطيع ويتمثل في ربع المواليد المزدادة في السنة، فهو يقوم يوميا بجمع القطعان ثم يقودها نحو المراعي أو ما يسمى ب"العزيب" (عمل ميداني، 2017). والرعي الفردي؛ حيث يقوم أحد أفراد العائلة برعي عدد متوسط إلى ضئيل من الأغنام والماعز بالمراعي المجاورة لمسكنه، كما يعمل على استدراج المواشي إلى مصادر المياه المجاورة قصد إروائها، وقد تكون عينا أو بئرا أو وادا أو غيرها (عمل ميداني، 2017).

تمثل تربية الماشية مصدر رزق أساسيا للعديد من السكان الذين يستقرون في جبال الأطلس الكبير الأوسط، حيث توجه المنتجات الحيوانية إلى سد الحاجيات المحلية للمنطقة من خلال تسويقها أسبوعيا، أو خلال مناسبة عيد الأضحى، حيث يتم تسويق المواشي أيضا على مستوى عدد من المدن الكبرى، من أبرزها الدار البيضاء.

إلا أن هذا القطاع ظل حبيس الوسائل التقليدية للإنتاج، والذي يعتمد بالأساس على ما توفره الطبيعة من العلف، وهذا على حساب المجال الغابوي مما يؤدي إلى تدهوره وإتلاف التشكيلات الغابوية.

3. السياحة

تشكل السياحة محركا إضافيا للاقتصاد بالمنطقة، بفعل المؤهلات الطبيعية والثقافية التي تزخر بها. يتوفر حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) على مناظر طبيعية خلابة وقصبات تستهوي الزوار وخصوصا الأجانب وتدعوهم إلى زيارتها. كما يضم مدارات سياحية في اتجاه المناطق المجاورة. ورغم البينة التحتية الضعيفة، عمل السكان المحليين على توفير خدمات الإقامة والتغذية في بطون الأودية وتشييد عشرات المآوي السياحية لاستقبال السياح، والتي أحدثت بدورها دينامية اقتصادية وموارد إضافية للدخل بالمجال (عمل ميداني، 2017).

يضم المجال موارد وإمكانات طبيعية تتمثل أساسا في المروج والبحيرات والأودية وقمم جبلية ومرتفعات تُشرف على مناظر خلابة كقمة جبل رات وقمة "انغمر" المطلة على بحيرة "تامدة" التابعة ترابيا إلى إقليم ورززات في الحدود مع إقليم أزيلال. كما يضم المجال مدارات سياحية انطلاقا من أيت تمليل مرارا بمنطقة ايت مكون وايت حمزة وأمزري، ثم خوانق عالية تساوت وقمة رات وصولا إلى منطقة تبانت (ايت بوكماز).

صورة 5: صور تمثل مناظر طبيعية على اليمين مرتفعات تشرف على واد تساوت وعلى اليسار جبل أنغمر

صورة 6: تمثل الصورة على اليمين بحيرة تامدة وعلى اليسار بحيرة إفرض نونسا

يعتبر دوار أيت علا نقطة عبور لورزازات ولوجهات سياحية مختلفة سواءً من دمنات أو من الدواوير الأخرى التي توجد في عالية واد تساوت، وتضم المنطقة مآوي سياحية. كما يتميز المجال بالمراعي والمروج والمنخفضات، ويمكن أن نذكر في هذا السياق عزيب سفسكموض المتواجد في سفوح الواجهة الغربية لجبل رات، وهي منطقة يرتادها السياح خصوصا الأجانب منهم ويشكل نقطة عبور في اتجاه مناطق أيت بوولي وأيت مديوال وبعيد على دوار إمي نتزگي-تسلي بحوالي 3 كيلومتر.

صورة 7: تمثل الصورة على اليمين دوار ايت علا وعلى اليسار عزيب سفسكموض

تتوفر المنطقة على مآثر تاريخية، من أهمها القصبات السبع بمكداز(قصبة ايت احساين اوفلا، ايت احساين الوسطى، ايت تزناخت، أزارورن، ايت حما، ايت ايجا، ايت حسو) ، والتي يبلغ صداها شهرة عالمية. وقد تم ترشيح تسجيلها في منظمة اليونسكو حيث أنها تتوفر على مآثر تاريخية ما بين منازل قديمة وقصبات ومواقع أثرية تعود أصولها إلى ما قبل 500 سنة (موسوعة أرابيكا، 2020). إلا أن هذه الموروث الثقافي يعاني من التهميش وقلة الاهتمام، مما يهدده بالاندثار في حالة عدم التدخل لإعادة ترميمه وصيانته من السقوط.

صورة 8: قصبات مكداز جماعة أيت تمليل (ويكيبيديا)

4. الصناعة التقليدية

تعتبر صناعة النسيج من أقدم الصناعات التقليدية بالمغرب، وقد ساهمت ساكنة المنطقة في الاشتغال والإبداع وصون التراث الثقافي الفني من خلال عدة منتجات تقليدية، من أهمها صناعة الزرابي وزخرفتها بالصوف الخالص وبطريقة تقليدية ذات لمسة محلية، والتي تستعمل لتزيين الجدران وأرضية البيوت. بالإضافة إلى حياكة الجلابة والأغطية ومنتجات تقليدية أخرى.

ووفقا للظروف الطبيعية والإمكانات التي يوفرها المحيط الطبيعي، وحسب ما تمليه ظروف الرعي، الذي يضمن إنتاجا حيوانيا قارا؛ يمكن القول إن الساكنة تضمن المادة الأولية (الصوف) التي يمكن من خلالها صنع المنتجات التقليدية، التي يتم توجيهها إلى الأسواق المحلية والخارجية. إلا أن هذا القطاع عرف تراجعا في السنوات الأخيرة نتيجة تراجع الطلب وضعف تثمين المنتجات المحلية.

5. أنشطة مختلفة

تضم الأنشطة غير الفلاحية مجموعة من الممارسات اليومية داخل المجال المدروس. حيث تشكل التجارة والخدمات جزءاً من المجتمع الجبلي، وتندرج مزاولة هذه الأنشطة في سياق البحث عن تحقيق الاكتفاء الذاتي، أو في إطار البحث عن موارد إضافية. لاحظنا خلال البحث الميداني تنوع الأنشطة بين التجارة والمهن (الحدادة والنجارة، البناء...)، بالإضافة إلى الموظفين. وقد عرفت الأنشطة المهنية والحرفية بالمجال تزايدا مهما في الآونة الأخيرة، نظرا للعجز الذي أصبحت تعيشه أنشطة الفلاحة المتأثرة بمجموعة من الأسباب، من أهمها التغايرية المناخية القوية وتردد سنوات الجفاف وصغر حجم الملكيات التي لم تعد كافية لتلبية الاحتياجات الذاتية للأسر. وبالتالي أصبحت الأسرة الواحدة تضم في بنيتها المهنية عدة أنشطة موازية للفلاحة. ورغم تعدد الأنشطة فالجماعات القروية داخل الحوض سجلت نسب فقر مرتفعة بلغت بجماعة أيت تمليل 38% وبجماعة ايت حكيم 24% أما جماعة ايت اميديس فقد سجلت النسبة الأعلى بإقليم أزيلال ب 59,4% (HCP et INDH, 2004).

خلاصة

يعرف حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) تطورا سكانيا ملحوظا، والذي سيواكبه زيادة في الأنشطة البشرية وبالتالي زيادة في الطلب على الموارد الطبيعية. تشكل الموارد المائية عاملا أساسيا في استقرار الساكنة، إذ نجد أغلب التجمعات البشرية بالقرب من ضفاف المجاري المائية والعيون. تبلغ مساحة الأراضي الزراعية 14709 هكتار، والتي تمثل 11 % من المساحة الإجمالية للحوض. لذا نجد أن أغلب المساحات الفلاحية عبارة عن استغلاليات صغيرة إلى متوسطة.

المحور 4: الماء والفلاحة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

إن تدبير الموارد المائية ممارسة بشرية قديمة ارتبطت بالاستقرار البشري وممارسة الإنسان لمجموعة من الأنشطة (المودن، 2020)، وحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) لا يخرج عن هذا الإطار، خصوصا أن المنطقة تتميز بندرة الماء بسبب مناخها شبه الجاف، وبالتالي كان من الضروري تكيف الساكنة مع هذا المعطى بحساسية أكبر تتلاءم والتذبذبات التي تميز الموارد المائية (الوفرة والندرة). صحيح أن الممارسة المائية القديمة كانت تنطلق من التدبير التقليدي المتوارث عرفيا والذي مازالت مظاهره منتشرة إلى اليوم. ومنذ تسعينيات القرن الماضي انتهجت الدولة أساليب جديدة لتثمين واقتصاد الماء (مشروع المخطط التوجيهي للتهيئة المندمجة للموارد المائية لحوض أم الربيع، 2012).

I. الماء ركيزة لتطور القطاع الفلاحي

من الواضح أن هناك علاقة وطيدة بين الموارد المائية والاستقرار البشري داخل الحوض المدروس، فأغلب الدواوير بالمجال تقع بالقرب من المجاري المائية، وفي بطون الأودية، هذا الاستقرار البشري صاحبه مزاولة عدة أنشطة فلاحية ورعوية.

تأتي المنتوجات الفلاحية في المرتبة الأولى من حيث مصادر الدخل وتتنوع الأنشطة الفلاحية، حسب المجالات المسقية والبورية، وحسب حاجيات الفلاح ومتطلبات السوق. وتلعب الظروف المناخية دورا مهما في توجيه هذه الأنشطة (السنوات الجافة والسنوات المطرة)، وقد ساعدت وفرة الموارد المائية ووجود أودية دائمة الجريان في إنشاء وتناوب زراعات سقوية على طول السنة. يتم تسويق هذه المنتجات الفلاحية عبر عدد من الأسواق (سوق الخميس ايسولان وسوق ثلاثاء أيت تمليل، وسوق الأحد دمنات). ونظرا لعدم قدرة المنتجات الفلاحية المحلية على سد حاجيات الأسر فقد توجه بعضهم إلى مزاولة مجموعة من المهن مثل البناء والتجارة والنقل... (عمل ميداني، 2017) كما فضل بعض الشباب الهجرة نحو المدن الكبرى خصوصا الدار البيضاء أغلبهم يزاول الحراسة الليلية. (عمل ميداني، 2017)

وتعتبر منطقة الدراسة التي تنتمي إلى الأطلس الكبير الأوسط لدمنات من المناطق شبه الجافة والمتميزة بوعورة تضاريسها. يشكل السقي، داخل هذا المجال الهش، محورا أساسا في تنامي الأنشطة الفلاحية والزراعية، وهو ما جعل المنطقة تعرف تحولات على المستوى المجالي والاجتماعي، وقد بذلت الساكنة مجهودا كبيرا من أجل تكييف وتهيئة المجال عن طريق بناء المدرجات وربطها بمجموعة من السواقي، أغلبها تقليدية، من أجل ملاءمتها للاستغلال الفلاحي (الفول، 2016).

صورة 9: أراض فلاحية داخل المجال السقوي لمنطقة ايت موسى (عمل ميداني، 2017)

تم تهييء المجالات المسقية بمصطبات (مدرجات)، موجهة للإنتاج الزراعي عن طريق استغلاليات متوسطة وصغيرة. يتشكل هذا القطاع من فئتين متكاملتين: فئة معدة للزراعة الشجرية، مع إعطاء أهمية أكثر لأشجار الجوز أو أشجار التفاح. وفئة ثانية معدة للزراعات السنوية، تهم الحبوب مع غلبة للشعير متبوعة بالقمح الصلب، والعلف

(البرسيم)، والذرة (حبوب وعلف)، والذرة البيضاء، والدخن، والخضر مع إعطاء أهمية أكثر للبطاطس والبقوليات، يتم تناوب الزراعات من خلال حبوب/حبوب، حبوب/خضر، حبوب/دخن، حبوب/علف (عمل ميداني، 2017).

يحظى القطاع البوري بأهمية أقل من طرف الساكنة. والذي ينتشر بمحيط الأراضي المسقية. من أهم الزراعات الممارسة بهذا القطاع؛ الشعير متبوعاً بالعدس. تتم عملية تناوب الزراعات من خلال حبوب/حبوب، حبوب/خضر، حبوب/إراحة الأرض.

زراعة الحبوب:

يعتبر الشعير النشاط الفلاحي الذي يحتل الصدارة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، هذا النشاط التقليدي أكثر تأقلما مع البيئة الجبلية للمجال، كما يستطيع تحمل درجات الحرارة الجد منخفضة والتساقطات الثلجية التي تتميز بها المنطقة، وبالتالي، فهو يعتبر الغذاء الأساسي للساكنة. وتشغل المساحة المستغلة لزراعة الشعير 5760 هكتار في المجالات البورية و3470 هكتار في المجالات المسقية حيث يمثل 80 % من المساحة التي تشغلها الحبوب الشتوية (DPAA, 2014)

يأتي القمح في المرتبة الثانية بعد الشعير بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) بالنسبة للحبوب الشتوية، والمرتبة الثالثة بعد الشعير والذرة بالنسبة لمجموع الحبوب، فهي الزراعة التقليدية التي يزاولها السكان منذ القدم.

أما القمح الطري فهو من أنواع الحبوب الشتوية الأقل انتشارا بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، ويأتي في المرتبة السادسة بعد الشعير والذرة الصفراء والقمح الصلب والشيلم والذرة البيضاء، وهو أقل تأقلما في المناطق الجبلية، وأكثر حساسية من الشعير وليس له نفس خصائص القمح الصلب. أما الذرة التي تتطلب المياه بوفرة، فلا يتم زراعتها إلا في المجالات المسقية(DPAA, 2014) .

البقوليات:

يحتل العدس المرتبة الأولى في زراعة البقوليات داخل الحوض، فهو من الزراعات التي لا تتطلب المياه بوفرة، ويتم زراعته في المجالات المسقية وكذلك البورية، وينتشر أكثر في سافلة الحوض. ويأتي الفول في المرتبة الثانية، يتم زراعته في المجالات المسقية، وهي الزراعة الوحيدة في البقوليات التي يتم استغلالها في عالية الحوض أكثر من السافلة. (DPAA, 2014)

غراسة الأشجار المثمرة:

تعتبر شجرة الزيتون الأهم على مستوى الاستغلال الزراعي بالحوض المدروس، ويتم زرعها، في غالب الأحيان، في المجالات المسقية، بالمناطق المجاورة للتجهيزات الهيدروفلاحية، يتم زرعها الواحدة تلو الأخرى غالبا على طول الساقية أو على حدود المشارات الزراعية أو المصطبات. وقد اهتمت الساكنة بشجرة الزيتون لما لها من مزايا في تحمل قلة الماء في السنوات الجافة وكذا المردودية الوفيرة وسهولة التسويق(DGCL, 2010)

صورة 10: الأشجار المثمرة على طول المجرى المائي لحوض الدراسة (عمل ميداني، 2017)

أما شجرة اللوز فهي قادرة بامتياز على اختراق المجال الغابوي، وسهولة تكيف هذا النوع من الأشجار يسمح للفلاح بزرعها بالمجالات المنفتحة داخل المجال الغابوي، وعلى عكس أشجار الزيتون فاللوز يفضل المجالات الجافة والصخرية، وتتميز بأوراق ذات كثافة ضعيفة. تنتشر هذه الأغراس بمناطق مختلفة من الحوض، ويشكل هذا المنتوج عنصرا أساسيا لانفتاح الساكنة على الأسواق القريبة بالمنطقة (سوق أيت تمليل، دمنات، اسولان)، لأن أكثر من 95 % من المنتوج يتم تسويقه.(DPAA, 2014)

II. دور سد مولاي يوسف في التنمية الفلاحية بمنطقة الحوز

يساهم سد مولاي يوسف في تنمية سوسيو اقتصادية بالمناطق المتواجدة بسافلته. كما يدخل في إطار التهيئة الهيدروفلاحية لسهل الحوز. تم تشييد السد سنة 1969 على مستوى واد تساوت. يعبئ المركبان مولاي يوسف وتيمينوتين واردات مائية تقدر ب 373 مليون م^3/سنة، تضمن ري المجالات الفلاحية لتساوت العليا، إلا أن السد يستقبل مدخلات مهمة من الرواسب مما يتسبب في استمرار توحل المنشأة المائية، حيث شهد انخفاضا في سعته من 200 مليون م^3/سنة إلى 149 مليون م^3/سنة عام 2008.

تُستعمل مياه السد لري المجالات المسقية الحديثة لتساوت العليا (26515 هكتار) والمجالات المسقية التقليدية (21587 هكتار) لتساوت العليا. وتعتبر الزراعة هي المكون الأساسي للنشاط الاقتصادي في حوض تساوت (عالية وسافلة السد). وحسب الإحصاء العام الفلاحي (RGA) لسنة 1996، يشمل حوض تساوت 9979 استغلالية زراعية بين عالية وسافلة السد. يوفر النشاط الزراعي، بالإضافة إلى العمالة الموسمية، فرص شغل دائمة لـ 9985 شخصًا، منهم 300 عامل بأجر و9685 عاملًا عائليًا.

باستثناء المساحة المروية للمجالات الهيدروليكية الكبيرة (GH) ، تظل المحاصيل الزراعية بعيدة عن الوصول إلى إمكاناتها لجميع الزراعات، بسبب قلة التساقطات المطرية وضعف استخدام وسائل الإنتاج والإدارة الفنية غير الملائمة.

خلاصة

يتجه أزيد من 80 % من ساكنة الحوض إلى مزاولة الأنشطة الفلاحية وتربية المواشي إلى جانب بعض الصناعات التقليدية. ورغم وعورة التضاريس والمسالك، فإن الحوض يعرف دينامية قوية وأنشطة فلاحية مهمة، خصوصا تلك المرتبطة بالسقي، التي تعتمد، في أغلب الأحيان، على وسائل تقليدية في تحويل المياه (السقي الانجذابي)، وهو ما سيتم التطرق إليه في المحور الموالي.

خاتمة الفصل الثاني

مكنت دراسة العلاقة بين الموارد المائية والواقع السوسيو اقتصادي بالحوض المدروس، من الخروج بخلاصة عامة ونظرة عن مدى أهمية الماء بالمجال ومدى ارتباط السكان به. فقد كانت الموارد المائية وشق الأرض أكثر تشجيعا على الاستقرار في بطون الأودية ومزاولة أنشطة زراعية على نطاق واسع رغم وعورة التضاريس، وتبلغ مساحة الأراضي الزراعية بالحوض 14709 هكتار، بما فيها المساحة المسقية التي تبلغ 4649 هكتار.

رغم وعورة التضاريس والمسالك التي تتميز بها المنطقة، فإنها تعرف دينامية قوية وأنشطة فلاحية مهمة، خصوصا تلك المرتبطة بالسقي، وهذا مؤشر أولي عن وفرة الموارد المائية، هذا إلى جانب بعض الصناعات التقليدية مثل الأواني الخشبية والأدوات الفلاحية والحدادة والجلابة...كما تتميز المنطقة بقطيع مهم من الماشية، تتنوع بين الأبقار والأغنام والماعز، ويأتي قطيع الماعز على رأسها. هذا التنوع في الأنشطة اليومية للفلاح سيكون له وقع سوسيو اقتصادي على حياة ساكنة الحوض، وهذا ما سنتعرف عليه من خلال الفقرة الموالية.

عرف الحوض تطورا للزراعات المسقية، مستفيدا من التهيئة التي خضع إليها، من خلال تشييد شبكة من السواقي لتزويد القطاعات المسقية المتوسطة والصغيرة، ولتلبية احتياجات الزراعات من الموارد المائية. وقد أحدثت هذه الأنشطة الزراعية المسقية دينامية اقتصادية في صفوف الساكنة، خصوصا في بعض الزراعات الموسمية مثل موسم جني اللوز والجوز وموسم جني الزيتون.... والتي يتم تسويقها في مختلف أسواق المنطقة. هذا وقد مكنت الزراعات العلفية، والتي لا تقل أهمية عن باقي الزراعات، من التخفيف من وطأة الاستغلال المفرط للمراعي، حيث توفر الكلأ للماشية لفترة طويلة من السنة.

رغم ذلك، فانتشار أساليب الاستغلال التقليدية وغياب المبادرات الاستثمارية وكذا محدودية تدخل الدولة لتنظيم القطاع الفلاحي بالمنطقة، قد ساهم في تفاقم عدة مشاكل اجتماعية، على رأسها مشكل الهجرة نحو المدن، وخصوصا فئة الشباب، للبحث عن تحسين ظروف العيش والاستقرار.

الفصل الثالث: صبيب الشح والنضوب المائي: الإطار النظري والمنهجي

مقدمة الفصل الثالث

الجريان السطحي هو نتيجة العمليات الطبيعية المعقدة، التي تشتغل على مستوى الحوض النهري. من الناحية النظرية، يمكن النظر إلى الأحواض النهرية على أنها سلسلة من الخزانات المترابطة، كل منها يحتوي على مكونات إعادة الملء والتخزين والتفريغ. تعتمد إعادة الملء بأكمله إلى حد كبير على التساقطات المطرية، بينما يعد التخزين والتفريغ من الوظائف المعقدة للخصائص الفيزيوغرافية للأحواض النهرية (Smakhtin, 2001). وقد اشتغل مجموعة من الباحثين على الشح المائي بطرق مختلفة باعتماد أدوات إحصائية تختلف حسب الأهداف المسطرة للبحث. وأكد عدد منهم أن نظام صبيب الشح تتحكم فيه مجموعة من العوامل الطبيعية من أهمها الخصائص الصخارية وتوزيعها ونفاذيتها، والخصائص الهيدروليكية وامتداد الطبقات الجوفية، ونسبة وكمية الملء لهذه الطبقات، ومعدلات التبخر والتبخر-النتح، وتوزيع ونوع الغطاء النباتي، والتضاريس ونوع المناخ. وبالتالي، يمكن تفيء هذه العوامل إلى تلك التي تؤثر بشكل إيجابي أو سلبي على نظام صبيب الشح خصوصا خلال الفترات والمواسم الجافة من السنة. كما يجب الأخذ بعين الاعتبار التأثير البشري على هذا النظام بشكل مباشر أو غير مباشر.

تتميز هيدرولوجيا الشح المائي بمجموعة متنوعة من الموضوعات المترابطة. وقد أوضحت المراجع والدراسات أنه تخصص متعدد الأوجه وديناميكي مع أساس فيزيوغرافي متميز وتطبيقات هندسية واضحة (Riggs, 1972)، حيث غطت مجموعة متنوعة من القضايا بما في ذلك وصف أدوات تحليل معدلات صبيب الشح من سجلات البيانات الهيدرومترية (تحليل مدة الصبيب، تحليل تردد الشح المائي، وتحليل عائدات التخزين). وقد تم تخصيص محورين لهذا الفصل كما يلي:

المحور 5: فحص موضوع هيدرولوجيا الشح المائي بطريقة متوازنة ومنهجية، وتقديم أهم التعاريف وأهم الدراسات الحديثة حول هذا الموضوع، ومقارنة وجهات النظر لعدد من الباحثين فيما يخص الطرق والأدوات المعتمدة في تحليل ودراسة هذا الحدث في علاقته بالظروف المناخية على وجه الخصوص. ولتحقيق ذلك، سيتم دراسة مجموعة متنوعة من المصادر المتخصصة الحديثة المنشورة بشكل أساسي على مدى العقود الأخيرة.

المحور 6: تقديم أهم التعاريف للنضوب المائي، والطرق الفيزيائية والقوانين المعتمدة لاستخلاصه؛ علما أن استخلاص فترات النضوب المائي مسألة حساسة وتتطلب معايير ومراحل معقدة.

المحور 5: التعريف الهيدرولوجي والإحصائي للشح المائي

ينشأ الشح المائي في المجاري المائية والأنهار من خلال تداخل العوامل المناخية والهيدرولوجية، حيث يتطور بشكل أساسي تحت تأثير فترات الجفاف المناخي (غياب التساقطات المطرية) مصحوبة بانخفاض في صبيب المياه الجوفية للأحواض النهرية. وقبل الخوض في دراسة الشح المائي في أحواض الدراسة، لابد، في البداية، من تقديم تعاريف له وتمييزه عن الأحداث والظواهر الهيدرولوجية التي يمكن أن تتداخل معه. ثم تقديم أهم الطرق الإحصائية والمقاييس الزمنية المعتمدة في استخلاصه وتحليله.

I. التعاريف الهيدرولوجية للشح المائي

1. تعريف عام للشح المائي

جل تعاريف الشح المائي غير دقيقة، سواء تعلق الأمر بالقاموس الخاص بالهيدرولوجيا أو المؤلفات في هذا المجال. فحسب معجم المصطلحات الدولي للهيدرولوجيا (1992)، فإن الشح المائي يوافق "أدنى مستوى يبلغه مجرى مائي أو بحيرة"، ونلاحظ أن هذا التعريف لم يتضمن مفهوم الزمن للشح المائي. أما القاموس الفرنسي للهيدرولوجيا السطحية (Roche, 1986)، فقد أعطى تعريفا آخر آخذا بعين الاعتبار مفهوم الزمن؛ حيث عرف الشح المائي بأنه "المستوى السنوي الأدنى الذي يصل إليه المجرى المائي في نقطة معينة" كما يشير هذا التعريف إلى أنه حدث يتردد كل سنة مما يبين أنه ليس له علاقة بالجفاف. غير أنه لم يتم بعد تحديد الفرق بين الشح المائي وفترة نزول الصبيب. وعرفه القاموس الفرنسي للهيدرولوجيا (Dacharry, 1996) بأنه "الصبيب المنخفض الاستثنائي لمجرى مائي، الذي لا ينبغي أن نخلطه مع فترة نزول الصبيب الموسمي المعتاد، حتى لو كان متفاقما". وأشار هذا التعريف إلى وجوب التفريق بين الشح المائي وفترة نزول الصبيب «Basses Eaux»، معتبرا إياه حدثا اعتياديا من الدورة المائية، ويعرفه بأنه نطاق الصبيب الأقل من المعدلات السنوية أو المتوسط السنوي للصبيب (Smakhtin.2001).

ويظهر أن الشح المائي هو حالة سنوية، أو بيسنوية لبعض الأحواض النهرية، للصبيب الحدي بالمقارنة مع الحالة "العادية" لفترة نزول الصبيب. كما أنه من الضروري الفصل بين الشح المائي والجفاف؛ إذ أن الجفاف هو خصاص في المياه نتيجة نقص في التساقطات المطرية مقارنة مع وضعها الطبيعي خلال فترة معينة. والجفاف ظاهرة عامة لا تتميز بانخفاض صبيب الأنهار فحسب، بل تتميز بعوامل أخرى مثل نقص المياه المتاحة في التربة (جفاف التربة) أو عجز التساقطات المطرية (الجفاف المناخي). وبالتالي، فقد تشمل فترات الجفاف الهيدرولوجي فترات الشح المائي، ولكن فترة الشح المائي ليست بالضرورة جفافا هيدرولوجيا(Smakhtin, 2001).

وهكذا، يعرف مستوى صبيب الشح بأنه حدث طبيعي موسمي مرتبط بالنظام الهيدرولوجي، ينشأ عموما عن قلة في التساقطات المطرية، قابل للتغير في الزمان والمكان، مما يؤدي إلى انخفاض في صبيب المجاري المائية. وفي هذا السياق، يظهر أن تعريف القاموس الجغرافي (George et Verger. 2000) أكثر إثارة للاهتمام، حيث عرف الشح المائي على بأنه " فترة من السنة يكون فيها الصبيب منخفضا وقليل التغير، لأن مصدره خزانات الفرشة المائية المزود الوحيد، في اتجاه استنفاد المخزون والنضوب المائي". وقد أضاف (Dacharry, 1996) في القاموس الفرنسي للهيدرولوجيا أن عمليات نشأة الشح والنضوب المائي محددة جدا. ويعتبر النضوب المائي مرحلة أساسية خلال فترة الشح المائي.

وتوضح الصورتان التاليتان مستوى صبيب الشح، الصورة الأولى على اليمين بسافلة الحوض النهري لتساوت عالية سد مولاي يوسف، والصورة الثانية على اليسار للمجرى المائي أوروس أحد أهم الروافد لواد تساوت.

صورة 11: مستوى صبيب الشح بسافلة تساوت عالية سد مولاي يوسف (عمل ميداني، 2017).

2. التمييز بين صبيب الشح وفترات نزول الصبيب

يلخص النظام الهيدرولوجي للمجرى المائي مجموع خصائصه الهيدرولوجية وطريقة اشتغاله، وهو يتميز بالتغيرات في الصبيب. ومن الممكن تحديد نظام المجرى المائي من خلال تصنيف يعتمد على تذبذب التدفقات من ناحية وعلى نمط التغذية من ناحية أخرى.

وبالتالي وجب التمييز بين حدث نزول الصبيب وفترات الشح المائي، الذي يحدث خلال الفترة من السنة، حيث يصل فيها النهر إلى أدنى مستوى له. وبالتالي، فإن مدة وشدة الشح المائي ترتبط بالنظام الهيدرولوجي للصبيب بالحوض.

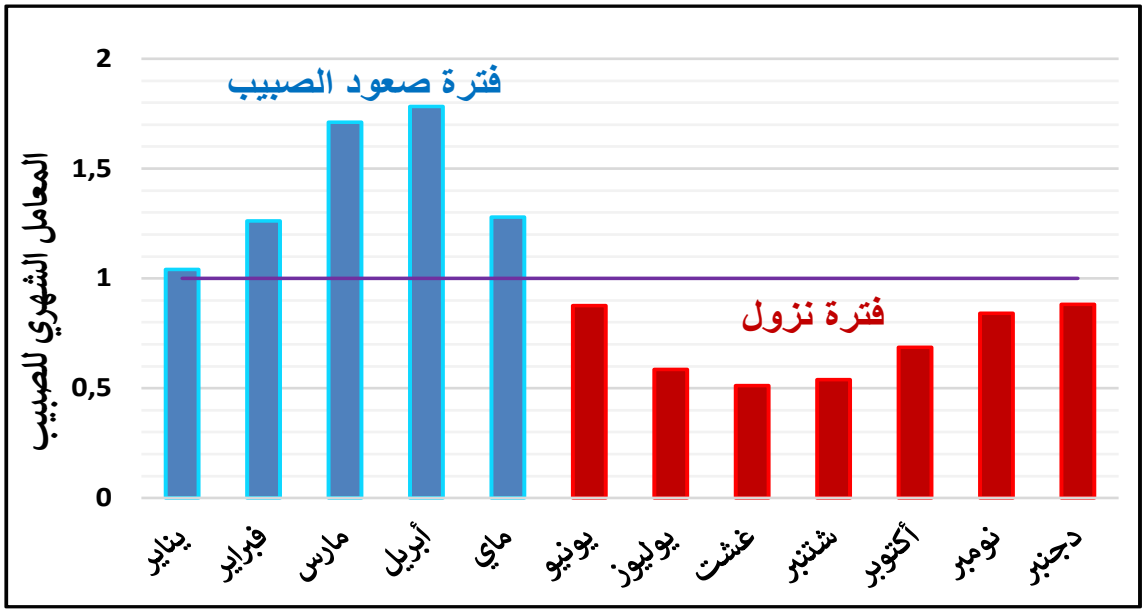
إن مصطلح "صبيب الشح" «Débit d'étiage» ومصطلح "نزول الصبيب" « Basses Eaux»، يتداخل معناهما خصوصا في بعض اللغات الأخرى، وعلى سبيل المثال فمعجم Lexique Hydrologique pour l'ingénieur (1996) يعرف « low water » على أنه الشح المائي أو نزول الصبيب دون التفريق بينهما.

يتم تعريف فترة نزول الصبيب بأنها الفترة التي يكون فيها الصبيب الشهري أقل من معدل الصبيب البيسنوي. يتوافق هذا الأخير مع معدلات الصبيب السنوية المحسوبة على مدى فترة قياس طويلة. لا تمثل فترة نزول الصبيب مستوى صبيب الشح، ولكنه يسمح بتقدير معدل الصبيب للمجرى المائي. يوضح المبيان 6، ببساطة، تعريف فترات نزول الصبيب (Augas et *al*, 2015) .

غالبا ما تظهر فترات الشح المائي خلال فترات نزول الصبيب وفي هذه الحالة نتحدث عن **حدث** الشح المائي، إلا أنه في بعض الأحيان يمكن أن تظهر خلال فترات صعود الصبيب، نظرا للظروف المناخية أو نتيجة تدخل بشري أو في بعض حالات الجفاف الهيدرولوجي الحاد، وبالتالي نكون في هذه الحالة أمام **ظاهرة** الشح المائي (El Ghachi, 2007)

وينبغي التأكيد هنا على أنه رغم استخدام مصطلح محدد للشح المائي باللغة العربية، فإن تعريفه يبقى معقدا، وأحيانا يمكن أن نسقط في الخلط. ومن ناحية أخرى فالتمييز بين الشح المائي ونزول الصبيب لا يكون دائما واضحا (Lang. 2007). وفي هذا السياق، يبدو أنه من المهم أن نقف عند هذه المصطلحات والتعاريف المختلفة للشح المائي، حتى يتم تقييمها والتمييز بينها.

مبيان 6: تمثيل النظام الهيدرولوجي



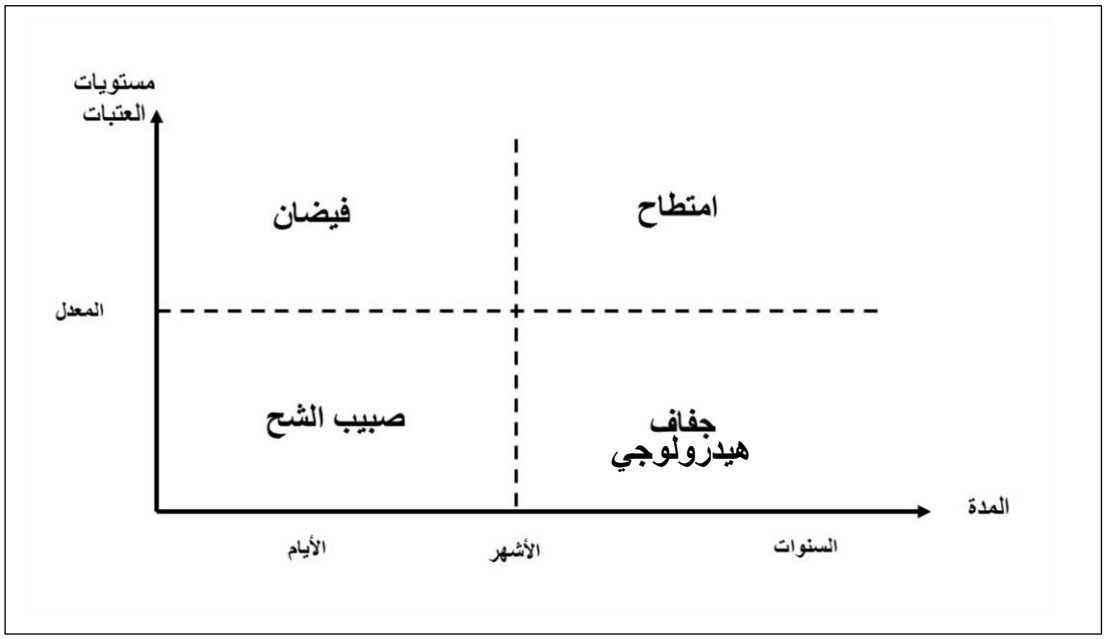
3. الجفاف الهيدرولوجي والشح المائي

يختلف الجفاف عن المخاطر الطبيعية الأخرى في عدة مسائل، فهو ظاهرة تستتب ببطء، وتتراكم آثارها خلال فترة طويلة من الزمن، كما أن وقعها أقل إثارة ولفتا للانتباه من الأضرار الناجمة عن الفيضانات والزلازل مثلا. إن غياب تعريف موحد ومحدد للجفاف يزيد من الالتباس المتعلق بوجوده أو عدمه، بشدته وجسامته في حالة وجوده-Abi (Zeid et Bobée, 1999).

الجفاف مفهوم واسع، يمتد عبر العديد من التخصصات التي تشمل مجال العلوم الاجتماعية والعلوم الطبيعية والهندسة.... ولا يوجد تعريف متفق عليه عالميا للجفاف. فهو يرتبط بوجهة نظر المجال المتضرر من حدوثه، (الأرصاد الجوية، الهيدرولوجيا، الجغرافيا، إدارة الموارد المائية، الزراعة، الصناعة، توليد الطاقة الكهرمائية، الملاحة، السياحة...). ويعرف الجفاف، بشكل عام، بأنه عجز في التساقطات المطرية مقارنة بالمعدل. ويشار، عادة، إلى هذا النقص في التساقطات المطرية باسم "الجفاف المناخي". وهذه الحالة، في النظام المناخي، هي مصدر مجموعة من العمليات التي ستولد آثارا على البيئة الطبيعية وعلى الأنشطة البشرية. وفي علاقته بالمجالات المتضررة كذلك سنتحدث عن **الجفاف الهيدرولوجي**، الجفاف الزراعي، الجفاف الاقتصادي والاجتماعي (Smakhtin, 2001)، ولذلك فإن الجفاف المناخي يوافق فترة من العجز في التساقطات المطرية خلال فترة طويلة بما فيه الكفاية لتؤثر على مختلف أنواع الجفاف المذكورة أعلاه. وأخيرا، يجب أن يكون للجفاف طابع زمني وامتداد جغرافي معين، (Tallaksen et Van lanen, 2004)، وبالتالي ستتفاوت درجة خطورته اعتمادا على حجم العجز ومدته وامتداده الجغرافي. وقد عرف قاموس المصطلحات الدولي للهيدرولوجيا (1992) الجفاف المناخي، بأنه " غياب أو عجز في التساقطات المطرية لفترة طويلة". وقد عرف **الجفاف الهيدرولوجي** بأنه " فترة من الزمن غير طبيعية ممتدة إلى حد يسبب عجز في الموارد المائية، المتميز بانخفاض كبير في الجريان المائي وفي مستويات البحيرات ومستويات المياه الجوفية إلى ما دون القيم العادية و/ أو تجفيف مخزون التربة بشكل غير طبيعي ". وقد عرف (Perrin, 2005) **الجفاف الهيدرولوجي** بأنه" عجز مائي كبير يرجع أصله، أساسا، إلى انخفاض في معدل التساقطات المطرية على مدى فترة طويلة مقارنة بمعدلات الهطول الاعتيادية. ويؤثر هذا النقص في التساقطات المطرية على مختلف مكونات الحوض النهري (السطح، التربة، وتحت التربة...)، فهو يوافق عجزا في الجريان المائي في المجاري المائية، وجفاف المياه الجوفية الذي يوافق أيضا عجزا في المياه الباطنية وجفاف التربة الذي له عواقب على الغطاء النباتي".

وبالتالي، فإن فترات الشح المائي أحداث موسمية ومكون لا يتجزأ من النظام الهيدرولوجي للمجاري المائية والأنهار. تركز بعض الأعمال على تحليل ترددات الشح المائي السنوي أو معدل الانخفاض في تغذية النهر خلال فترة غياب التساقطات المطرية، وفي حالات أخرى، تم تحليل منحنيات الصبيب المصنف. غير أن هذا النهج لا يُمكننا من تحديد بداية ونهاية فترات الجفاف الهيدرولوجي. وفي سياق تحليل الجفاف الهيدرولوجي، يُعد السؤال الأكثر إلحاحا هو: متى يكون الصبيب عند مستوى عتبات محدد مسبقًا أو أقل منها ؟ عند قبول تعريف الشح المائي كفترة يكون فيها الصبيب مساوياً أو أقل من العتبة المفترضة (Yevjevich, 1967) ، فإنه من اللازم التمييز بين فترات الشح المائي (حجم العجز والمدة) واحتمالية الجفاف الهيدرولوجي الحاد. وذلك بتعريف مؤشرات لتحديد عتبات الصبيب، وفصل صبيب الشح إلى أحداث مستقلة عن الفترات الزمنية الطويلة.

مبيان 7: تصنيف الأحداث الهيدرولوجية (Dracup et al, 1980)



يتم اتباع معيار اختيار العتبة وفصل حالات الجفاف الهيدرولوجي عن سلسلة من أحداث الشح المائي. يوفر التصنيف الذي اقترحه (Dracup et *al*, 1980) فصلًا تقريبيًا بين الشح المائي والجفاف الهيدرولوجي من خلال الجمع بين فكرة مستوى العتبات وفترة المعدل البيسنوي والحصول على أربع فئات من الأحداث الهيدرولوجية. وبالتالي، يمكن اختيار العتبة بعدة طرق، ويعتمد الاختيار على وظيفة عجز المياه والأهداف المتوخاة من الدراسة. لذلك، يعتمد مستوى العتبة على الظروف المناخية، وتوافر البيانات وكذلك النظام الهيدرولوجي للحوض.

مما سبق يتضح أن الجفاف الهيدرولوجي مرتبط أساسا بنقص أو غياب التساقطات المطرية خلال فترة طويلة من الزمن، غير أنه يمكن أن يرتبط بعدة عوامل وليس فقط بالمستويات المنخفضة للمجاري المائية أو البحيرات، كما أن فترة الجفاف الهيدرولوجي تشمل فترات الشح المائي، غير أن حدثا متواصلا منه لا يمكن اعتباره بالضرورة جفافا هيدرولوجيا. إن مدة وكمية التساقطات المطرية هي السبب الرئيسي والمحدد لفترات الشح المائي (Clausen et Pearson, 1995).

انطلاقا من التعاريف السابقة يمكن صياغة تعريف شامل للشح المائي كالتالي: **"أدنى صبيب طبيعي (عادي) يتردد كل سنة، يصل فيه المجرى المائي إلى مستوياته المنخفضة خلال فترات نزول الصبيب. يصبح الشح المائي ظاهرة عندما يبلغ الصبيب، بشكل استثنائي، مستوياته الدنيا خلال الفترات التي يفترض فيها صعود الصبيب"**. وبالتالي، فإن الشح المائي يرتبط بشكل أساسي **بالنظام الهيدرولوجي** لأي مجرى مائي. كما يمكن أن نتحدث عن الشح المائي البشري «étiage anthropique»؛ المرتبط بتدخل الإنسان في انخفاض منسوب صبيب المجاري المائية (السدود، تحويل المياه....).

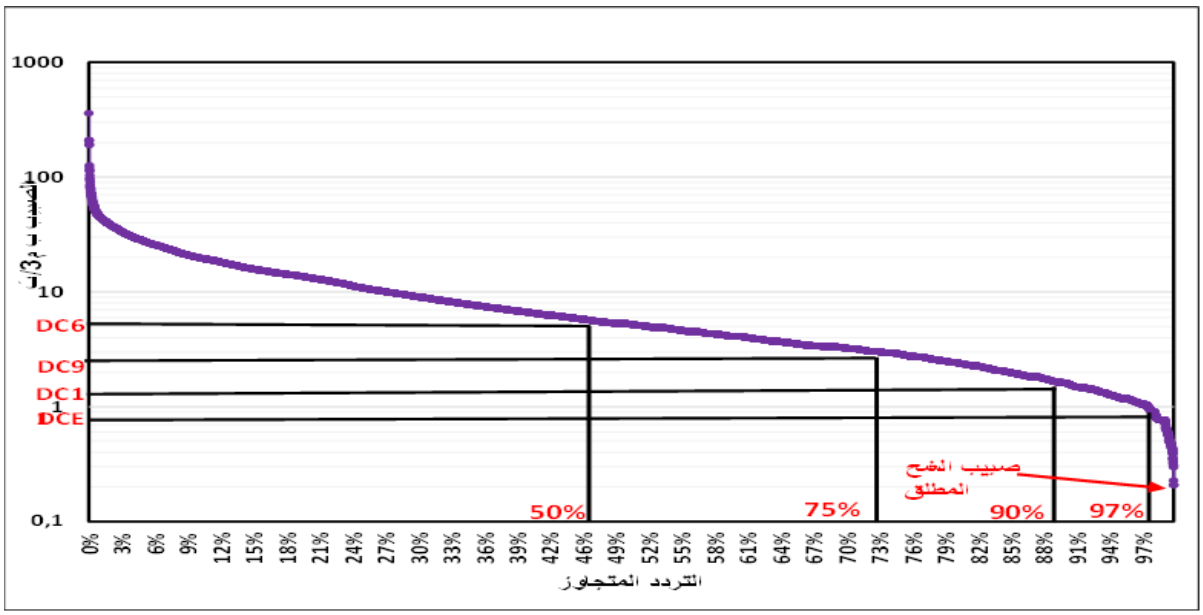
II. الإطار المنهجي للشح المائي

يصعب توصيف الشح المائي؛ لأن تحديده لا يخضع للقواعد المعمول بها، وهو ما يفسره الطابع الخاص الذي يمكن أن تستغرقه هذه الأحداث من سنة إلى أخرى. وبالتالي، يمكن تحديد صبيب الشح من خلال الصبيب اليومي أو الصبيب الشهري أو انطلاقا من المعدلات المتحركة المحسوبة على مدى عدة أيام. من الممكن أيضًا وصف الشح المائي انطلاقا من عتبات الصبيب، وذلك بحساب عدد الأيام أقل من هذا الحد أو حجم العجز. وبالتالي فإن اختيار المتغيرات الوصفية لمستويات صبيب الشح يعتمد على أهداف الدراسة المنجزة بهذا الخصوص.

1. الشح المائي الناتج عن منحنى الصبيب المصنف

منحنى الصبيب المصنف هو تمثيل تركيبي للنظام الهيدرولوجي، يعكس احتمالية بلوغ الصبيب لعتبة معينة أو تجاوزها. هذا الاحتمال يسمى أيضا التردد المتجاوز؛ حيث يشير المنحنى كنسبة مئوية إلى متى يكون صبيب المجرى المائي مساوياً أو أكبر من قيمة معينة. عادة ما يتم إنشاء منحنى الصبيب المصنف بشكل لوغاريتمي؛ عن طريق حساب مجموعة من النسب المئوية لعدد الأيام المسجلة للصبيب في المجرى المائي حيث يكون أكبر من أو يساوي القيم التي تم اختيارها مسبقًا.(Guide des pratiques hydrologiques, 1994)

مبيان 8: منحنى الصبيب المصنف والصبيب المميز المرتبط به.



يتم ترتيب الصبيب اليومي الملاحظ على مدى n سنة (التي تضم N قيمة) بشكل تنازلي. بالنسبة للصبيب Q، يتم إعطاء التردد السنوي من خلال حساب النسبة (365 / N) / x ، ويعادل المقدار x عدد الأيام خلال السنوات n عندما يتم تجاوز الصبيب Q (أي الترتيب). يتم تمثيل الصبيب اليومي المصنف بمنحنى مقعر ومحدب مرورا بنقطة انعطاف إذا كان التمثيل لوغاريتميا. يضمن هذا الأخير دقة متساوية للرسم البياني بغض النظر عن معدل الصبيب، مما يسمح بتمييز أكثر دقة للاختلافات في خصائص الصبيب المنخفض.

القيم المشتقة من منحنى الصبيب المصنف تسمى الصبيب المميزة (أو الصبيب الترددي). هذه القيم تجعل من الممكن الاقتراب من مستويات صبيب الشح بطريقة بسيطة، دون معالجة إحصائية مفصلة، وتمثيل التدفقات الأكثر احتياجًا.

يمكن استخراج عدد من مؤشرات صبيب الشح من خلال منحنى الصبيب المصنف، والتي يمكن تلخيصها كما يلي:

الشح المائي المطلق: هو أدنى قيمة صبيب يومي خلال السلسلة الإحصائية. قد لا يتطلب استخراج الشح المائي المطلق (الصبيب الأدنى المطلق) إنشاء منحنى الصبيب المصنف، لكنه يرتكز على جميع معدلات الصبيب اليومي المتاحة، واستخراج القيمة الوحيدة التي تمثل أدنى صبيب معروف خلال السلسلة الإحصائية.

الصبيب المُميّز: يمثل الصبيب المُميّز للشح (DCE) معدل الصبيب الذي يساوي أو لا يتجاوز 10 أيام من السنة (97%). ويُستخدم هذا المؤشر بشكل كبير لتوصيف مستويات صبيب الشح للمجاري المائية.

الصبيب اليومي المصنف بنسبة x%: يمكن التعبير عن معدلات الصبيب المميز كنسبة مئوية، على سبيل المثال باستخدام قيم تتجاوز 90 و75 و50٪ من السنة. يستخدم DCx بشكل كبير في الدراسات المتعلقة بإحصاءات أحجام ومدد العجز التي تستند إلى تدفقات عتبة صبيب الشح. كما يمكن التعبير عن الصبيب المتجاوز من خلال معدلات الصبيب المُميّز لفترات 11 و 9 و 6 أشهر (DCx)، المشار إليها على التوالي، DC11 و DC9 و DC6 ، مع معدلات الصبيب التي تم تجاوزها على التوالي 335 و 274 و 182 يومًا في السنة.

أهم الباحثين الذين اعتمدوا على منحنى الصبيب المصنف في دراسة الشح المائي

اقترح عدد من الباحثين عتبات للشح المائي باعتماد منحنى الصبيب المصنف، حيث اختلفت تبعا لأهداف الدراسة والخصائص المناخية والطبيعية لأحواض الدراسة. يلخص الجدول التالي أهم الأعمال التي خصت دراسة الشح المائي باعتماد المؤشرات المستخرجة من منحنى الصبيب المصنف:

جدول 11: أهم المراجع في دراسة الشح المائي اعتمادا على المؤشرات المستخلصة من منحنى الصبيب المصنف.

الباحث	الدولة	المناخ	الطريقة	المعطيات	المؤشر
Tallaksen et al, (1997)	الدنمارك	مناخ محيطي	قوانين إحصائية- مدة وحجم العجز	الصبيب اليومي	Q_{50}, Q_{70}, Q_{90}
El-jabit et al, (1997)	كندا	قاري	دراسة إحصائية- مدة وحجم العجز	الصبيب اليومي	Q_{90}
Abi-Zeid.I et Bobée.B (1999)	كندا- الكيبيك - فرنسا	قاري- جاف - محيطي	النمذجة الإحصائية	الصبيب اليومي	Q_{75}, Q_{90}
Laaha et Blöschl, (2006)	أستراليا	متوسطي- محيطي- جاف- استوائي	التحليل الاستقرائي والإحصائي	الصبيب اليومي	Q_{95}
Claire Lang (2007)	فرنسا	محيطي	التحليل الإحصائي	الصبيب اليومي	DCE
Vezza et al., (2010)	إيطاليا	متوسطي	التحليل الاستقرائي والإحصائي	الصبيب اليومي	Q_{95}
Sébastien Gailliez (2013)	بلجيكا	محيطي	النمذجة الإحصائية	الصبيب اليومي	Q_{95}

قام (Abi-Zeid, 1997) ببناء وتطبيق وتقييم العمليات غير الثابتة للأحداث الهيدرولوجية باعتماد ثلاث نماذج رياضية على 10 أحواض كندية وحوض واحد بفرنسا، وقد اعتمد في تحديد مستويات صبيب الشح على عتبتين اثنتين مستخلصتين من منحنى الصبيب المصنف، وهما توافقان الصبيب الذي يتجاوز 90% و75%، وقد أثبتت النتائج أن هذه النماذج ملائمة، في معظم الحالات، لنمذجة الفائض والشح المائي على مستوى الأحواض النهرية التي تتميز بمناخات مختلفة. وبين كذلك أهمية الشح المائي، من خلال أنموذج مقترح، في الفصل الشتوي الناتج عن التساقطات الثلجية التي تحتجز كميات مهمة من الماء في حالته الصلبة. كما ارتكزت دراسته على تحديد مؤشرات الخطر التي يمكن أن تكون بمثابة أداة لتقييم ومقارنة سياسات التدبير المختلفة للموارد المائية.

اعتمادا على منهجية أقلمة الشح المائي ل 132 حوض نهري في النمسا استنتج (Laaha et Blöschl, 2006) أن خصائص صبيب الشح تختلف حسب خصائص الحوض النهري (معدل التساقطات المطرية، المنحدرات، الركيزة الصخرية، الارتفاعات، كثافة التصريف، واستعمال الأرض). وتم تحديد معادلة الانحدار، لكل منطقة متجانسة محددة، حسب مؤشر الشح المائي Q_{95} المستخرج من منحنى الصبيب المصنف. وقد تميزت معاملات الترابط R^2 للنماذج بالتباين اعتمادًا على طريقة الأقلمة المعتمدة، وبالتالي، حُدد عدد المجموعات حسب التوزيع المجالي والذي يختلف من 5 إلى 10 مجموعات.

بالنسبة ل (Lang, 2007) في دراستها ل 63 حوضا نهريا في السياق المناخي المحيطي والمتوسطي بفرنسا، اعتبرت أن الصبيب المُميّز للشح(DCE) ، الموافق للصبيب الذي يساوي أو يفوق 355 يوما في السنة (97%)، مؤشرا ملائما لاستخدامه لتوصيف الشح المائي لأنه قيمة تدفق منخفضة. وقد اعتمدت كذلك على منحنى الصبيب المصنف لتحديد الصبيب المنوال، واعتبرت أنه يقع في نقطة انعطاف لمنحنى الصبيب المصنف، مع الإشارة إلى صعوبة تحديد قيمته بشكل دقيق. ولتجاوز هذا المشكل اقترحت استخدام طريقة لتقدير المنوال، الذي يعتمد على منحدر منحنى الصبيب المصنف: جزء المنحنى ذو المنحدر الأدنى يتوافق مع القيمة المنوال.

في شمال إيطاليا، حدد (Vezza et al., 2010) لمختلف المناطق المتجانسة معادلة تسمح بالتنبؤ بالمتغير Q_{95}. وقد اعتبر الخصائص الطبيعية للأحواض النهرية (الانحدار والارتفاع واستخدام الأرض) متغيرات محددة للانحدار الخطي للمناطق المتجانسة. تتراوح معاملات الترابط للمعادلة التي تم الحصول عليها من 42% إلى 98%، مع أغلبية أقل من 70%.

اعتمد (Gailliez, 2013) في دراسته لخصائص صبيب الشح، بأحد الأحواض النهرية ببلجيكا ضمن السياق المناخي المحيطي، على الصبيب اليومي المصنف بنسبة 95% (Q_{95}) عن طريق إنشاء منحنى الصبيب المصنف لكل سنة من سنوات القياس. تم اختبار عدد من القوانين الإحصائية التي طُبقت على متغير الصبيب اليومي المصنف بنسبة 95% (Q_{95}) لمقارنة القيم المحصل عليها لمختلف فترات الرجوع ونماذج التراجع بالنسبة للصبيب اليومي المصنف بنسبة 95% (Q_{95}) و معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 7 أيام.(MAM_7). وبالإضافة إلى النتائج التي توصل إليها (Gailliez, 2013)، والتي تم ذكرها في المحور السابق، استنتج أنه من خلال معادلة واحدة يمكن تحديد خصائص صبيب الشح في أي نقطة من المجرى المائي وفي أي فترة رجوع (من سنتين إل 50 سنة) بالنسبة للمتغيرين.

2. الشح المائي على المستوى السنوي

يتجه عدد من الباحثين إلى إجراء تحليل الشح المائي على أساس سلسلة الصبيب السنوي (استخلاص قيمة واحدة في السنة). غير أنه ليست كل القيم المستخلصة ممثلة لحالة هيدرولوجية قصوى، خاصة في حالة السنوات شديدة الرطوبة. وبالتالي، يتم تعديل الشح المائي السنوي بشكل تقليدي وفقًا لقانون إحصائي من أجل تخصيص تردد رجوع لها والسماح بحساب صبيب التردد، والذي يسمى أيضًا الصبيب المميز. يمكن تحديد الصبيب السنوي الأدنى وفقًا لمقاييس زمنية مختلفة، بشكل عام الخطوة الزمنية الشهرية أو اليومية. يتم التمييز بين مؤشرات صبيب الشح المشتقة من المقياس الشهري، ولا سيما المعدل الشهري الأدنى (QMNA) ، ومؤشرات صبيب الشح المستخلصة انطلاقا من المعدلات المتحركة للصبيب اليومي.

1.2 الشح المائي باعتماد المعدل الشهري الأدنى (QMNA)

يمثل معدل الصبيب الشهري الأدنى قيمة الصبيب الشهري المنخفض الذي بلغها المجرى المائي في سنة معينة، وقد تم تأليف الاختصار QMNA من التعبير débit (Quantité) (Q) Mensuel (M) miNimal (N) de fréquence sèche Annuel (A) ، يتم حسابه انطلاقا من فترات مختلفة (سنتين، 5 سنوات...). يسمح هذا المتغير إحصائيًا بتقدير أصغر صبيب لمجرى مائي خلال فترة معينة.

تستخدم عادةً خدمات الإدارة في فرنسا معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) لتحديد خصائص صبيب الشح بمجرى مائي. يتوافق معدل صبيب الشح المرجعي لتطبيق شرطة المياه مع معدل الصبيب الشهري الجاف لفترة الرجوع 5 سنوات (المشار إليه "QMNA 5").

وقد تم اختيار هذا المؤشر لمناسبته، ولأنه سهل الاستخراج من قواعد البيانات الهيدرولوجية. غير أن عددا من الباحثين يعتبر أن معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) أقل تمثيلا للشح المائي، لأنه يخضع لتقويم زمني محدد، ولأن الشح المائي يمكن ملاحظته خلال فترة متداخلة بين شهرين، مما يؤدي إلى المبالغة في تقدير معدل صبيب الشح من خلال معدل الصبيب الشهري الأدنى (Lang. 2007).

أهم الباحثين الذين اعتمدوا على معدل الصبيب الشهري الأدنى في دراسة الشح المائي

اتجهت عدد من البحوث والتقارير لتوصيف ودراسة مؤشرات صبيب الشح في علاقتها بالتأثيرات التي يمكن أن تحدث على الموارد المائية. يلخص الجدول التالي أهم الأعمال التي خصت دراسة الشح المائي على المستوى الشهري باعتماد معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA).

جدول 12: أهم المراجع في دراسة الشح المائي على المستوى الشهري

الباحث	الدولة	المناخ	الطريقة	المعطيات	المؤشر
Claire Lang(2007)	فرنسا	محيطي	تحليل إحصائي	الصبيب اليومي	QMNA
Didier et al (2011)	فرنسا	متوسطي-محيطي	النمذجة الهيدرولوجية	الصبيب الشهري	$QMNA_{1/5}$
Florine Garcia(2016)	فرنسا	متوسطي-محيطي	النمذجة الهيدرولوجية	الصبيب الشهري واليومي	$QMNA_{1/5}$
Clotaire Catalogne (2017)	فرنسا	متوسطي-محيطي	التحليل الاستقرائي والإحصائي	الصبيب الشهري	$QMNA_{1/5}$

استعمل عدد من الباحثين معدل الصبيب الشهري الأدنى لفترة الرجوع 5 سنوات($QMNA_{1/5}$) في دراسة الشح المائي مثل (Catalogne, 2006 ; Lang, 2007 ; Lang, 2011 ; Garcia, 2016)... وحسب الدراسات التي قامت بها (Garcia, 2016) فقد خلصت أن هناك عدم تجانس في توزيع معدل الصبيب الشهري الأدنى لفترة الرجوع 5 سنوات($QMNA_{1/5}$) بالأحواض النهرية بفرنسا. حيث أن الأحواض النهرية التي تستقبل تساقطات ثلجية تتميز ب معدل الصبيب الشهري الأدنى لفترة الرجوع 5 سنوات($QMNA_{1/5}$) تتجاوز 5 لتر/ث/كلم^2. كذلك بالنسبة للأحواض المتجانسة بشمال فرنسا تميزت بصبيب شح مُدعم وقيم عالية لمعدل الصبيب الشهري الأدنى لفترة الرجوع 5 سنوات($QMNA_{1/5}$) . كانت لأحواض نهرية أخرى قيم منخفضة أو حتى منعدمة، ويتعلق الأمر بحالة الأودية الموسمية، خاصة في المجالات المتوسطية. وقد أظهرت (Garcia, 2016) أن الشهر الأكثر جفافًا هو فبراير بالنسبة للأحواض النهرية المستقبلة للتساقطات الثلجية. وبالنسبة للأحواض الأخرى، يتردد هذا الحدث بشكل أساسي في غشت (58 ٪ من الأحواض)، ثم في شتنبر (36 ٪ من الأحواض) ، ونسبة قليلة في يوليوز، إلى حد كبير بالنسبة للأحواض المتوسطية.

وقد اشتغلت (Lang, 2007) على عدة طرق لاستخلاص ودراسة الشح المائي، من بينها معدل الصبيب الشهري الأدنى ، وقد خلصت أن معدلات صبيب الشح تظهر بتردد أكبر خلال فترات الصيف وحتى الخريف، وتعود العمليات المسببة في تكوينها إلى المواسم السابقة، والمتعلقة أساسا بالتساقطات المطرية ومساهمتها في ملء الفرشة المائية، بالإضافة إلى الخصائص الجيولوجية للحوض. يشكل هذا التكوين الطويل بشكل خاص صعوبة تحديد عوامل ظهورها وشدتها. كما اقترحت (Lang, 2007) تصنيفا للمؤشرات الإحصائية المختلفة من ضمنها معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/2 و 1/5 و 1/10 التي تقع، على التوالي، ضمن عتبات الحذر والإنذار والأزمة.

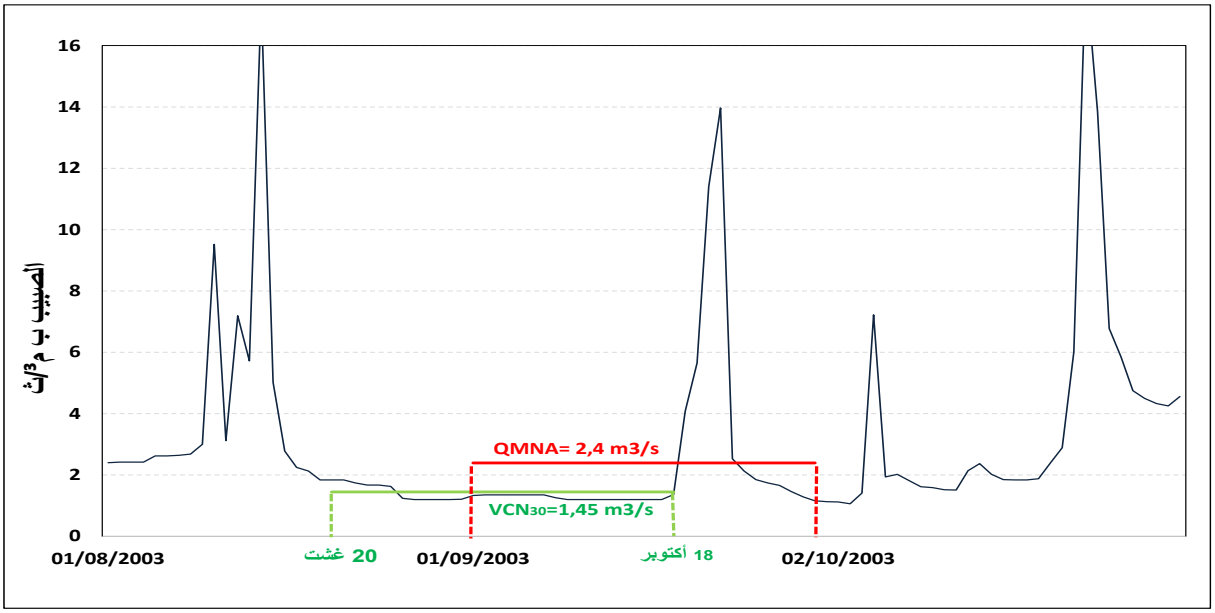
وفي إطار إيجاد حلول للتكيف مع الظواهر الهيدرولوجية القصوى المرتبطة بالتغير المناخي عمل (Didier et *al*, 2011) على دراسة تطور الشح المائي للحوض النهري La Meuse خلال القرن الواحد والعشرين، وقد اعتمد على سيناريوهات التغيرات المناخية كمدخلات للنمذجة الهيدرولوجية لوضع تصور لتطور الصبيب الشهري الأدنى لفترة الرجوع 5 سنوات($QMNA_{1/5}$) في أفق سنة 2100.

يبدو أن أغلب الباحثين اتجهوا إلى اعتماد معدل الصبيب الشهري الأدنى **لفترة الرجوع 5 سنوات** ($QMNA_{1/5}$) على أن لا يتم تجاوزها خلال سنة معينة، أو بمعنى آخر الصبيب ذو احتمال عدم التكرار أكثر من مرة واحدة في 5 سنوات. وكما سبقت الإشارة، فإن هذا المؤشر يعتبر مرجعيا في فرنسا، ويستخدم لتطبيق شرطة المياه، والذي يحدد عتبات اليقظة والأزمات عند استعمال الماء في المجاري المائية.

2.2 دراسة الشح المائي باعتماد المعدلات اليومية الأدنى (VCN_d)

يشكل معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى فترة d أحد المحددات الأكثر اعتمادا لتحديد خصائص شدة الشح المائي. ويرمز إليه في الدول الأنجلوسكسونيونية ب AM_d، وفي فرنسا ب VCN_d عندما يتعلق الأمر بالمعدل المتحرك الأدنى للصبيب اليومي على مدى d يوم متتالية. ويتم استخلاص المعدلات المتحركة بناءً على مدة محددة لعدد الأيام المتتالية d، التي تؤدي إلى حساب VCN_d ، وهو الحد الأدنى لمعدل الصبيب على مدى d أيام. تتوافق معدلات الصبيب اليومي الأدنى لمدة 7 أو 10 أيام مع القيم التنظيمية في العديد من الدول وتستخدم على نطاق واسع بشكل عام في تحديد خصائص ومستويات صبيب الشح (Lang. 2007).

مبيان 9: مقارنة معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) ذات التقويم الزمني الشهري ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوم متتالية (VCN30) المستخلصة من قيم الصبيب اليومي



<u>أهم الباحثين الذين اعتمدوا على معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم في دراسة الشح المائي</u>

تم تطوير مناهج لتوصيف مستويات صبيب الشح بمقاييس زمنية محددة، كما تم إعداد المؤشرات انطلاقا من سلسلة الصبيب اليومي، على مدى عدة أيام. وقد اختلف الباحثون في تحديد مدة الشح المائي، وهذا راجع إلى الأهداف المرجوة من كل دراسة وكذا اختلاف الخصائص المناخية والطبيعية لمجالات الدراسة. يلخص (الجدول 13) أهم الأعمال التي خصت دراسة الشح المائي على المستوى اليومي باعتماد معدلات الصبيب الأدنى على مدى d يوم.

يُعرف معدل الصبيب اليومي الأدنى لمدة 7 أيام باسم صبيب فترة الجفاف (Hindley, 1973) وباسم الصبيب السنوي الأدنى على مدى 7 أيام (MAM_7) (Pirt et Simpson, 1983)، يُستعمل هذا المؤشر على نطاق واسع في المملكة المتحدة في إطار تفعيل قوانين الماء وشروط استعمالها في الأزمات.

وتُستخدم معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 1 إلى 30 يومًا على نطاق واسع في روسيا وأوروبا الشرقية، (Smakhtin, 2001). يتم إدخال عوامل التصحيح لتحويل مؤشرات صبيب الشح إلى صبيب لاحتمالات التجاوز الأخرى.

جدول 13: أهم المراجع في دراسة الشح المائي على المستوى اليومي

الباحث	الدولة	المناخ	الطريقة	المعطيات	المؤشر
Frécaut René (1975)	فرنسا	محيطي- معتدل	التحليل الإحصائي	الصبيب اليومي	Q_{10} , Q_{20}, Q_{30}
Hayes Donald C (1991)	و.م.أ	قاري- رطب	التحليل الاستقرائي/ الإحصائي	الصبيب اليومي	$Q_{7,2}$, $Q_{7,10}$.
Gustard et al. (1992)	المملكة المتحدة	محيطي- معتدل	التحليل الإحصائي- الخصائص الفيزيوغرافية- الأقلمة	الصبيب اليومي	MAM_7
Schreiber et Demuth, (1997)	ألمانيا	محيطي	تحليل إحصائي- الخصائص الهيدروجيولوجية- الأقلمة	الصبيب اليومي	MAM_{10}
Galéa et *al*, (1999)	فرنسا- رومانيا	محيطي- معتدل- قاري	صبيب-مدة-تردد (QdF)	الصبيب اليومي	VCN من 1 يوم إلى 90 يوما
Abdelaziz Hamza (1999)	كيبيك	قاري رطب، محيطي، قطبي	النمذجة الإحصائية	الصبيب اليومي	$Q_{7,10}$
Claire Lang (2007)	فرنسا	محيطي	التحليل الإحصائي	الصبيب اليومي	VCN_{10}
Herrara Guzman (2008)	كيبيك	قاري رطب	النمذجة الإحصائية	الصبيب اليومي	$Q_{7,2}$, $Q_{7,10}$, $Q_{30,5}$
Sébastien Gailliez (2013)	بلجيكا	محيطي	النمذجة الإحصائية	الصبيب اليومي	MAM_7

تعد مؤشرات $Q_{7,10}$ و $Q_{7,2}$ و $Q_{30,5}$ أكثر استخدامًا في كندا لتحليل نظام صبيب الشح خصوصا أثناء فترات الجفاف، ودراسة قدرة استيعاب النفايات وتركيز المواد الملوثة في الأنهار(Ouarda et al, 2008). وهناك مناطق في الشمال تتميز بمناخ بارد وتربة متجمدة خلال فترة الشتاء، وهذا يؤدي إلى موسم شتاء منخفض الصبيب. ويتزامن الشح المائي مع فصل الصيف، حيث أن عمليات ذوبان الثلوج تكون قد اكتملت بالفعل في الربيع. لذلك، من الضروري أيضا، في فصلي الصيف والشتاء، دراسة الشح المائي بشكل منفصل لأنها يتميز بظواهر مختلفة تمامًا، ويمكن تمثيل بيانات الشح المائي بتوزيعات إحصائية مختلفة.

اقترح (Frécaut, 1975) في دراسته للشح المائي، في السياق المناخي المحيطي المعتدل، الصبيب الحدي أو صبيب العتبة (Débits Limites) لتحليل أحداث الشح المائي. وقد أكد على أن معدل قيم الصبيب على مدى فترة قصيرة من 10 ، 20 ، 30 يومًا متتاليًا ، أي Q_{10}، Q_{20}، Q_{30} ، لا تتوافق تمامًا مع المدة الفعلية للحدث، وهي كافية للتنبؤ بمستويات منخفضة من المياه، لكنها لا تسمح بدراسة مفصلة. لذا يمكن أن يؤدي التحليل الترددي للصبيب اليومي، الخام أو النوعي (الصبيب في علاقته بالمساحة)، على مستوى الفصول الحارة، إلى تحديد دقيق لتاريخ بداية الأحداث والمدة الفعالة للشح المائي الحاد أو الاستثنائي.

يعد تحليل تردد معدل صبيب الشح جزءًا من تحليل تكرار الأحداث الهيدرولوجية القصوى، وعلى هذا النحو، تمت تغطيته في العديد من المراجع الإحصائية الكلاسيكية. وتعد المقالات والأبحاث التي تتضمن موضوعات محددة

لتحليل تردد معدلات صبيب الشح كثيرة. في الوقت نفسه، لاحظ بعض المؤلفين أن الدراسات المتعلقة بتحليل فترات رجوع الشح المائي لا تزال محدودة، مقارنة، على سبيل المثال، بالدراسات المتعلقة بفترات الرجوع للفيضانات (Smakhtin, 2001). والأكيد أن تطوير تقنيات التنبؤ بأحداث الشح المائي القصوى تمكن من الفهم الأفضل للاشتغال الهيدرولوجي للأحواض النهرية المساهمة والتقدم في التحليل الإحصائي.

في المملكة المتحدة، قدم (Gustard et al, 1992)، من خلال التقرير الذي أجراه على 687 نقطة قياس، تحليلا للعلاقة بين خصائص الأحواض النهرية (خصائص التربة والغطاء النباتي) والتحليل الإحصائي للشح المائي، ونخص بالذكر المعدل السنوي للصبيب والصبيب الذي يوافق 95% من منحنى الصبيب المصنف (Q_{95}) ومعدل الصبيب الأدنى على مدى 7 أيام ($MAM_{(7)}$). واعتمد في حساب المعدل السنوي للمواقع غير المقيسة على معادلة الانحدار لمعدل التساقطات المطرية السنوية والتبخر-النتح ومتغير المساحة للأحواض النهرية. استنتج الباحث المعادلة انطلاقا من الميزانية المائية، على الأقل، لسبع سنوات، من سلسلة البيانات المتوفرة. وربط العلاقة بين هذين المتغيرين من خلال خرائط رقمية تسمح بالانتقاء التلقائي للخصائص الطبيعية للأحواض النهرية لفرض العتبات الرقمية لها باعتماد قاعدة بيانات للصبيب.

استنتج (Schreiber et Demuth, 1997)، في جنوب غرب ألمانيا، أن الشح المائي في المجاري المائية تتأثر بشدة بالخصائص الهيدروجيولوجية للأحواض النهرية. وكان الهدف من دراسته هو توفير منهجية تعتمد الخصائص الهيدروجيولوجية لتحديد معدلات الجريان للشح المائي باعتماد المعدل السنوي الأدنى لعشرة أيام على التوالي (MAM_{10}).

استخدم(Hamza, 1999) في دراسته معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 7 أيام بتردد 10 سنوات ($Q_{7,10}$)في مقاطعة كيبيك، حيث تم أخذ فترة الرجوع هذه فقط في الاعتبار. إن الهدف النهائي لهذه الأطروحة هو اقتراح نموذج يُمكِّنه من تحديد خصائص صبيب الشح لأي فترة رجوع، مع تحديد هامش الثقة للقيمة المحسوبة.

اعتبرت (Lang, 2007) معدل الصبيب الأدنى على مدى 10 أيام (VCN_{10}) قيمة مناسبة لتحليل مستويات صبيب الشح في المناخ الذي يميز الحوض النهري الراين-ميوز (منطقة انتقالية بين المناخ المحيطي والقاري). وقد اعتمدت في دراستها لهذا المؤشر على عدد من القوانين الإحصائية لمقاربة تردد وفترات الرجوع لأحداث الشح المائي مثل قانون GEV وقانون Ln-Normale بمتغيرين.... إلا أنها استنتجت أن الإشكالية المتعلقة باختيار القانون الإحصائي هي أقل حسما من اختيار المؤشر المناسب لدراسة مستويات صبيب الشح بالحوض المدروس، لأنه في النهاية، بغض النظر عن القانون المستخدم، فإن معدلات صبيب الشح المميزة تختلف قليلاً، وعلى العكس من ذلك، اعتمادًا على المؤشر المختار، يمكن أن يختلف توصيف مستوى صبيب الشح بشكل كبير.

طور (Herrera-Guzman, 2008) طريقة للتوزيع الإقليمي للشح المائي في المواقع غير المقيسة أو المقيسة جزئيًا والتي تجمع بين الطرق المختلفة الحالية. ولتحقيق هذا الهدف، كان من الضروري التعامل مع المشكلة على مرحلتين: الأولى تخص تحليل التردد المحلي لتقدير القيم الإحصائية للشح المائي، وتعتمد هذه التقنية على افتراض أن البيانات مستقلة وموزعة بشكل متماثل، أما المرحلة الثانية فيتم خلالها تحليل التردد الإقليمي الذي يبدأ بتحديد المناطق المتجانسة ثم نقل المعلومات من المواقع التي تم قياسها إلى الموقع غير المقيس أو المقيس جزئيًا داخل نفس المنطقة. وقد تم الاعتماد في تحليل خصائص صبيب الشح على معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 7 أيام بتردد 10 سنوات ($Q_{7,10}$) الأكثر استعملا في أمريكا الشمالية، ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 7 و30 يوما بتردد ستنتين وخمس سنوات على التوالي ($Q_{7,2}$ و $Q_{30,5}$) المعتمد من طرف وزارة البيئة في الكيبيك.

واعتمد (Gailliez, 2013) في دراسته لخصائص صبيب الشح على معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 7 أيام MAM_7 (VCN_7)، وقام بدراسة إحصائية للترددات من أجل ربط فترة الرجوع بالصبيب. وتم اختبار العديد من قوانين التعديل الإحصائية المستخدمة في دراسة الشح المائي. واستنتج في الأخير، من هذا التحليل، أنه لا يمكن تفضيل قانون إحصائي بعينه لمنطقة الدراسة، وأن اختياره لا يتأثر بطول السلسلة الإحصائية لمعطيات الصبيب أو بالموقع الجغرافي لنقط القياس. ولتحديد خصائص صبيب الشح وتقدير شدته في الأحواض غير المقيسة عمل

(Gailliez, 2013) على استخراج المتغيرات الطبيعية والمناخية للأحواض (الانحدار، استعمال الأرض، المساحة، الصخارة، التساقطات المطرية...) وقام بتفييئها إلى أربعة مجالات متجانسة. معتمدا على أنموذج الانحدار الخطي انطلاقا من 24 متغيرا فيزيائيا وطريقة 'Stepwise' لفترات الرجوع 2، 5، 10، 20 و50 سنة. وقد مكنته هذه النماذج من تحديد قيم صبيب الشح في أي نقطة من الأحواض النهرية الصغيرة ومن تقدير عدم اليقين بناء على هامش الثقة.

اعتمد (Hayes, 1991)، في ولاية فرجينيا، لتحديد خصائص صبيب الشح ل 715 موقعا على المعدل المتحرك الأدنى على مدى 7 أيام متتالية لفترات الرجوع سنتين و10 سنوات، وقد رمز إليها على التوالي ب ($Q_{7,2}$) و ($Q_{7,10}$). وقام بتطوير طريقة توجيه الجريان لتقدير قيم صبيب الشح في المواقع غير المقيسة بترابط مع المواقع المقيسة، حيث تتضمن هذه الطريقة نقل خصائص صبيب الشح للموقع المقيس إلى موقع غير مقيس. كما طور معادلات الانحدار الإقليمية لتقدير قيم صبيب الشح في المواقع المقيسة بترابط مع الموقع غير المقيسة.

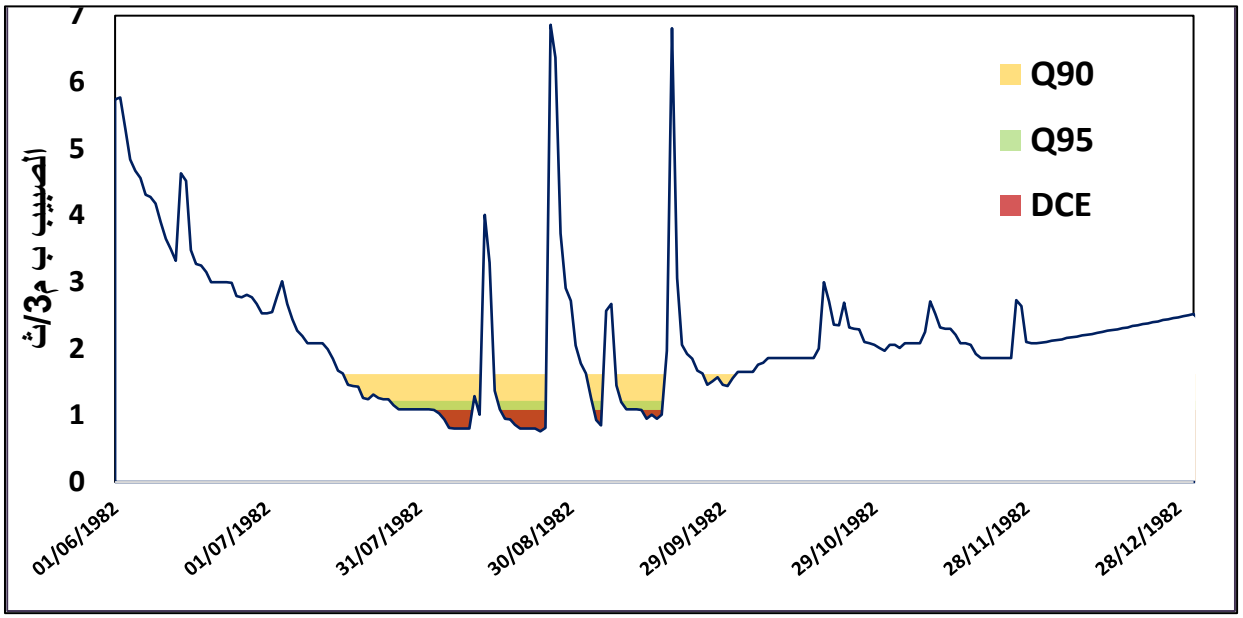
اتجه عدد من الباحثين في السنوات الأخيرة إلى اعتماد منهجية صبيب-مدة-تردد (QdF) في دراسة الشح المائي، والذي كان يُعتمد، في الأصل، لتحليل الامتطاحات، ومن أهم هذه الدراسات تلك التي قام بها (Galéa et *al*, 1999) استنادا إلى معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم VCN_d . تسمح هذه الطريقة بوصف حالة الشح المائي بالحوض النهري مع مراعاة مدته، حيث يتم تطبيقه على VCN للمدد الزمنية من يوم واحد إلى 90 يوما. كما تسمح هذه الطريقة بدراسة خصائص النضوب المائي واستخراج معامله.

3. المؤشرات المستخرجة من صبيب العتبة: حجم ومدة العجز

يمكن أيضًا تحديد وتحليل مستويات صبيب الشح من خلال عتبة الصبيب التي تُستخدم لاختيار أحجام العجز والمدد لإجراء تحليل إحصائي. إن تحليل حالات الشح المائي بناءً على عتبة الصبيب له العديد من المزايا، منها على وجه الخصوص، تحديد مدة الأحداث الهيدرولوجية، على عكس المتغيرات الأخرى التي تحصر مستوى صبيب الشح في سياق زمني محدد مهما كان عدد السنوات (Lang, 2007). علاوة على ذلك، إذا كانت العتبة منخفضة بدرجة كافية، فإن هذه الطريقة تشير إلى أن الصبيب لا يصل إلى مستويات صبيب شح معين كل سنة.

تكمن الصعوبة، بالنسبة لهذه الطريقة، في اختيار العتبة الملائمة للشح المائي وفي تحديد معدل الصبيب الذي يمكن اعتباره "مدخل الشح المائي". يعتمد تحديد معدل الصبيب العتبة بشكل عام على معدلات الصبيب المميز المستخلص من منحنى الصبيب المصنف. يمكن استخدام خاصية الصبيب المميز للشح (DCE) على سبيل المثال كصبيب عتبة نظرًا لأنها قيمة قصوى، تمثل مستويات صبيب الشح(Lang, 2007).

مبيان 10: حجم ومدة العجز حسب عتبات صبيب الشح المختلفة.



أهم الباحثين الذين اعتمدوا على الحجم ومدة العجز في دراسة الشح المائي

من خلال الاطلاع على الأعمال، المدرجة في قائمة المراجع، التي تهتم بإحصائيات حجم ومدة العجز، لاحظنا أن جلها اعتمد على قيم الصبيب التي توافق بشكل عام الترددات المتجاوزة بين 70 و95٪ من منحنى الصبيب المصنف (Fleig et al, 2006).

جدول 14: أهم المراجع في دراسة الشح المائي على المستوى اليومي

الباحث	الدولة	المناخ	الطريقة	المعطيات	المؤشر
Tallaksen et al, (1997)	الدنمارك	مناخ محيطي	قوانين إحصائية- مدة وحجم العجز	الصبيب اليومي	Q_{50}, Q_{70}, Q_{90}
El-jabit et al, (1997)	كندا	قاري	دراسة إحصائية- مدة وحجم العجز	الصبيب اليومي	Q_{90}
Fleig et al., (2006)	و م أ- أوروبا- روسيا- جنوب إفريقيا- نيوزيلاندا- نيبال	محيطي- متوسطي- جاف- استوائي- قاري	قوانين إحصائية- مدة وحجم العجز	الصبيب اليومي	Q_{70}, Q_{90}

يمكن أن نذكر أعمال (Tallaksen et al, 1997) الذي أجرى تحليلا لمدة وحجم العجز اعتمادا على ثلاث عتبات مختلفة (50 و70 و90 %). واعتبر أن ظهور حالات الجفاف في سنوات متعددة وأخرى دون جفاف هي أيضًا خصائص مهمة عند اختيار مستوى عتبة ملائمة، وأن هذا الاختيار ليس عشوائيا، بل هو وظيفة لنوع من العجز المائي الذي يتم دراسته. وبالتالي، تصبح مشكلة الجفاف متعدد السنوات أكثر خطورة لزيادة حد العتبات، ويجب توخي الحذر عند اختيار عتبة مرتفعة نسبيًا. واعتبر الباحث أن العامل المناخي من العوامل الرئيسية التي تسبب صبيبا منخفضا، ولا سيما خلال فترة طويلة دون تساقطات مطرية. عند اختيار عتبة الصبيب اليومي المصنف بنسبة 90% (Q_{90})، تم الحصول على معدل القيم L-moments مماثلا لطول فترة الجفاف، بغض النظر عن طريقة التفييء. وهذا يشير إلى أن الأحواض لديها توزيع مماثل لمدة الجفاف وتنتمي إلى نفس المنطقة المناخية من حيث التساقطات المطرية. وفي الأخير استنتج، من خلال اعتماده على طرق إحصائية، أن العتبة 70% ملائمة لتحديد خصائص صبيب الشح ومدة الجفاف .

اعتمد (El- Jabi, 1997) في دراسته للشح المائي، في النطاق القاري بكندا، على عتبة الصبيب اليومي المصنف بنسبة 90% (Q_{90})، ، والتي على ضوئها يمكن استخراج سلسلة من فترات العجز، وقد ذكر أن مبررات استخدام هذه العتبة قائم على الخصائص الهيدرولوجية والاقتصادية. وبعد فحصه للنتائج التي تم الحصول عليها، انطلاقا من تحليل خصائص صبيب الشح (مدة وحجم أحداث العجز)، استنتج أنه يمكن تقدير حجم العجز المحتمل في الموارد المائية بدقة أكبر، كما يمكن تقييم وتخطيط السيناريوهات المختلفة بشكل أفضل .

استنتج (Fleig et al., 2006)، من خلال دراستهم للشح المائي ل 16 حوضا نهريا في مناخات مختلفة، أن تحديد خصائص صبيب الشح يعتمد على أهداف الدراسة والخصائص الطبيعية والمناخية وكذلك البيانات المتاحة. واعتمدوا في دراستهم على تطبيق عتبات الصبيب اليومي المصنف بنسبة 70% و90(Q_{90}, Q_{70}) % من أجل استخلاص خصائص العجز (مدة الجفاف وحجم العجز). وقد تم اعتماد ثلاث طرق مختلفة لذلك: إجراء المعدل المتحرك (MA) وطريقة المدة بين الأحداث (IT) وخوارزمية الذروة المتسلسلة (Sequent Peak Algorithm) (SPA).

خلاصة

يبدو، في جميع الحالات وبغض النظر عن المتغير المحدد، أنه من الصعب الإحاطة بكل إشكالات الشح المائي من خلال العمل على تحديد مؤشر واحد. ويقدم الجدول التالي ملخصًا لمؤشرات صبيب الشح المختلفة التي تم التفصيل فيها:

جدول 15: متغيرات الشح المائي (Abi-Zeid et Bobée, 1999),

المؤشر	متغير الشح المائي	التعريف
منحنى الصبيب المصنف	-الشح المائي المطلق -DCE -DC_x	-الصبيب الأدنى خلال السلسلة الإحصائية -الصبيب الذي يساوي أو يتجاوز 10 أيام في السنة -الصبيب الذي يتجاوز x % من المدة
المدة المحددة	-QMNA -VCN_d	-معدل الصبيب الشهري الأدنى -المعدل المتحرك الأدنى المحسوب على مدى d يوم متتالية
الصبيب العتبة	-حجم العجز -مدة العجز	-حجم العجز تحت صبيب العتبة -مدة العجز تحت صبيب العتبة

على العموم، اعتمد أغلب الباحثين، من خلال الدراسات التي تم الاطلاع عليها، على مؤشرات يتم استخراجها من خلال المعدل اليومي الأدنى على مدى 7 أيام أو 10 أيام لفترات رجوع من سنتين إلى 10 سنوات في اتجاه الجفاف. أما بالنسبة للمؤشرات المستخلصة من منحنى الصبيب المصنف فقد تم الاعتماد في أغلب الدراسات على مؤشري Q_{95} و Q_{90}، غير أن (Tallaksen et al, 1997) و (Abi-Zeid.I et Bobée.B 1999) اقترحا مؤشرات أعلى (Q_{50}, Q_{70}, Q_{75}) لكون دراستهما شملت مناخات مختلفة.

المحور 6: تـعريــف وطـــرق تـــحديد النضوب المائي

قبل الخوض في دراسة النضوب المائي في أحواض الدراسة، لابد من تقديم مفاهيمي وعرض أهم القوانين الفيزيائية المعتمدة في تحليل فترات النضوب المائي بالحوض المدروس، والتي ترتبط في أغلبها بنظريات إفراغ الطبقات الجوفية في اتجاه تغذية المجاري المائية. كما سيتم، في هذا المحور، تقديم أهم الطرق التي ستمكننا من استخلاص الصبيب الذي يمثل النضوب المائي، وهي إجراءات لازمة تمكننا من وضع معايير اختيار تبرز خصائص صبيب الشح.

I. تعريف النضوب المائي

يمثل النضوب المائي «Tarissement» " مرحلة من الجريان لمجرى أو منبع مائي يتوافق مع الانخفاض المطرد للصبيب في غياب أي مساهمة مناخية أو تدخل بشري " (Dacharry, 1997). خلال الفترات التي لا تتأثر بالتساقطات المطرية، يكون الجريان ناتجا فقط عن الخزانات الجوفية. لذلك، يتناقص صبيب المجرى المائي خلال هذه الفترات، نظريا، لإفراغ المياه الجوفية. يلخص (Roche, 1963) هذا الجانب جيدا حيث يحدد النضوب المائي لمجرى مائي على أنه " انخفاض الصبيب الموافق لإفراغ الفرشات المائية دون أي تأثير للتساقطات المطرية".

وعلى سبيل المثال، نذكر بعض القوانين التي يتم تطبيقها في تحليل النضوب المائي على المجاري المائية.

النضوب المائي حسب قانون Darcy

أثناء محاولة Darcy تفسير تدفق نافورة Dijon في عام 1856، أنشأ جهازًا تجريبيًا (عمود دارسي) لإعادة إنتاج التدفق في وسط مسامي. وقد خلص إلى أن "الحجم المتدفق يتناسب مع الحمل وبنسبة عكسية لسمك الطبقة التي تم عبورها" (Darcy, 1856) وقد استنتج قانونا يحمل اسمه والذي يعبر عنه بالصيغة 3.1:

$$Q = \mathrm{KA}\frac{\Delta h}{L} \qquad 3.1$$

بحيث: Q: يوافق الصبيب؛

A و L: توافقان على التوالي المقطع وطول العينة المسامية؛

$\frac{\Delta h}{L}$: توافق التدرج الهيدروليكي؛

K: توافق التوصيلية الهيدروليكية أو معامل نفاذية الوسط المسامي.

ترتبط نظرية إفراغ المياه الجوفية ارتباطًا مباشرًا بنظرية التدفق في طبقة المياه الجوفية، تستند إلى قانون دارسي. ويتناسب معدل صبيب مياه الطبقة الجوفية مع حملها، مما يعني أنه كلما ارتفع منسوب المياه، زاد الصبيب، وعلى العكس، كلما انخفض منسوب المياه انخفض معدل الصبيب. وبالتالي، من المقبول عمومًا أن منحنيات انخفاض الصبيب، التي تعبر عن العلاقة بين معدل الصبيب والزمن في النظام الذي لا يتأثر بالتساقطات المطرية، تتناقص بشكل أسي. وأثناء مراحل النضوب المائي، يتناقص صبيب المجرى بانتظام مع مرور الوقت وهذا الانخفاض يكون أسرع في البداية ثم يتضاءل شيئا فشيئا.

غير أن تحليل النضوب المائي كان موضوع نقاش وتحقيق لأكثر من 100 سنة (Tallaksen, 1995)، والصيغ المقترحة في المراجع عديدة جدا.

النضوب المائي حسب Boussinesq

كان (Boussinesq, 1877) أول الباحثين الذين قدموا تحليلا لمنحنى النضوب المائي، وهو يرى أن شكل منحنى تناقص الصبيب، في النظام الهيدرولوجي غير المتأثر بالتساقطات المطرية، يرتبط مباشرة بالخصائص الهيدروديناميكية لطبقة المياه الجوفية. وقد اقترح المعادلة التفاضلية رقم 2.3:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{k}{\varphi}\frac{d}{dx}\left(h\ \frac{dh}{dx}\right) \quad \textbf{2.3}$$

بحيث: k: التوصيل الهيدروليكي؛ φ: المسامية الفعالة لطبقة المياه الجوفية؛ h : الحمل الهيدروليكي؛ t: المدة.

غير أن هذه المعادلة غير خطية ويصعب حلها، لذلك اختار أن يعمل على جعلها معادلة خطية لتحقيق الوظيفة بشكل أبسط حسب الصيغة 3.3: $Q_t = Q_0 \times e^{-\alpha t}$ **3.3**

بحيث: Q_0: الصبيب الأولي؛ Q_t: الصبيب في اليوم t؛ t: مدة الفترة؛ α: معامل النضوب المائي.

وقد طور من جديد معادلته الأولى سنة 1904 واقترح الصيغة غير الخطية التالية، والتي تسمى الصيغة التربيعية: $Q_t = \frac{Q_0}{(1+\alpha t)^2}$ **3.4**

بحيث: Q_0: الصبيب الأولي؛ Q_t: الصبيب في اليوم t؛ t: مدة الفترة؛ α: معامل النضوب المائي.

يمكن معالجة الصيغتين (7-2) و (7-3) وفقا لمقاربتين مختلفتين. ونميز بين مقاربة الهيدروغرافية حيث تأخذ حلول المعادلة في الاعتبار فقط خصائص جريان الماء وهندسة طبقات المياه الجوفية، لنهج معالجة تعتمد على تحليل هيدروغرافي، وبين المقاربة الهيدروليكية التي تؤدي إلى نتائج أكثر دقة، لكنها تتطلب معرفة بخصائص طبقات المياه الجوفية التي لا يمكن القيام بها، ناهيك عن مقاييس دقيقة للحوض. وغالبًا ما يكون الحصول على خصائص طبقة المياه الجوفية وتحديد الظروف الحدية أمرًا مستحيلًا (Pointet, 1975). بالإضافة إلى ذلك، نسعى من خلال هذا العمل إلى اتباع نهج الهيدرولوجيا السطحية الذي يبرر التخلي عن هذا النوع من المقاربة واختيار التحليل بواسطة المخططات الهيدروغرافية.

يتم جعل الدالة الأسية المتناقصة خطية عن طريق تحويل قيم الصبيب الطبيعي إلى قيم لوغاريتمية. تقابل الدالة التربيعية احتمالا جبريا تنازليا من الأس 2 والذي تم تخطيطه عن طريق مقلوب الجذر التربيعي للصبيب. وقد تم تطبيق الصيغة التربيعية من خلال النهج المبياني، ثم تم التحقق من صحتها من قبل العديد من المؤلفين (Tallaksen, 1995). وتم تحقيق ونشر أول تطبيقات للدالة الأسية من طرف (Maillet, 1905). في الهيدرولوجيا الكلاسيكية (Roche, 1963 ; Réméniéras, 1986) ، تُسمى الصيغة الأسية للنضوب المائي كلاسيكيًا "صيغة (Maillet, 1905)" ، والوظيفة التربيعية، "صيغة (Tison, 1960)".

اقتراح مجموعة من الباحثين صيغا أخرى مختلفة متعلقة بالنضوب المائي، واعتبر بعضهم أن عملية الإفراغ قد تكون ناتجة عن تعاقب عدة طبقات للمياه الجوفية، وهذا ما تم تفسيره من خلال تحليل منحنى النضوب المائي الذي يعرف أحيانا انكسارات يتغير على مستواها الميل. اقترح (Barnes, 1939) وآخرون تجميع الدالة الأسية لـ Maillet وفقًا لعدد الخزانات الجوفية. أما (Horton, 1933) فقد اقترح المنحنى الأسي المزدوج.

أما باحثون آخرون فاقترحوا الصيغ التي تأخذ بعين الاعتبار هندسة طبقة المياه الجوفية. مثلا (Coutagne, 1948) اقترح بذلك معادلة تقبل بأن شكل منحنى النضوب المائي يرتبط بهندسة طبقة المياه الجوفية. أما (Padilla et al, 1994) فبينوا أنه يمكن تطبيق معادلة Coutagne لنضوب الينابيع والمجاري المائية، ومع ذلك، فإن هذه الصيغة لا تترجم بشكل جيد أداء المصادر الكارستية، ولهذا السبب يضيفون، بالنسبة للحالة الخاصة بالكارست، تفريغًا ثابتًا للصيغة الأصلية.

استنتاج القوانين المعتمدة لدراسة النضوب المائي

إن القوانين التي تحكم انحسار معدلات الصبيب غير المتأثرة عديدة، لكن في حالة عدم وجود أي معرفة دقيقة بتكوينات طبقات المياه الجوفية للأحواض المدروسة، يمكن تلخيص الوظائف القابلة للاستخدام في قوانين الأسية ل (Maillet, 1905) أو التربيعية لـ (Tison, 1960). بالنسبة لهذا العمل، يُفضل اعتماد صيغة Maillet لأنها توضح أفضل التعديلات ولأنها القانون المعتمد غالبا لتحليل النضوب المائي. زيادة على ذلك، فإن وظيفة Tison تسمح

بضبط جميع معدلات الصبيب المتناقصة من بداية التراجع إلى مستوى النضوب المائي، لكن هذا القانون يجعل من غير الممكن تمييز التحول في انخفاض منحنى الصبيب الذي يمكن أن يساعد على تحديد بداية النضوب المائي. لذلك اقترح (Mansuy, 2005) وظيفة مماثلة لوظيفة Tison، بمعنى أنه يجعل من الممكن أيضًا ضبط مجموعة من قيم الصبيب المتناقص، من بداية التراجع إلى مستوى النضوب المائي.

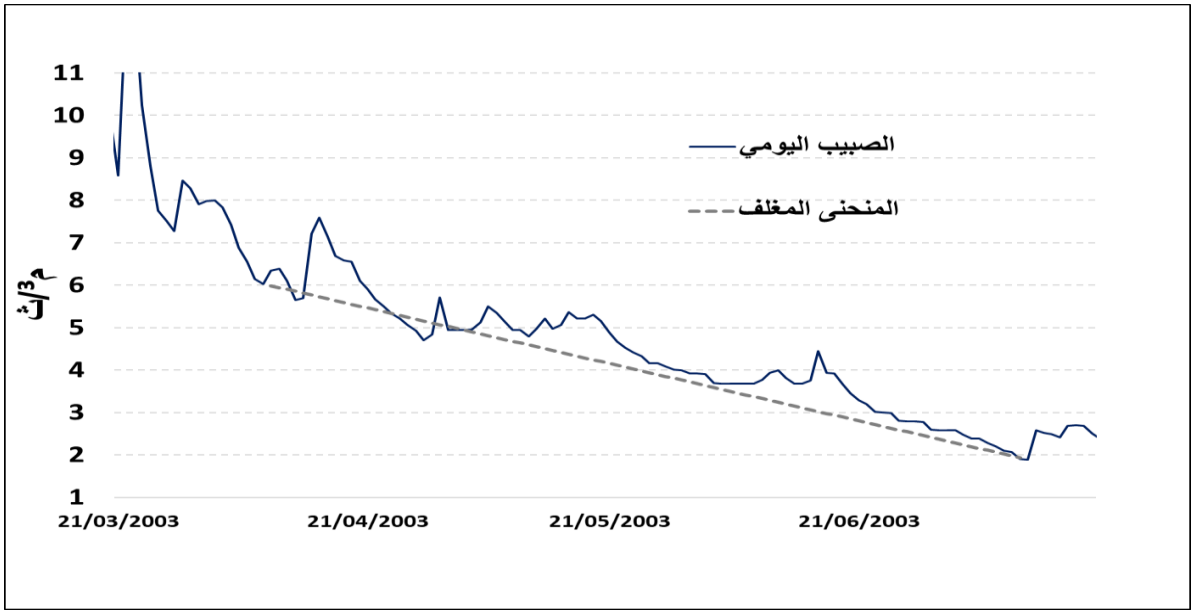
II. طرق تحديد النضوب المائي

أول صعوبة تواجه تحليل النضوب المائي للمجاري المائية هي تحديد تلك الفترات. ويرتكز هذا التحديد على استخلاص الصبيب المتناقص خلال الفترات غير المتأثرة بالتساقطات المطرية. لذا سيتم تقديم ثلاث مقاربات مختلفة في استخلاص فترات النضوب المائي ومقارنتها، ليتم اختيار الأنسب منها لدراستنا.

1. المقاربة الكلاسيكية للنضوب المائي: المنحنى المغلف

تتمثل هذه الطريقة، المستخدمة بشكل تقليدي، في ربط النقاط المنخفضة المستقيمية للمنحنى الهيدرولوجي على نطاق شبه لوغاريتمي. وقد تم تعريف "المنحنى المغلف" (Larras, 1972) المغلف السفلي للمنحنى الهيدرولوجي، أي المنحنى المماس للنقط الدنيا.

مبيان 11: مثال لمنحنى مغلف للنضوب المائي (Larras, 1972)

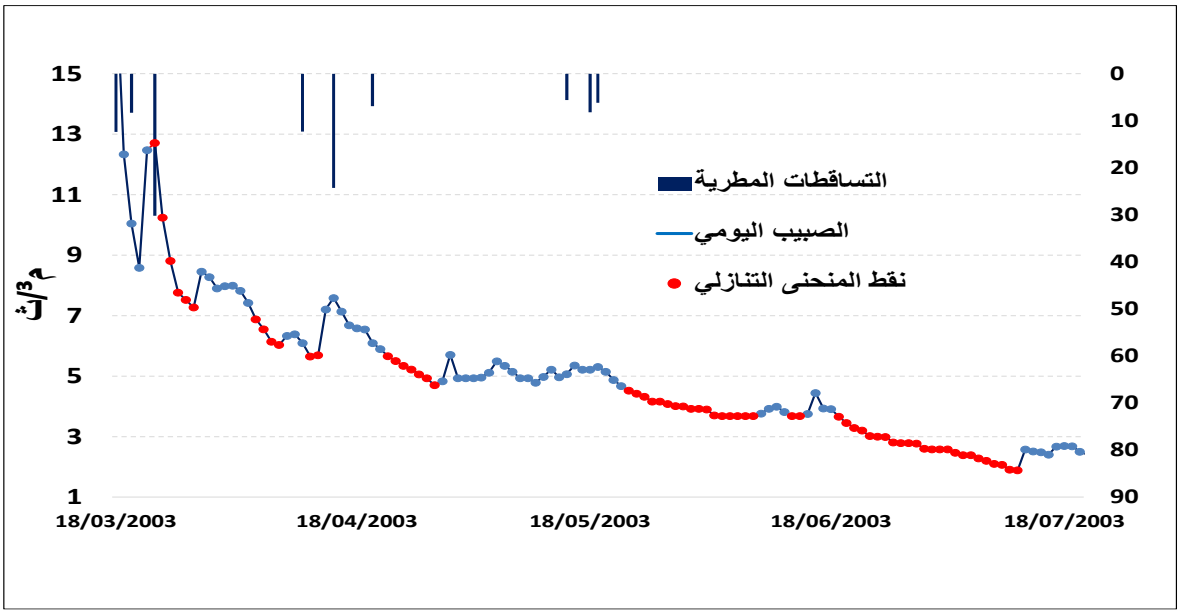


يوضح المبيان 11 أن هذه الطريقة يمكن أن تدمج، ضمن نفس المرحلة، معدلات صبيب مرتفعة مرتبطة بفترات مطيرة. وبالتالي، فإن مخطط المنحنيات المغلفة هو جزء من نهج تجريبي، ستنتج عنه في الغالب فترات محددة للنضوب المائي يتم اختيارها من طرف الباحث.

2. المقاربة الآلية للنضوب المائي: المنحنى التنازلي

تقترح هذه الطريقة اختيار القيم المتناقصة من أعلى صبيب إلى أدنى صبيب في السنة الهيدرولوجية. لفهم أكثر لهذه الطريقة نقترح مثال ل (Lang, 2007) توضح فيه طريقة استخلاص النضوب المائي انطلاقا من المنحنى التنازلي.

مبيان 12: استخلاص الصبيب حسب طريقة "المنحنى التنازلي"

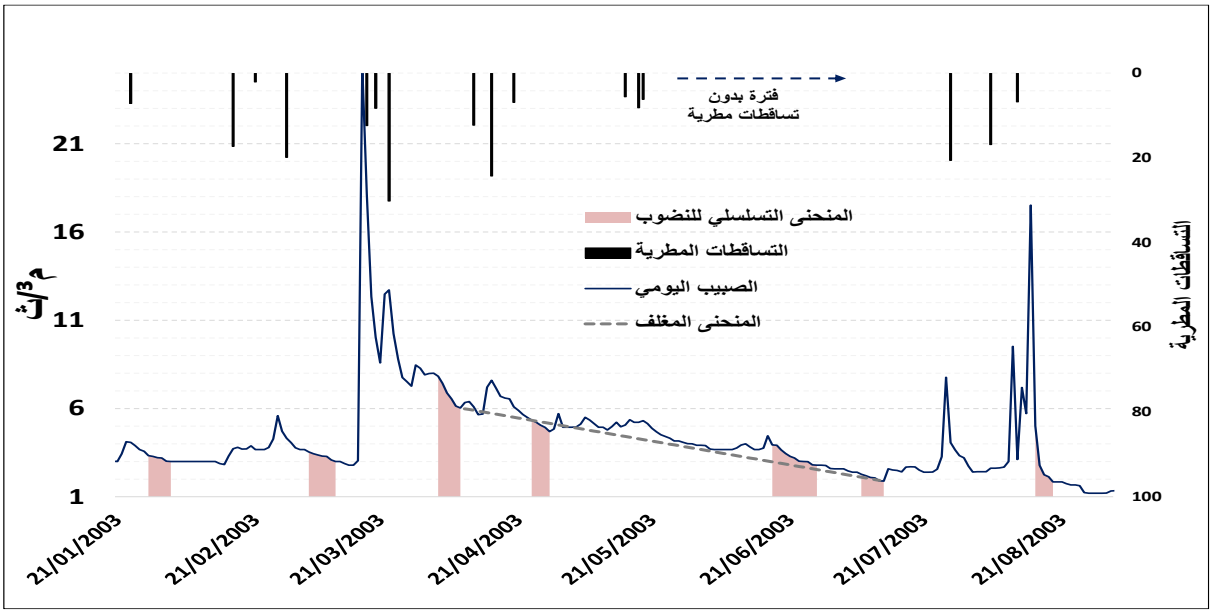


يبدأ المنحنى المقترح في التمثيل البياني (مبيان 12) من أعلى صبيب مسجل بين شهري يناير ويونيو (يتم تعيين شهر يونيو كحد نهائي لتجنب اختيار صبيب البداية في نهاية السنة). يتم الاحتفاظ بقيم الصبيب الأقل من السابقة فقط إلى غاية الحد الأدنى من الصبيب السنوي. المعدلات المستخلصة التي ليست متتالية، توافق الفترات المستقلة، وتفصل بينها حلقات يعرف فيها الصبيب ارتفاعا. الصبيب المستخلص من خلال هذه الطريقة يعيد رسم المنحنى المغلف، غير أنه عند ربط النقط فيما بينها يمكن تشكيل المنحنى التنازلي بشكل متصل.

3. المقاربة التحليلية للنضوب المائي: المنحنى التسلسلي

تعتمد هذه الطريقة خطوات أكثر صرامة، حيث يتم استخلاص متتالية قيم الصبيب اليومي المتناقصة بدقة وغير المتأثرة بالتساقطات المطرية. تتميز طريقة الاختيار هذه بتجانس العينة، ولكنها تجعل مدة حلقات النضوب المائي معتمدة على الظروف المناخية. وقد اقترحت (Lang, 2007) تسمية هذه الطريقة ب "المنحنى التسلسلي".

مبيان 13: مقارنة بين المنحنى المغلف والمنحنى التسلسلي (Lang, 2007)



يبقى الهدف من هذه المقارنة توجيه الدراسة نحو اختيار الطريقة التي تسمح باستخلاص الصبيب الذي يمثل النضوب المائي. ويظهر من خلال المنحنى (مبيان 13) أن هذه الطريقة أكثر دقة، حيث تربط بين تناقص الصبيب خلال الفترات التي لا تتأثر بالتساقطات المطرية من جهة، وتأخذ بعين الاعتبار مدة الإفراغ (ressuyage)، حيث تبقى الفرشة المائية هي المزود الأساسي للمجرى المائي من جهة أخرى.

خلاصة

يمثل النضوب المائي مرحلة من الجريان لمجرى يبدأ خلاله الصبيب بالانخفاض المطرد في غياب أي مساهمة للتساقطات المطرية، حيث يكون الجريان ناتجا فقط عن الخزانات الجوفية، وبالتالي فالنضوب المائي جزء لا يتجزأ عن فترات الشح المائي. ستساعدنا دراسة فترات النضوب المائي، باعتماد احدى الطرق التي تم تقديمها، في فهم السلوك الهيدرولوجي للحوض خلال فترات الشح المائي، وتحديد وتيرة تفريغ الخزانات الجوفية ومدى مساهمتها في تغذية الجريان السطحي.

خـــاتـــمة الفصل الثالث

يبقى اعتماد مؤشرات صبيب الشح متوقفا على نوع الدراسة والأهداف المتوخاة منها، وكذلك على الخصائص الطبيعية والمناخية لمجال الدراسة. إن أغلب الدراسات، التي تم الاطلاع عليها، أُنجزت في السياق المناخي المحيطي المعتدل والقاري الرطب، حيث أن الصبيب يتميز بتغايرية مهمة طول السنة، بفعل طول فترات التساقطات المطرية وتوزيعها خلال فترات مختلفة من السنة. غير أن الإشكالية التي واجهتنا هو غياب شبه تام للدراسات في هذا الصدد على مستوى المناخات شبه الجافة، وإن كان بعضها قد تناول الموضوع جزيئا دون الخوض في أهم الخصائص التي تميزه في علاقته بخصوصيات المناخ، المتميز بقلة التساقطات المطرية، بالإضافة إلى التغايرية الضعيفة للصبيب طول السنة. كما تبقى نتائج التحليل الإحصائي وترددات فترات الرجوع غير كافية لتحديد مستويات صبيب الشح وعتبات البدء، لأن هناك عوامل أخرى تتحكم في الجريان خلال فترات الشح الهيدرولوجي، ومن أهمها الأنشطة البشرية التي تلعب دورًا هاما في تحديد مستويات الأزمات، التي تتجاوز أحيانًا التأثيرات المتعلقة بالمناخ نفسه.

يصبح الوضع حرجًا عندما يؤدي الانخفاض في وفرة المياه إلى العجز في تلبية الاحتياجات الاستهلاكية أو البيئية. بالإضافة إلى التأثيرات المناخية فإن التدخل البشري والاستغلال المكثف وغير المعقلن (El Ghachi, 2008) يجعل من الشح المائي الطبيعي (الاعتيادي) حدثا بشريا (الشح المائي البشري) يمكن أن يؤدي إلى تدهور المنظومات البيئية والإحيائية، وإلى عواقب اقتصادية واجتماعية وخيمة. إن تفاقم هذا الوضع يؤدي إلى تضاعف الخطر الهيدرولوجي وبلوغ درجة تجفيف المجاري المائية، التي تشكل كارثة يكون الإنسان سببا رئيسيا في حدوثها. إن هذا الوضع يفرض على المتدخلين التفكير في استراتيجيات وفق نهج منسق يهدف إلى التوفيق، بشكل أفضل، بين الاستخدامات مع الحفاظ على الأداء السليم للبيئات المائية، والتنبؤ على المدى المتوسط والبعيد بالوضع الهيدرولوجي لتفادي حدوث الأخطار الهيدرولوجية المرتبطة بالخصاص المائي.

خاتمة القسم الأول

تطبع الحوض جيولوجيا متنوعة، المتشكلة أساسا من تكوينات الليلس والتي تتضمن في أغلبها الصخور الكلسية والدولوميتية والحث والشيست، حيث تمثل في مجملها 87% من مساحة الحوض. كما تظهر في المجال فوالق وانكسارات مهمة أدت إلى تعقد البنية الجيولوجية، والتي تلعب دور مهم في زيادة نفاذية الحوض.

تعتبر سفوح حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) متوسطة إلى قوية الانحدار وسهلة الانجراف والتخديد، خاصة في المجالات التي تطبعها ضعف أو غياب الغطاء النباتي، الذي يتميز أيضا بالاختلاف والتنوع من مكان لآخر، بحيث يعتبر ضعيفا (الغطاء النباتي) بالضفة اليسرى من الواد والسفوح الجنوبية وكذلك عالية الحوض، الذي يطبعه انتشار الأحراش والسهوب الجفيفة الشوكية. فيما تنتشر أشجار الماطورال بسافلة ووسط الحوض، خصوصا بالضفة اليمنى من واد تساوت والسفوح الشمالية. تتركز المغروسات والمزروعات المسقية أساسا في أعماق الأودية على ضفاف المجاري المائية.

تتميز الشبكة الهيدروغرافية بكثافة متوسطة، نظرا للخصوصيات الصخارية ذات النفاذية المهمة، كما أن أغلب الروافد تتميز بموسمية الجريان، فمن بين 14 رافدا فقط رافدين يتميزان بجريان دائم (أسيف بوعلي وأسيف أوروس). يغذي المجرى المائي لتساوت منابع تساوت المتواجدة بعالية الحوض، وكذلك عدد مهم من العيون المتواجدة بالضفاف على طول المجرى المائي.

عرفت ساكنة الجماعات القروية التي تنتمي إلى الحوض تطورا مستمرا خلال العشرين سنة المنصرمة. كما نجد تركيز أغلب التجمعات السكنية والدواوير على طول واد تساوت أو الروافد المهمة للواد حتى توفر الماء لزراعتها والكلأ لماشيتها. وتشكل الزراعة وتربية الماشية أهم الأنشطة التي يزاولها أغلب ساكنة الحوض والتي تتميز بالطابع التقليدي. تتميز المنطقة بتجهيزات هيدروفلاحية مهمة، التي من خلالها يتم تحويل مياه السقي من الواد مباشرة أو من المنابع والعيون، عن طريق نظام السواقي.

تؤثر الآليات الطبيعية والأنشطة البشرية بشكل كبير في الاشتغال الهيدرولوجي للأحواض النهرية. حيث أن الجريان السطحي هو نتيجة العمليات الطبيعية المعقدة. إن معرفة وضبط هذه الخصائص والميكانزمات التي تتحكم في أنماط الجريان بشكل عام والشح المائي بشكل خاص، ستمكننا من تحديد العوامل التي تؤثر على نظام صبيب الشح خصوصا خلال الفترات والمواسم الجافة من السنة. كما يجب الأخذ بعين الاعتبار التأثير البشري على هذا النظام بشكل مباشر أو غير مباشر.

القسم الثاني:

الاشتغال الهيدرو مناخي بحوض تساوت عالية سد مولاي يوسف (1976-2016)

الفصل الرابع:

تحليل تغايرية التساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1976-2016)

الفصل الخامس:

دراسة وتحليل درجات الحرارة والتبخر-النتح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1986-2016)

الفصل السادس:

الخصائص الهيدرولوجية وأنماط الجريان لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016)

مقـــدمـــة القسم الثاني

سيتم التطرق خلال هذا القسم إلى أهم الخصائص المناخية والهيدرولوجية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). إن الإشكالية الأساسية المرتبطة بهذه الدراسة هو فهم التوزيع الزمني والمجالي للتساقطات المطرية في علاقتها بوفرة الموارد المائية بالحوض المدروس، من خلال دراسة إحصائية لثلاثة عناصر أساسية متمثلة في: التساقطات المطرية (السنوية، الشهرية، اليومية) ومحاولة التعرف على التغيرات المكانية والزمنية التي تؤثر فيها؛ ثم درجات الحرارة (السنوية، الشهرية، اليومية)، التي تشكل عن طريق، التبخر، كميات المياه المفقودة بالحوض؛ وأخيرا الصبيب بمقاييس زمنية مختلفة انطلاقا من المعطيات الهيدرومترية من أجل تحليل خصائصها.

تتطلب هذه الدراسة عددا من المعطيات وقاعدة البيانات المرتبطة بمجموع مكونات الحصيلة المائية. تتشكل هذه المعطيات المناخية من التساقطات المطرية ودرجات الحرارة والتبخر-النتح، المسجلة على مستوى محطتي أيت تمليل وتمسماط خلال السلسلة الإحصائية (1976-2016)، بالإضافة إلى المحطات المجاورة للحوض. ويضم هذا القسم ثلاثة فصول كالتالي:

الفصل الرابع: تقديم محطات الدراسة داخل وخارج حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، ثم نقد ومعالجة المعطيات المناخية بهذه المحطات، وذلك بهدف معالجة إحصائية لبيانات التساقطات المطرية، وتحديد التباين الزمني والمكاني.

الفصل الخامس: دراسة التغايرية الزمنية لدرجات الحرارة، وإبراز قيمها الأكثر ترددا خلال السلسلة الزمنية المدروسة. ثم استنتاج كميات التبخر-النتح المحتمل من خلال اعتماد صيغ تجريبية ونظرية، من أجل دراسة التغايرية السنوية والشهرية للتبخر النتح، واستنتاج الميزانية المائية بالحوض المدروس.

الفصل السادس: بعد عملية نقد ومعالجة بيانات الصبيب، سيتم العمل على دراسة الخصائص الهيدرولوجية من خلال تحليل إحصائي لصبيب المجرى المدروس على المستوى السنوي والشهري واليومي، انطلاقا من المعطيات الهيدرومترية المتوفرة بمحطتي الدراسة، والتي ستمكننا من دراسة دقيقة لكل الموارد المائية السطحية في الحوض وتغيراتها الزمنية والمجالية، مع تحديد العوامل المؤثرة في الصبيب، خصوصا العامل المناخي الذي له تأثير مهم في طبيعة الاشتغال الهيدرولوجي للحوض.

الفصل الرابع: تحليل تغايرية التساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1976-2016)

مقدمة الفصل الرابع

تعد دراسة التغايرية المناخية احدى اهتمامات الباحثين في الهيدرولوجيا. فالمناخ يتدخل ويؤثر عن طريق عدة عوامل في الجريان السطحي. وتعتبر التساقطات المطرية والحرارة العاملين الأساسيين، المتحكمين في الأحداث الهيدرولوجية.

تتطلب دراسة تغايرية التساقطات المطرية، خلال سلسلة إحصائية، اعتماد مجموعة من المؤشرات (المؤشر القياسي للتساقطات المطرية SPI، معامل التغيير..) وقوانين إحصائية (التعديل الإحصائي حسب قانون Ln (Normale ، وتحديد فترات الرجوع للسنوات الجافة والرطبة، وموسمية التساقطات المطرية، وتردد التساقطات المطرية حسب القيم.... إن الهدف من هذه الدراسة هو تحليل التباين الزمني والمجالي للتساقطات المطرية، واستخلاص الفترات الجافة التي سجلت عجزا مطريا.

سيتم انجاز هذا التحليل الإحصائي انطلاقا من محورين على الشكل التالي:

المحور 7: تقديم محطات القياس داخل وخارج مجال الدراسة، ثم تهييئها وتحضيرها لإجراء عملية نقد المعطيات وملء الفراغات، إن وجدت. ثم اختيار محطات الدراسة التي تمثل فعلا التساقطات المطرية لحوض الدراسة. كما سيتم اعتماد عدة طرق في التوزيع المجالي للتساقطات المطرية على المستوى السنوي والشهري، بهدف تحليل التباينات المجالية لأشكال التساقط.

المحور 8: معالجة إحصائية لمعطيات التساقطات المطرية. ويبقى الهدف من ذلك هو تحديد كمية هذه التساقطات ومدى مساهمتها في تغذية المجرى المائي والفرشة الباطنية، وتحديد التباين الزمني والمكاني لهذه الواردات، وهذا سيساعدنا في فهم جيد للاشتغال الهيدرولوجي للحوض.

يرتكز التحليل الإحصائي خلال هذه الدراسة المناخية على معطيات التساقطات المطرية التي توفرها جميع المحطات داخل وخارج الحوض (15 محطة) لإنجاز توزيع مجالي على المستوى السنوي والشهري. كما سنعتمد على معطيات التساقطات المطرية على المستوى السنوي والشهري واليومي، بمحطتي أيت تمليل وتمسماط على امتداد السلسلة الإحصائية (1976 – 2016) بغرض استخلاص أهم النتائج والخلاصات المتعلقة بالتغايرية الزمنية للتساقطات المطرية.

المحور 7: تقديم المحطات المدروسة ونقد المعطيات بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

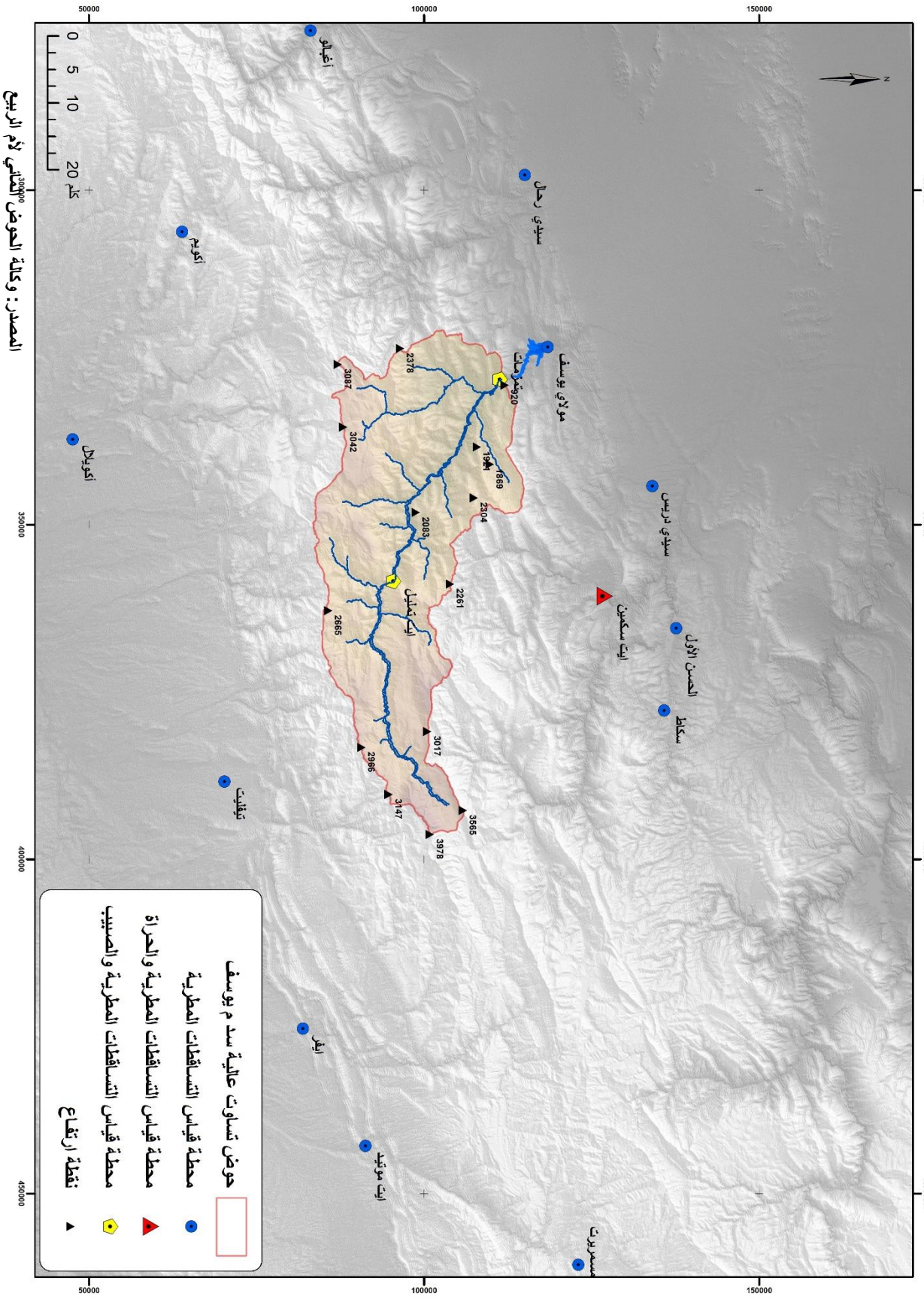
تتطلب كل دراسة مناخية عملية تهييئ وتحضير المعطيات، التي تعتبر المادة الأولية الخام لقاعدة البيانات، التي ترتكز عليها الدراسة في التحليل والإجابة على الإشكالية المطروحة. وقبل القيام بهذه الدراسة لابد من توفر مجموعة من العناصر الأساسية بالمجال المدروس، أهمها المعطيات المناخية (التساقطات المطرية، الحرارة). ويستحسن أن تكون عينة المعطيات تمتد على فترة زمنية طويلة، مع ضرورة الاطلاع عليها والانتباه إلى الأخطاء التي يمكن أن تشوبها عن غير قصد، أو الفراغات التي يمكن أن تتخللها، والتي يمكن أن تكون ناتجة عن عطب تقني أو غياب المسؤول عن القياس أو غيرها من الأسباب.

ترتكز العملية الأولى على تقديم محطات القياس المتواجدة داخل وخارج الحوض، ثم في مرحلة ثانية اختيار تلك التي يمكن أن تمثل الحوض أحسن تمثيل، بالاعتماد على مؤشرات وشروط. أما العملية الثالثة فتتعلق بنقد ومجانسة المعطيات، ثم ملء الفراغات التي تشوب عينة البيانات المعتمدة في الدراسة.

I. تقديم محطات قياس التساقطات المطرية بالمجال

يتوفر مجال الدراسة على 15 محطة للقياس، اثنتان منها توجدان داخل الحوض المدروس، وتتوزع هذه المحطات بشكل متباين مجاليا ومن حيث الارتفاع، كما أن السلاسل الزمنية تتباين في مدة القياس حسب تاريخ إنشاء المحطة. وهذا ما سنحاول تفصيله في هذه المرحلة. يضم الحوض محطتين لقياس التساقطات المطرية، لكن للقيام بالتوزيع المجالي للتساقطات المطرية لابد من اختيار محطات أخرى مجاورة لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، وهذا الاختيار يجب أن يكون مؤطرا بشروط، من أهمها موقع المحطات بالنسبة للحوض، حيث يجب أن يراعى فيه الارتفاع، الذي يلعب دورا أساسيا في التوزيع المجالي للتساقطات المطرية؛ وفي مدة السيرورة التاريخية للمعطيات.

نظرا لشساعة الحوض وامتداده الطولي فقد روعي في اختيار محطات القياس عامل الارتفاع. تقع بعض هذه المحطات في سافلة الحوض حيث الارتفاعات أقل من 1000 متر، ونخص بالذكر محطة تمسماط التي توجد داخل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) وتقع مباشرة قبل سد مولاي يوسف، أما المحطات الأخرى فتوجد خارج الحوض بارتفاعات متقاربة ومعظمها يوجد في السهل كمحطة 'سيدي دريس'، أما بالنسبة للمحطات التي توجد على ارتفاع أكثر من 1000 متر فنجد على رأسها محطة أيت تمليل وسط حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) بارتفاع يصل إلى 1860 متر، ومحطة 'ادماغن' و'ايت سكمين' اللتان تقعان شمال حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) بارتفاع متقارب يبلغ 1125م و1025م على التوالي. وتوضح الخريطة 12 محطات القياس داخل وخارج الحوض المدروس.



خريطة 12: توطين محطات القياس بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

المصدر: وكالة الحوض المائي لأم الربيع

جدول 16: خصائص ومعطيات المحطات المعتمدة في الدراسة

	المحطات	مدة القياس	x	y	z
داخل الحوض	تمسماط	1976 - 2016	328300	111200	920
	أيت تمليل	1976 -2016	357600	93700	1860
خارج الحوض	أغبالو	1970 -2014	276150	83050	1070
	أكويم	1963 - 2014	306250	63890	1647
	أكويلال	1976 - 2014	337275	47590	1220
	ايت سكمين	1971 - 2014	361400	128000	1025
	سد الحسن 1	1976 - 2014	365500	137300	825
	إيفر	1963 - 2014	425300	82200	1498
	سد مولاي يوسف	1969 - 2014	323300	118500	880
	موتيد	1976 - 2014	442900	91290	1545
	سكات	1959 - 2014	377800	136100	1150
	سيدي دريس	1967 - 2014	338950	192600	320
	سيدي رحال	1968- 2014	303100	117800	690
	تيفليت	1968 - 2014	388500	70100	------
	مسمرير	1970 – 2014	460750	123100	1942

(المصدر: ABHOR)

أما بالنسبة للسيرورة الزمنية؛ فستشمل الدراسة الإحصائية المعطيات المناخية والهيدرولوجية طول مدة اشتغال كل محطة، وسيتم التركيز على الفترة الزمنية التي تتقاطع فيها جميع المحطات. وتجدر الإشارة إلى أن هذه المحطات تُدار من طرف وكالة الحوض المائي لأم الربيع.

II. نقد ومعالجة معطيات التساقطات المطرية والسياق المناخي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

تتمثل عملية نقد ومعالجة في التحقق من تماسك وترابط البيانات فيما بينها، ثم إعادة بناء المعطيات الناقصة. وقد أكد عدد من الباحثين، قبل الشروع بمعالجة قاعدة البيانات والتحليل الإحصائي، على وجوب القيام بنقد أولي للمعطيات الخام المسجلة من طرف ملاحظ أو آلات القياس (Castellani, 1986). وسنعتمد في نقد ومعالجة المعطيات على عدد من الأدوات الإحصائية، من أهمها طريقة الترابط الخطي بين المحطات، طريقة التراكم المزدوج، طريقة المتجهة الإقليمية (VR)، طريقة CUSUM. ويتجلى الهدف من هذه المرحلة ضبط السلسلة الإحصائية لمحطات الدراسة، والارتكاز على شبكة معطيات موثوقة ومضبوطة.

1. ملء الفراغات بمحطات الدراسة.

1.1 ملء الفراغات على المستوى الشهري بالاعتماد على طريقة الترابط الخطي

لجأنا في هذه المرحلة إلى معالجة البيانات، نظرا لعدم الانتظام في وظيفة محطات القياس. تحتوي سلسلة القياس على مجموعة من الفراغات، ومن بين العوامل المسؤولة عن هذا الإشكال:

- عدم تعويض المراقب أثناء فترات العطل، خصوصا خلال العطلة السنوية والتي توافق فترة الصيف.
- التأخر في تعويض آلات القياس التي تعرضت لعطب، وهذا راجع إلى بعد محطات القياس وصعوبة الولوج إليها نظرا لوعورة المسالك الجبلية وخصوصا في فترات التساقطات المطرية أو الثلجية.
- ضياع بعض الوثائق التي تحتوي على البيانات في الأرشيف.

تم الاعتماد، في عملية ملء الفراغات، على طريقة الارتباط الخطي Méthode de (Dubreuil,1974) Corrélation، والتي تعتمد على تقدير القيمة المقيسة للسلسلة الناقصة انطلاقا من السلسلة المتجانسة للمحطة المرجعية وسنعتمد، في هذه الطريقة، على الربط بين محطتين متقاربتين مجاليا ومن حيث الارتفاع كما يجب الأخذ

بعين الاعتبار كل السلسلة الإحصائية، وقد حددنا 70% كأدنى قيمة لكي تكون النتائج مرضية. والهدف من هذه العملية هو تحقيق توزيع مجالي وزمني أكثر تجانسا. ولتطبيق هذه الطريقة يجب أن تشكل معطيات المحطتين معادلة خطية؛ مع تحقيق معامل ارتباط قوي يفوق 70 %. كما أن المتغيرات تخضع لقانون غوص «Gauss» من حيث التوزيع الإحصائي. يتم تقدير القيمة المقيسة عن طريق معادلة خطية على الشكل التالي: y=ax+b؛ حيث x: معدل السنة المقيسة؛ Y: معدل السنة الناقصة؛ a وb: ثابتتان

على مستوى النتائج، حصلنا على قيم جيدة للارتباط الخطي. حيث تم إنجاز 27 عملية ارتباط، غير أن 7 عمليات تقل عن 70%، والتي توافق فترات الصيف حيث العواصف الرعدية ذات التوزيع المجالي المتباين، مما يؤثر على تجانس السلسلة الإحصائية خلال شهور الصيف، غير أننا عمدنا على استكمالها بطريقة معدلات التساقطات المطرية للمحطات المجاورة وهذه الطريقة فعالة أيضا لأن التساقطات المطرية غير منتظمة من محطة لأخرى ونسبة الاختلاف 10% هي نسبة مقبولة، على خلاف الأشهر التي تُبرز معامل ارتباط جيد، وبالتالي الاعتماد على الانحدار الخطي لإكمال النقائص.

جدول 17: نموذج للترابط الشهري بين محطات قياس التساقطات المطرية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

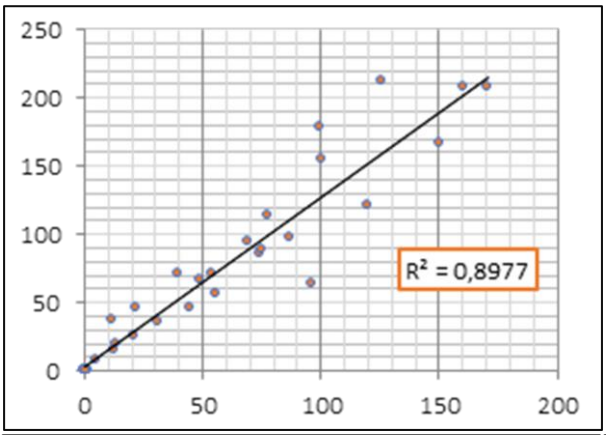
المحطات	الفترات الناقصة		محطة الترابط	R^2
	السنة	الشهر		
تمسماط	1988-1987	يناير	مولاي يوسف	0,91
تمسماط	1987	فبراير	مولاي يوسف	0,90
تمسماط	1987	مارس	مولاي يوسف	0,85
تمسماط	1987	أبريل	مولاي يوسف	0,87
تمسماط	1987	ماي	'مولاي يوسف'	0,76
تمسماط	2004-1987	يونيو	'سيدي رحال'	0,67
تمسماط	2004-1987	يوليوز	مولاي يوسف	0,66
تمسماط	2004-1987	غشت	مولاي يوسف	0,51
تمسماط	1987	شتنبر	مولاي يوسف	0,80
تمسماط	1986-1987	أكتوبر	مولاي يوسف	0,69
تمسماط	1986-1987	نونبر	مولاي يوسف	0,79
تمسماط	1986-1987	دجنبر	مولاي يوسف	0,80
'سيدي دريس'	2008	فبراير	تمسماط	0,82
'سيدي رحال'	2005	غشت	'سيدي دريس'	0,91
'سيدي رحال'	2009	مارس	'سيدي دريس'	0,61

طبقنا نفس العملية لملء باقي الفراغات، خارج مدة التقاطع بين المحطات، وقد أخذنا السيرورة الزمنية كاملة منذ اشتغالها لكل محطة، وبهذا نكون قد قمنا بملء جميع الفراغات على مستوى المحطات المدروسة، حتى تكون عملية تحليل المعطيات علمية محضة، لا تشوبها أي نواقص. نقدم في الجدول 17 بعض النماذج لعملية الترابط الخطي بين بعض المحطات الموجودة بمجال الدراسة والتي كانت نتائجها مرضية.

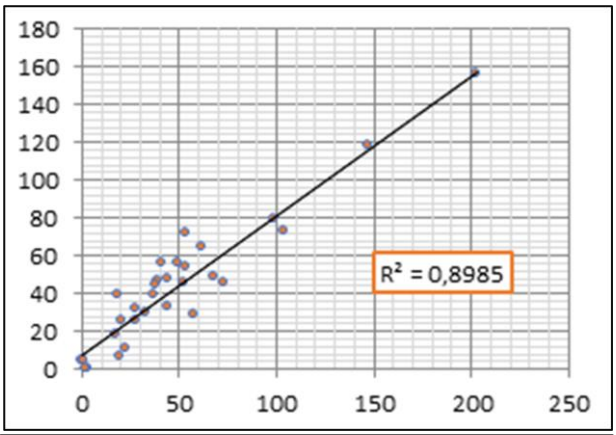
1.2 ملء الفراغات بالاعتماد على الترابط السنوي داخل نفس المحطة

تعطي عملية الترابط الخطي خلال فترة الصيف، حيث قيم التساقطات المطرية ضعيفة والعواصف الرعدية متفرقة داخل نفس المجال، نتائج غير مرضية، وذلك ما وضحته المرحلة السابقة من خلال القيام بالترابط الشهري بين محطات قياس التساقطات المطرية، لذلك وجب البحث عن طريقة أخرى. وقد وقع الاختيار على طريقة الترابط بين المعطيات داخل نفس المحطة ونفس الشهر. هذه الطريقة تعتمد على المعدل السنوي للسلسلة الإحصائية لنفس الشهر، خلال السلسلة الإحصائية. ومن ضمن المحطات المتواجدة ضمن مجال الدراسة هناك محطة واحدة سنطبق عليها هذه الطريقة من أجل ملء الفراغات أثناء فترة الصيف هي محطة 'تمسماط خلال السلسلة التاريخية (1976-2016)، والجدول التالي يبين الثغرات التي صادفناها في هذه الفترة بين المحطتين.

مبيان 14: عملية التربط الخطي لبعض المحطات المدروسة (1984-2014)



الارتباط الخطي لمحطتي 'تمسماط' و'مولاي يوسف' لشهر أبريل (1984-2014)

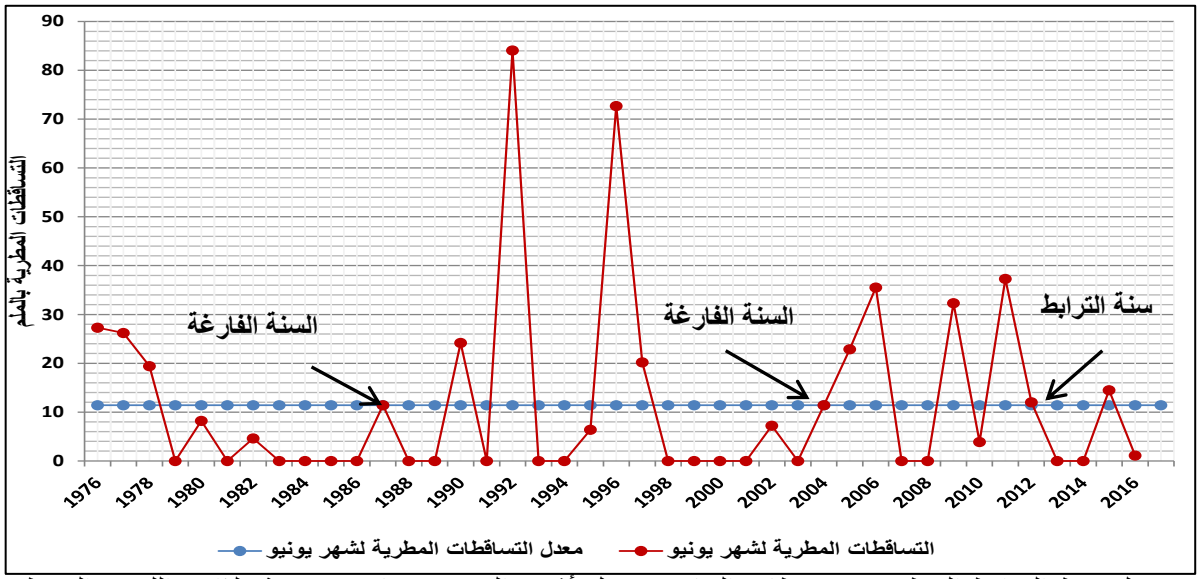


الارتباط الخطي لمحطتي 'تمسماط' و'سيدي رحال' لشهر مارس (1984-2014)

جدول 18 : الترابط بالمعدل السنوي لمحطة تمسماط (1976-2016)

المحطة	الفترة الناقصة		محطة الترابط	السنة
	السنة	الشهر		
تمسماط	1987	يونيو	نفس المحطة	2012
		يوليوز	نفس المحطة	2013
		غشت	نفس المحطة	1989
	2004	يونيو	نفس المحطة	2012
		يوليوز	نفس المحطة	2013
		غشت	نفس المحطة	1989

مبيان 15: الترابط بالمعدل السنوي لمحطة 'تمسماط' يونيو (1976 – 2016)



لم يعط الترابط الخطي بين محطات القياس، خلال أشهر الصيف، نتائج مرضية؛ لذا تم اللجوء إلى طريقة الترابط السنوي داخل نفس المحطة، وقد أعطت نتائج جيدة بالنسبة لأشهر الصيف التي تتميز بالعواصف الرعدية. وقد مكنتنا هذه الطريقة من استكمال ملء الفراغات المتبقية ضمن المعطيات التي توفرها محطات الدراسة.

2. مجانسة المعطيات: طريقة التراكم المزدوج

التراكم المزدوج Double Cumul هي طريقة فعالة وأكثر استعمالا في البحوث العلمية، وتتطلب هذه العملية التوفر على سلسلة إحصائية سنوية متجانسة لمحطة مرجعية أو ما يسمى المحطة الشاهد. ترتكز هذه الطريقة على مبدأ غياب الخلل، بين محطتين "أ" و"ب" متجاورتين مجاليا، يتم تمثيل كمية التساقطات المطرية حسب نسبة مشتركة ثابتة من سنة لأخرى كيفما كانت السنة رطبة أو جافة، وبذلك تُمثَّل النتيجة حسب مبيان التراكم المزدوج بطريقة خطية (Hiez, 1977) .

وفي حالة وجود خطأ أو خلل في سلسلة المحطة المدروسة، فسيظهر ذلك على شكل انكسار cassure، عند التمثيل المبياني، أو عدة انكسارات انطلاقا من سنة وجود الخلل، ويؤدي ذلك إلى تغير الانحدار. ويمكن تصحيح هذا الخلل عبر مجانسته مع المعطيات الموثوق بها، بتمديد انحدار المقطع غير الموثوق به حسب العلاقة التالية:

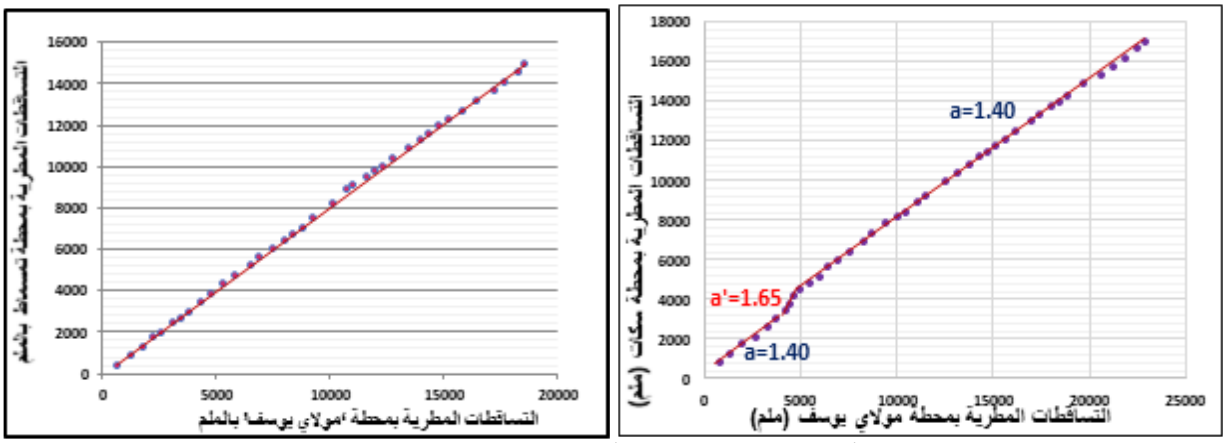
$P_{corrigé} = a/a' * P_{observé}$

a: انحدار مقطع الرسم البياني الموثوق به؛

a': انحدار مقطع الرسم البياني غير الموثوق به.

بعد تشخيص نتائج الاختبار التي قمنا بإنجازها على مستوى محطة مولاي يوسف كمحطة مرجعية، معتمدين على طريقة التراكم المزدوج بين مختلف محطات قياس التساقطات المطرية، حصلنا على النتائج التالية:

مبيان 16: مجانسة المعطيات باستعمال طريقة التراكم المزدوج للتساقطات المطرية السنوية (1976- 2016)



يؤكد غياب انكسار واضح أو تغير في الانحدار أن محطة تمسماط متجانسة من حيث المعطيات المتعلقة بالتساقطات المطرية، ولا يشوبها أي خلل، وهذا يدل على أن عملية ملء الفراغات كانت جيدة. غير أن محطة سكات تميزت معطياتها بانكسار واضح سنة 1981. وبتطبيق علاقة التراكم المزدوج على السنوات التي شملها تغير الانحدار ويتعلق الأمر بثلاث سنوات متتالية (1981 – 1982 –1983) سيتم تصحيح هذا الخلل من خلال مجانسته مع المعطيات الموثوق بها، بتمديد انحدار المقطع غير الموثوق به.

3. تحديد مجالات التساقطات المطرية المتجانسة: طريقة المتجهة الإقليمية

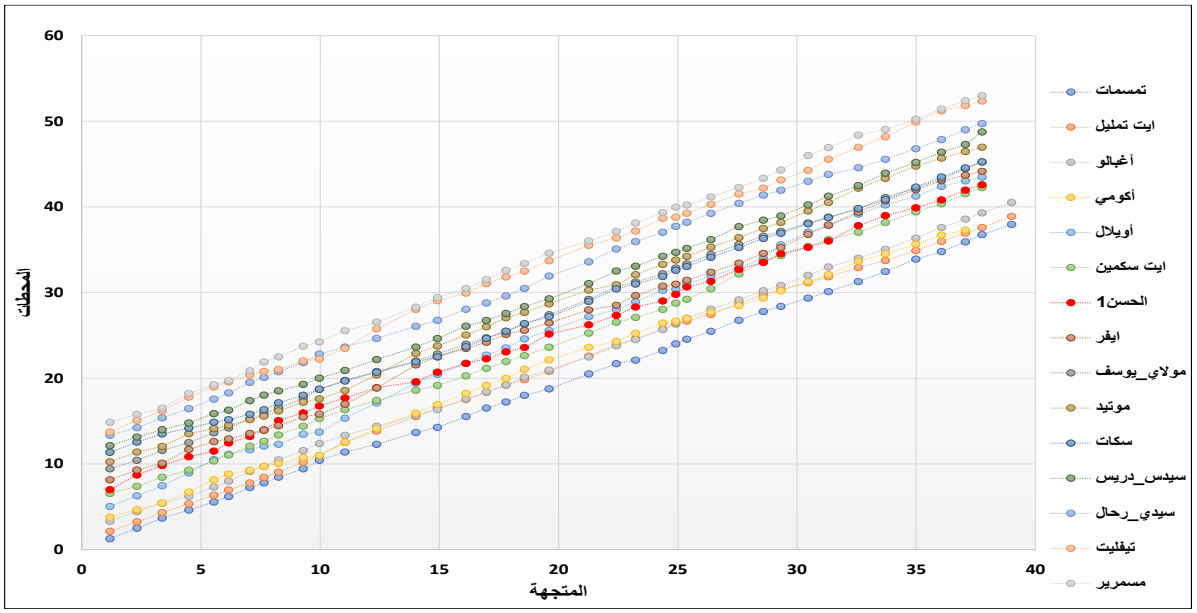
يمكن تعريف المتجهة الإقليمية Vecteur Régional ، باعتبارها "سلسلة زمنية من مؤشرات التساقطات المطرية أو الهيدرومترية السنوية أو الشهرية، مشتقة من استخلاص المعلومات التي يحتمل أن تكون مضمنة في مجموعة من مواقع القياس، مجمعة بحسب مناطق متجانسة" (Hiez et Cochonneau, 1992). تم تطوير هذه التقنية من طرف المعهد الفرنسي للبحث العلمي للتنمية (Hiez, 1977) (Hiez et Rancan, 1983). ترتكز هذه الطريقة على مبدأ شبه التناسب لمجموع التساقطات المطرية بين المحطات المتجاورة، حيث تسمح مجموع بياناتها بإنجاز متجهة ممثلة للمنطقة المشمولة. يستند هذا التوضيح إلى مبدأ الاحتمال الأقصى Maximum de vraisemblanceالذي يبدأ من افتراض أن المعلومات الأكثر احتمالاً هي تلك التي تتردد بشكل متكرر. الهدف هنا هو إجراء تحليل نقدي لضمان اتساق البيانات على المستوى الإقليمي.

تعتبر دراسة التباينات الزمنية والمكانية للتساقطات المطرية ضرورية لغالبية الدراسات في مجال الهيدرولوجيا. ومع ذلك، تتطلب هذه الطريقة مجموعة شاملة من الملاحظات وشبكة من القياسات الموثوقة والموزعة بشكل جيد داخل منطقة الدراسة.

تنطلق طريقة المتجهة الإقليمية من فكرتين أساسيتين وهما توطين قاعدة البيانات المتراكمة لسلسة ممتدة في الزمن، والبحث عن النزعة المناخية للمنطقة. تتيح هذه الأفكار تصحيح قياسات التساقطات المطرية في حالات معينة، والتي تحتوي على أخطاء أو تغييرات مهمة. وتُعتبر "القياسات" في علم المناخ، بمثابة قيم نقطية قريبة من المتوسط الإقليمي، مقدرة من خلال شبكة من المحطات الخاضعة للتغييرات الزمنية.

تسمح طريقة المتجهة الإقليمية بنقد المعطيات من جهة، وبتركيبها من جهة أخرى. ويتم إنجاز هذه الطريقة باعتماد برنامج Hydraccess انطلاقا من معطيات التساقطات المطرية الشهرية ل 15 محطة خلال السلسلة الإحصائية (1976 – 2016).

مبيان 17: القيم المتراكمة للمؤشر السنوي للمتجهة الإقليمية لمحطات قياس التساقطات المطرية لحوض تساوت عالية سد مولاي يوسف (1976-2016)



تقوم الطريقة الأولى التي طورها (Brunet-Moret, 1979) على حساب المعدل الممتد للمحطة ومؤشر المتجهة الإقليمية باعتماد طريقة المربعات الصغرى Moindres carrés، وذلك للحد من التناقضات بين مؤشرات المحطات والمتجهة الإقليمية. وتعتبر الطريقة أن المؤشر الإقليمي لسنة واحدة هو معدل مؤشرات جميع المحطات، وبالتالي، فإنها تحترز خلال عملية تصفية مؤشرات المحطات التي تنحرف أكثر من المعدل. وتتم عملية تصفية القيم بطريقة تكرارية. أما الطريقة الثانية ل (Hiez, 1977) فهي التي تحدد المعدل الممتد ومؤشر المتجهة الإقليمية بهدف الحصول على الحد الأقصى من المحطات والسنوات المتوافقة مع المتجهة الإقليمية. ويرى أن المؤشر الإقليمي لسنة واحدة هو المؤشر الذي لوحظ في معظم الأحيان على محطات مختلفة، ولهذا السبب، ليس من الضروري تصفية المؤشرات البعيدة عن المعدل، لأن ليس لها تأثير كبير على حساب المنوال.

وقد اعتمدنا في حساب المتجهة الإقليمية لمنطقة الدراسة على الطريقة الأولى ل (Brunet-Moret, 1979)، حيث أوضحت النتائج المبينة في المبيان 17 أن القيم المتراكمة للمؤشر السنوي للمتجهة الإقليمية لمحطات قياس التساقطات المطرية متجانسة جميعها، باستثناء محطة 'الحسن الأول'، التي تعرف انكسارات لمعطياتها على طول المنحنى مما يبين عدم التجانس في قيم التساقطات المطرية المقيسة على مستوى هذه المحطة.

جدول 19: معامل الترابط المحصل عليه باعتماد طريقة المتجهة الإقليمية.

محطات القياس	ترابط المتجهة الإقليمية	جودة المعطيات(/10)
تمسماط	0,812	7,1
أيت تمليل	0,896	8,9
أغبالو	0,839	8,6
أكويم	0,765	6,1
أكويلال	0,779	5,6
ايت سكمين	0,722	7,5
الحسن1	**0,297**	**2,9**
ايفر	0,83	5,4
مولاي_يوسف	0,788	7,9
موتيد	0,837	6,7
سكات	0,791	7,1
سيدي_دريس	0,784	7,1
سيدي_رحال	0,766	7,7
تيفليت	0,837	4,8
مسمرير	0,711	5,6

يتضح أن معطيات محطة الحسن الأول غير متجانسة مع معطيات باقي محطات الدراسة الأخرى، وحسب نتائج معامل المتجهة الذي تم الحصول عليه، سيتم إقصاء هذه المحطة التي عرفت معامل ارتباط ضعيف جدا. كما سجلت محطة 'تيفليت' جودة ضعيفة بلغت 4,8، رغم أن هذه المحطة سجلت معامل ترابط جيد للمتجهة الإقليمية، ورغم أنها لا تتضمن فراغات على مستوى السلسلة الإحصائية. بالنسبة لباقي محطات القياس، والبالغ عددها 14، فقد عرف معامل الترابط قيما جيدة للمتجهة الإقليمية، تراوح ما بين 71% و 89%، مما يدل على موثوقية المعطيات المقيسة بها. وبالتالي فنتائج تطبيق طريقة المتجهة الإقليمية متطابقة مع تلك التي حصلنا عليها اعتمادا على طريقة التراكم المزدوج.

تكمن الصعوبة في تطبيق هذه الطريقة في معرفة ما إذا كانت هذه القيمة الضعيفة لمعامل الارتباط ناتجة عن عدم الانتماء إلى نفس المنطقة المناخية أو أن ذلك ناتج عن وجود سلسلة غير متجانسة، إلا أن نتائجها مضبوطة لأنها تستند على إنجاز متجهة ممثلة للمنطقة المناخية اعتمادا على بيانات التساقطات المطرية لعدد كبير من المحطات في آن واحد، بما فيها تلك التي تتميز بفترة زمنية قصيرة (5 أو 6 سنوات) وكذلك السلاسل المتقطعة التي تتضمن عدة سنوات من الفراغات.

4. معايير اختيار محطات قياس التساقطات المطرية

تم الحصول على المعطيات الخاصة بالتساقطات المطرية من وكالة الحوض المائي أم الربيع (ABHOER). وتختلف هذه المعطيات، كما سبق الإشارة إلى ذلك، في جودتها ومدة القياس. وهذا يتطلب اختيار محطات الدراسة ارتكازا على ثلاثة معايير: الموقع حسب الارتفاع وبالنسبة للحوض، السياق المناخي ثم مدة السلسلة الإحصائية لمحطات القياس.

4.1 موقع محطات قياس التساقطات المطرية حسب الارتفاع

يتميز المجال بوجود مجموعة من محطات قياس التساقطات المطرية داخل وخارج حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، وهي تقع على ارتفاعات مختلفة، لذا سيكون من الصعب اختيار المحطة الأكثر تمثيلا للحوض المدروس. لهذا سنعمل في هذه المرحلة على اختيار المحطات المناسبة للدراسة اعتمادا على عامل الارتفاع، لأنه

يلعب دورا مهما في التساقطات المطرية، وسيتم هذا التحليل وفق طريقة تعتمد على تصنيف جميع المحطات القريبة من الحوض حسب الفئات الارتفاعية، وعند تطبيق هذه طريقة حصلنا على النتيجة التالية:

يمثل الجدول 20 فئتين من محطات قياس التساقطات المطرية، الفئة الأولى أقل من 1200 م وتضم 7 محطات، والفئة الثانية المحطات التي يفوق ارتفاعها 1200 م وتضم 6 محطات.

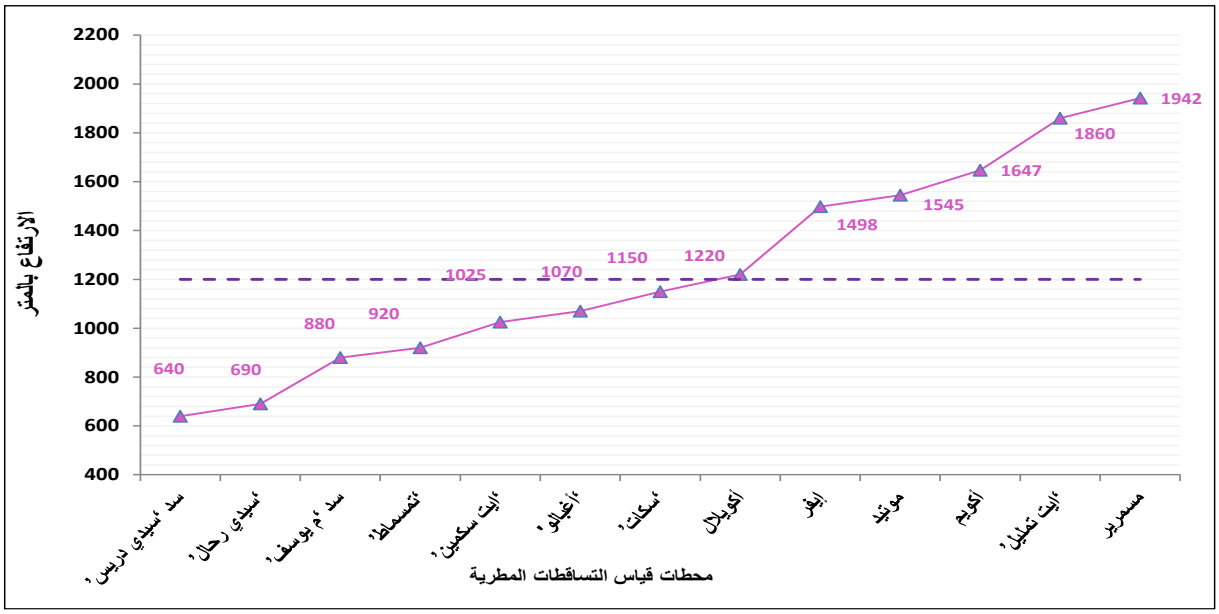
جدول 20: تصنيف محطات قياس التساقطات المطرية حسب الارتفاع

	المحطات	X	Y	Z	معدل التساقطات المطرية	مدة القياس
الفئة الأقل من 1200 م	سد 'سيدي دريس'	340800	140600	640	346	1967 -2014
	'أغبالو'	276150	83050	1070	512	1970- 2014
	سد مولاي يوسف	323300	118500	880	425	1969-2014
	تمسماط	328300	111200	920	508	1977- 2016
	'ايت سكمين'	361400	128000	1025	513	1971-2014
	'سكات'	377800	136100	1150	562	1959- 2014
	'سيدي رحال'	303100	117800	690	333	1968-2014
الفئة الأكثر من 1200 م	أيت تمليل	357600	93700	1860	456	1974-2016
	أكويم	306250	63890	1647	260	1963-2014
	أكويلال	337275	47590	1220	131	1974-2014
	إيفر	425300	82200	1498	175	1964- 2014
	موتيد	442900	91290	1545	166	1965-2014
	مسمرير	460750	123100	1942	225	1970-2014

يلعب الارتفاع دورا مهما في التساقطات المطرية، لهذا تم تحديد موقع محطات القياس حسب الارتفاع، والتي من خلالها سنعمل على اختيار المحطات التي تقع بالفئات الارتفاعية المهيمنة بالحوض (مبيان 18):

تتوزع محطات قياس التساقطات المطرية بشكل متقارب، تمثل محطة 'سيدي إدريس' أدنى ارتفاع ب 840 مترا، ومحطة مسمرير أعلى ارتفاع ب 1942 مترا. وكما سبقت الإشارة فإن الارتفاع بالحوض المدروس يتراوح بين 920 متر كأدنى ارتفاع و3978 متر كأعلى ارتفاع. وحسب مبيان 18 الذي يمثل الفئات الارتفاعية بالحوض (الفصل الأول)، فإن محطات أيت تمليل و 'أكويم' و 'مسمرير' تقع بالفئة الارتفاعية [1600-2000]. ومحطتا ايفر وموتيد تقعان ضمن الفئة الارتفاعية [1200-1600]. وتقع محطة 'سكاط' و'أغبالو' و'ايت سكمين' وتمسماط ضمن الفئة الارتفاعية [920-1200] أي أن هذه المحطات تتميز بارتفاع متقارب، أما باقي المحطات (مولاي يوسف و'سيدي رحال' وسد 'سيدي دريس') فتقع خارج الفئات الارتفاعية بالحوض المدروس لذلك فلا يمكن الاعتماد عليها في الدراسة الإحصائية. على العموم، فتحليل معطيات التساقطات المطرية السنوية بالمحطات المدروسة تتأثر بعامل الارتفاع الذي يلعب دورا مهما في تحديد المحطات الأكثر تمثيلا للحوض المدروس.

مبيان 18: توزيع محطات قياس التساقطات المطرية حسب الارتفاع



تقع أغلب المحطات المقترحة للدراسة بالفئة الإرتفاعية [920-1200]، وسيتم اختيار محطة واحدة من بينها لتمثل التساقطات المطرية بسافلة الحوض، أما الفئة الثانية فتضم ثلاث محطات.

الفئة الأولى تضم أربع محطات، تقع ضمن الفئة الارتفاعية [920-1200] وبما أن هذه المحطات تتميز بارتفاع متقارب وتقع ضمن نفس الفئة الارتفاعية فإن الاختيار سيقع على المحطة التي توجد ضمن حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) ويتعلق الأمر بمحطة تمسماط.

جدول 21: توزيع محطات قياس التساقطات المطرية حسب الفئات الارتفاعية

	محطات القياس	الفئة الارتفاعية (م)	موقع المحطة حسب الحوض	الارتفاع (م)
الفئة الأولى	'سكاط'	[920-1200]	خارج الحوض	1150
	'ادماغن'	[920-1200]	خارج الحوض	1125
	'ايت سكمين'	[920-1200]	خارج الحوض	1025
	تمسماط	[920-1200]	داخل الحوض	920
الفئة الثانية	ايفر	[1200-1600]	خارج الحوض	1498
	موتيد	[1200-1600]	خارج الحوض	1545
	أيت تمليل	[1600-2000]	داخل الحوض	1860
	أكويم	[1600-2000]	خارج الحوض	1647
	مسمرير	[1600-2000]	خارج الحوض	1942

أما الفئة الثانية التي تضم خمس محطات فتقع بالفئة الارتفاعية [1600-2000] و [1200-1600]، إلا أن محطات أكويم ومسمرير وايفر وموتيد، بالإضافة إلى أنها خارج الحوض، فإنها تقع بالجهة الجنوبية للأطلس الكبير الأوسط، وبالتالي لا تمثل فعلا الحوض المدروس. لذا، سيقع الاختيار على محطة أيت تمليل التي تقع داخل الحوض.

بعد مقارنة المعطيات وتحليلها، اعتمادا على معيار الارتفاع، وقع الاختيار على محطتين لقياس التساقطات المطرية وهما: محطة تمسماط التي توجد بالفئة الأولى على ارتفاع 920 م والتي تمثل التساقطات المطرية بالحوض الفرعي لواد تمسماط، ومحطة أيت تمليل والتي توجد بالفئة الثانية على ارتفاع 1860 م والتي تمثل التساقطات المطرية بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل.

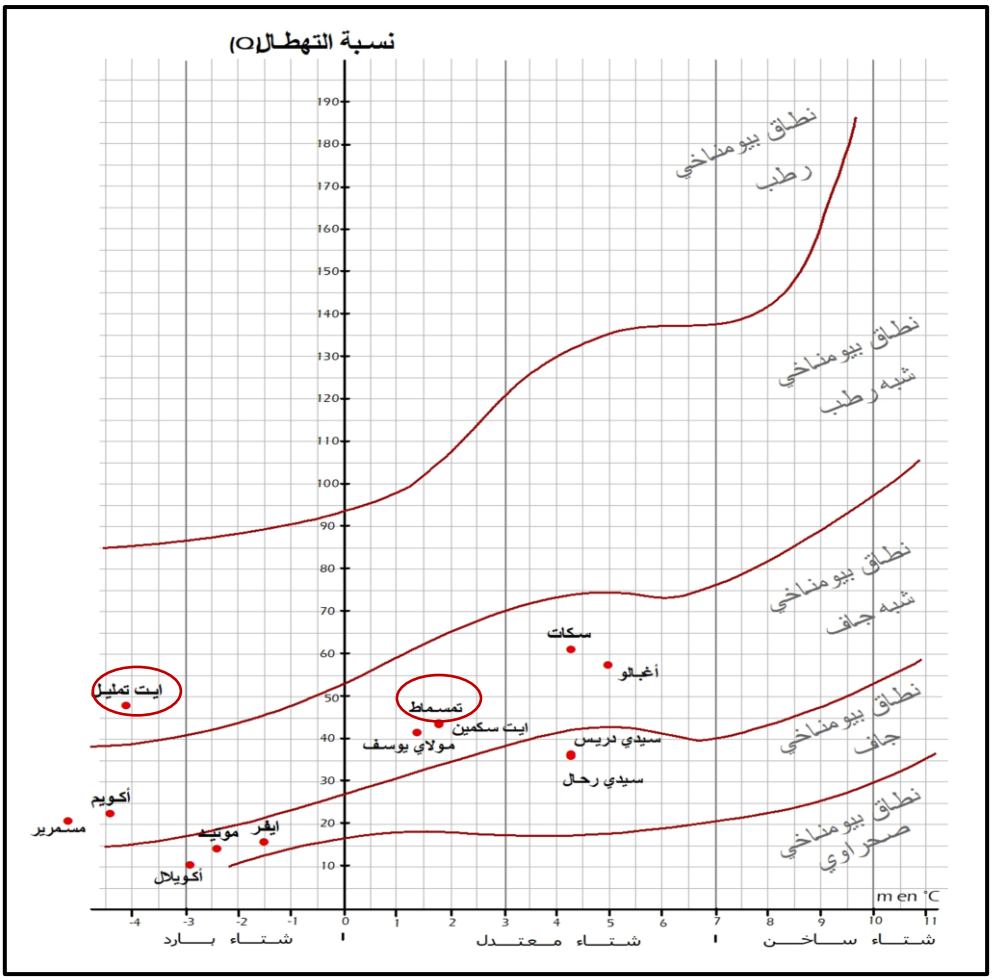
4.2 السياق المناخي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

يعتبر تحديد السياق المناخي ذا أهمية بالغة في معرفة التصنيف المناخي للمحطات المدروسة ووضعها في سياقها الطبيعي قبل الخوض في تحليل ومعالجة البيانات المناخية. ونظرا لقلة المعطيات المتعلقة بالحرارة في المحطات داخل الحوض، سنعتمد في دراسة التصنيف المناخي، لمحطات الدراسة التي تتوفر على معطيات التساقطات المطرية، على معطيات درجات الحرارة التي توفرها محطات 'ايت سكمين' وسد 'سيدي دريس' ومولاي يوسف ومسمريرت، التي توجد على ارتفاعات مختلفة. كما أننا سنعتمد على تصنيف أمبرجي (Emberger,1930) في تحديد السياق المناخي لحوض الدراسة.

تصنيف امبرجي (Emberger, 1930)

يأخذ هذا التصنيف بعين الاعتبار ثلاثة متغيرات أساسية وهي درجات الحرارة القصوى للأشهر الأكثر حرارة، ودرجات الحرارة الدنيا للأشهر الأكثر برودة ثم التساقطات المطرية السنوية، وباستعمال قيمة الحاصل المطر حراري Q وقيمة معدل درجات الحرارة الدنيا للشهر الأكثر برودة m تمكن (Emberger,1930) من إنجاز الأخطوط المناخي، حسب القيمة Q يمكن التمييز بين خمس مجالات مناخية: رطب، شبه رطب، نصف قاحل، قاحل وصحراوي. وحسب القيمة m، يقسم كل مجال إلى أربع مناطق حسب قساوة الشتاء.

مبيان 19: تصنيف مجال الدراسة حسب أخطوط أمبرجي (Emberger,1930)



ويمكن حساب الحاصل مطر-حراري باستعمال الصيغة التالية:

$$Q = \frac{1000P}{(M+m)/2(M-m)} = \frac{2000P}{M^2 - m^2} \qquad 4.1$$

Q: الحاصل مطر حراري

P: المعدل السنوي للتساقطات بـ ملم

m: معدل درجات الحرارة الدنيا للشهر الأكثر برودة بـ Kelvin

M: معدل درجات الحرارة القصوى للشهر الأكثر حرارة بـ Kelvin

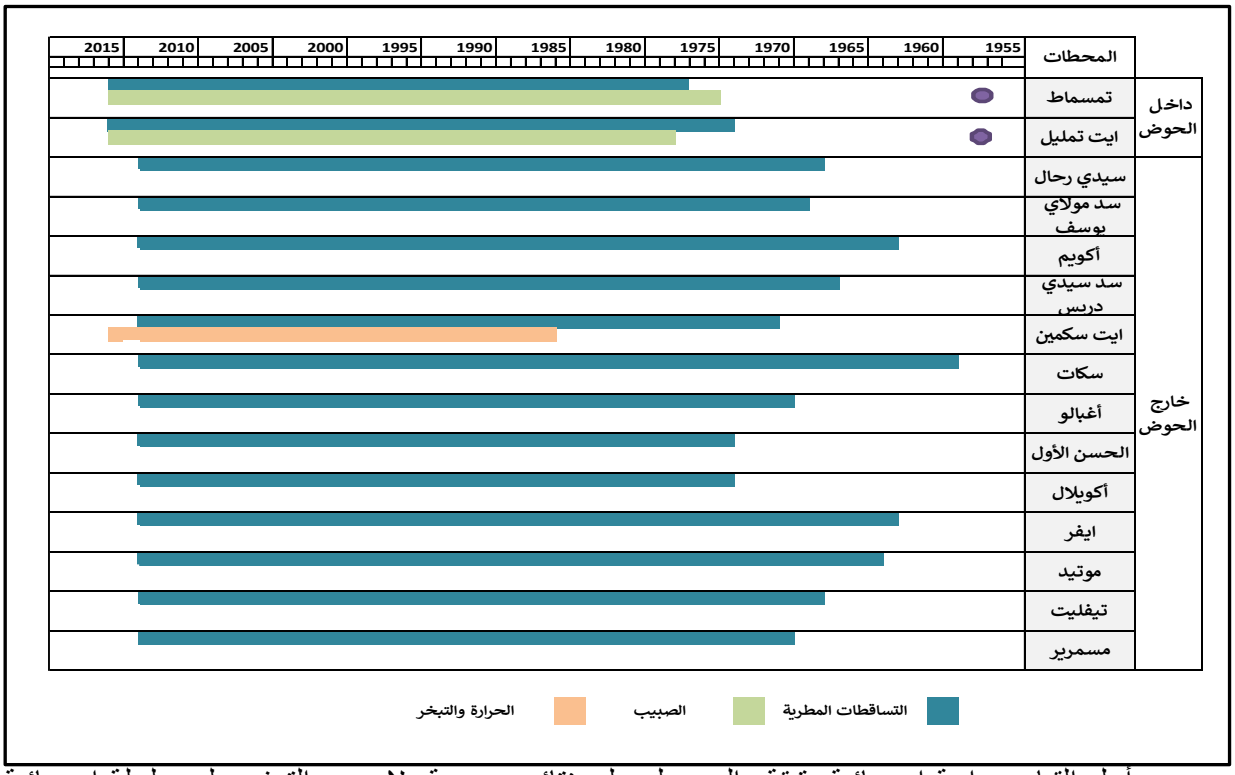
تنتمي محطات القياس، داخل وخارج الحوض، إلى نطاقات بيومناخية مختلفة. أغلب المحطات تقع ضمن النطاق شبه الجاف ذي الشتاء المعتدل أو البارد، بما في ذلك محطة تمسماط المتواجدة داخل حوض الدراسة وأخرى لها نفس المميزات المناخية توجد خراج الحوض. تنتمي محطة أيت تمليل إلى النطاق البيومناخي شبه الرطب ذي الشتاء البارد، وهذا راجع لكونها تقع بعالية الحوض على ارتفاع أكثر من 1800 متر.

اعتمادا على معيار السياق المناخي لمحطات الدراسة، وقع الاختيار على محطتي أيت تمليل وتمسماط اللتان توجدان داخل حوض الدراسة، لانتمائهما إلى نطاقين بيومناخيين مختلفين مما سيتيح لنا إمكانية مقارنة النتائج على مستوى الدراسة المناخية.

4.3 السلسلة الإحصائية لمحطات الدراسة

هناك علاقة ترابط بين التساقطات المطرية والصبيب والحرارة، لهذا وجب اختيار سيرورة زمنية تكون متجانسة بالنسبة لجميع المحطات، وفي نفس الوقت لجميع المعطيات المتوفرة لدينا. من بين المحطات المدروسة نتوفر على محطتين لقياس الصبيب تقعان على المجرى الرئيسي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، ويتعلق الأمر بمحطتي أيت تمليل وتمسماط. أما بالنسبة للحرارة فسنكتفي بمحطة خارج الحوض وهي محطة 'ايت سكمين'. يوضح المبيان 20 السيرورة التاريخية لكل المحطات المعتمدة في هذا البحث:

مبيان 20: السيرورة التاريخية للمحطات المعتمدة في الدراسة



من أجل القيام بدراسة إحصائية دقيقة والحصول على نتائج مرضية، لابد من التوفر على سلسلة إحصائية متجانسة ومدة زمنية كافية، وهذا ما سنحاول تحديده عبر تنظيم المعطيات حسب الهدف المنشود من تحليل المعطيات:

- **التوزيع المجالي للتساقطات المطرية:** يتطلب إنجاز التوزيع المجالي للتساقطات المطرية السنوية بالنسبة للحوض المدروس الاعتماد على جميع المحطات المتوفرة لدينا، غير أنه سنقتصر على المدة الزمنية التي تتقاطع بين جميع المحطات وهي (1976-2014).
- **الدراسة المناخية:** ليس من السهل الحصول على سجل طويل لقاعدة البيانات المشتركة بين جميع محطات الدراسة، من أجل دراسة التساقطات المطرية السنوية والشهرية واليومية. لهذا سيتم اختيار فترة التقاطع بين السلسلة الإحصائية لمحطتي أيت تمليل وتمسماط اللتان توجدان داخل الحوض، والتي تمتد من (1976-2016).
- **الحرارة:** سيتم الاعتماد فقط على محطة واحدة لدراسة الحرارة، والتي توجد خارج الحوض المدروس وهي محطة 'ايت سكمين'، والتي توافق السيرورة الزمنية الممتدة بين (1985- 2014).
- **الدراسة الإحصائية للصبيب:** سنختار في دراسة الصبيب في علاقته بالتساقطات المطرية الفترة المشتركة بين المعطيات الهيدرو-مناخية لمحطات الدراسة والتي تمتد على طول السلسة الإحصائية (1978-2016).

خلاصة

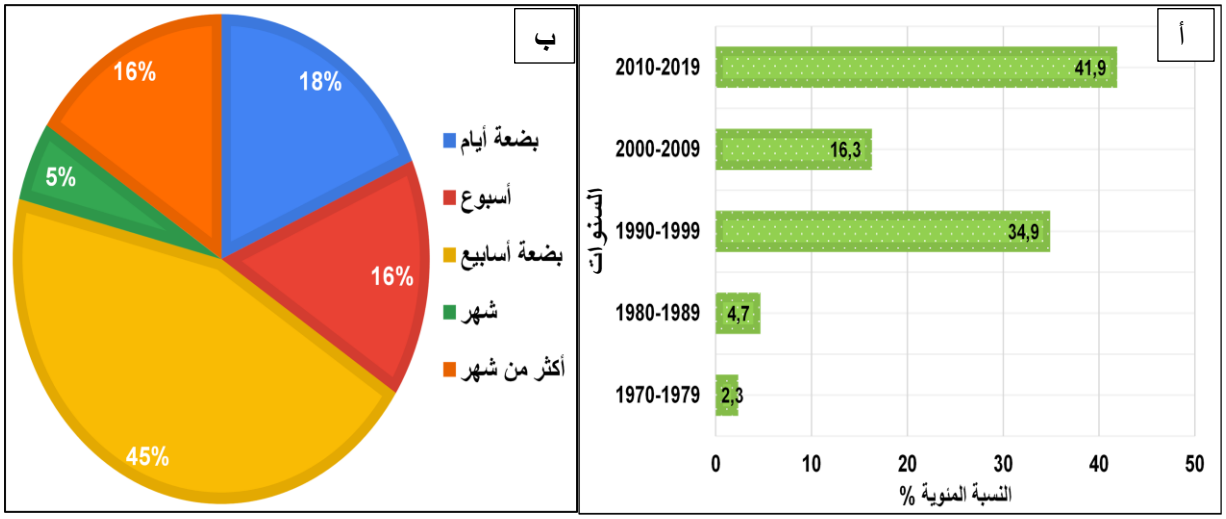
منحتنا نتائج نقد ومعالجة معطيات التساقطات المطرية سلاسل إحصائية متجانسة ذات جودة مرضية، كما يتضح ذلك من خلال معاملات الترابط R^2 الجيدة التي حصلنا عليها، بالإضافة إلى اختبارات تجانس المعطيات بالاعتماد على طريقتي التراكم المزدوج والمتجهة الإقليمية التي أعطت نتائج مرضية. وبالتالي يمكن اعتماد هذه البيانات في التحليل والمعالجة اللاحقة على المستوى السنوي والشهري بناءً على أسس علمية. من جهة أخرى وجب أخذ الحيطة واليقظة في دراسة البيانات اليومية، خاصة مع البيانات التي أعيد تشكيلها والتي سنحاول، قدر الإمكان، استبعادها في التحليل. وقد تأكد من خلال المعايير الثلاثة المعتمدة، ويتعلق الأمر بمعيار الموقع حسب الارتفاع ومعيار السياق المناخي ومعيار مدة السلسلة الإحصائية لمحطات القياس، انتقاء محطتي أيت تمليل وتمسماط كمحطتين مرجعيتين للدراسة الهيدرو-مناخية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف).

المحور 8: الدراسة الإحصائية للتساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1976-2016)

بعد معالجة البيانات والتدقيق في التصنيف المناخي السائد في مجال الدراسة، سيخصص هذا المحور لدراسة التغايرية في التساقطات المطرية. لكن قبل الخوض في ذلك لابد من تحليل المعطيات التي تم الحصول عليها انطلاقا من الدراسة الميدانية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف).

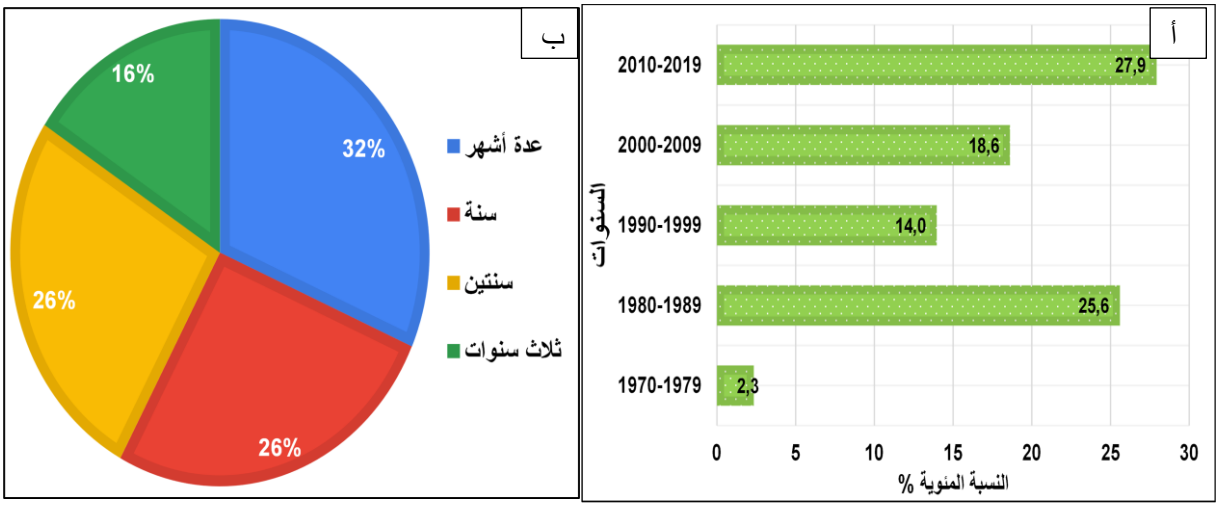
أكد 76% من المستجوبين (مبيان 21) أن أكثر السنوات رطوبة ترددت خلال الفترة الممتدة بين 1990و1999 والفترة ما بين 2010 و2019. كما أكد غالبية المستوجبين أن فترة السبعينيات والثمانينيات شهدت ترددا أكثر لسنوات الجفاف، مثل سنة 1974 و1975 و1982 و1983 و1986 و1987. من جهة أخرى استشعر عدد من المستجوبين تراجع مدة التساقطات المطرية، إذ أكد أغلبهم أنها لا تتجاوز بضعة أيام (18%) إلى بضعة أسابيع (45%). ومن خلال استفسارنا عن طبيعة التساقطات المطرية في الماضي مقارنة بالحاضر، اعتبر 68%من المستجوبين أن التساقطات المطرية كانت متوسطة إلى حد ما في الماضي، فيما اعتبرت 30% من العينة أنها كانت قوية.

مبيان 21: الفترات الرطبة (أ) ومدة التساقطات المطرية في الماضي (ب) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



أما بالنسبة للسنوات التي عرفت جفافا مناخيا فقد أكد أغلب المستجوبين على ترددها خلال الفترتين (1980-1989) و(2010-2019)، وقد لاحظنا أن الفترة الأخيرة عرفت كذلك سنوات رطبة، حسب تعبير الساكنة، مما يدل على أنها تميزت بتغايرية مناخية قوية من سنة لأخرى. كما عرفت الأجوبة تباينا كبيرا بخصوص طول مدة الجفاف بالحوض المدروس، حيث تقاربت اجاباتهم بين عدة أشهر، وسنة واحدة وسنتين.

مبيان 22: الفترات التي شهدت جفافا مناخيا (أ) وطول مدتها (ب) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



توضح النتائج التي تم التوصل إليها (مبيان 22) من خلال الاستمارات أن التساقطات المطرية عرفت تغيرات خلال العقود الأربعة الأخيرة، حيث شهدت بعض الفترات وفرة، فيها سجلت أخرى عجزا كبيرا؛ لذا سيتم خلال هذا المحور دراسة وتحليل هذه التغايرية الزمنية باعتماد تحليل البيانات الإحصائية لمحطتي أيت تمليل وتمسماط اللتان تقعان على التوالي بعالية وسافلة الحوض. سيتم معالجة ومناقشة التغيرات التي مر بها نظام التساقطات المطرية على مدى 41 سنة للسلسلة التاريخية (1976-2016)، وذلك بناءً على الطرق والمعايير المختلفة الأكثر استخدامًا في هذا الصدد.

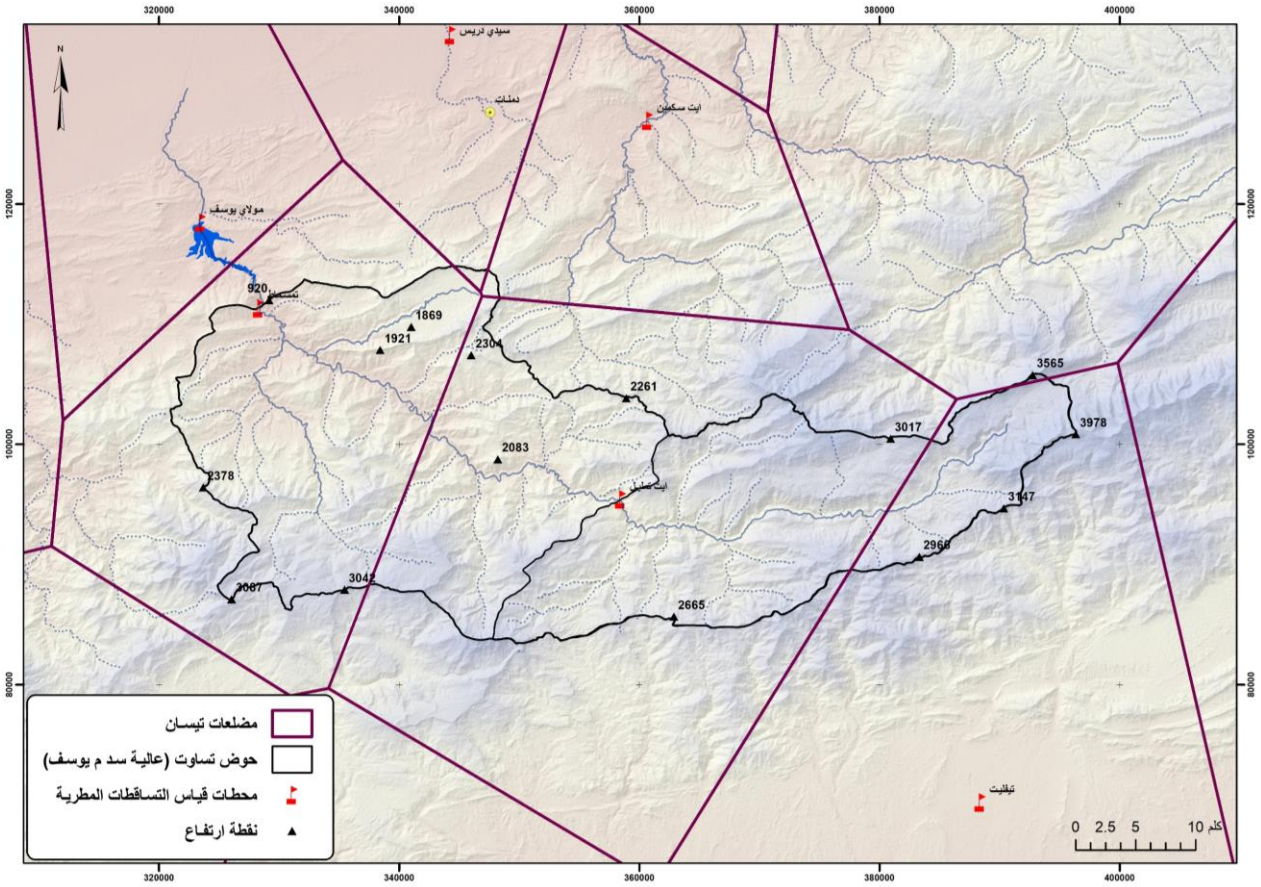
I. التوزيع المجالي للتساقطات المطرية السنوية

يلجأ أغلب الباحثين، لحساب معدل التساقطات المطرية لحوض نهري، إلى استعمال عدة تقنيات مرتبطة بالتوزيع المجالي، والتي تعتمد، أساسا، على استقراء المعطيات التي توفرها بعض محطات القياس ثم توزيعها اعتمادا على قوانين إحصائية. وسنستعين، خلال هذه المرحلة، بثلاث طرق للتوزيع المجالي وهي طريقة تيسان Thiessen وطريقة كريج Krigeage ثم طريقة المسافات العكسية Inverse des distances، ويبقى الهدف الأساسي من استعمال هذه الطرق هو تقدير معدل التساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) في كل نقطة، ومقارنة النتائج فيما بينها، وتحديد السياق المناخي العام للحوض. وسنعتمد في هذا التوزيع على معطيات التساقطات المطرية ل 14 محطة داخل وخارج الحوض والتي سبق تقديمها.

1 . التوزيع المجالي للتساقطات المطرية السنوية باعتماد طريقة تيسان

تم تطبيق طريقة تيسان Thiessen لحساب معدل التساقطات المطرية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، يقوم المبدأ العام لهذه الطريقة على وضع المحطات المتوفرة بمجال الدراسة على الخريطة، ثم رسم سلسلة من الخطوط تربط المحطات المتجاورة، في منتصف كل قطعة بين محطتين ورفع مستقيم آخر عمودي، وبالتالي يحدد تقاطع هذه المنصفات مضلعات تيسان بحيث توزع كل محطة إلى مركز ثقل يحدد منطقة نفوذها أي كل نقطة تنتمي إلى هذا المجال تكون الأكثر قربا له. سيتم الاعتماد على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية لإنجاز هذا التوزيع.

خريطة 13: التوزيع المجالي للتساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): طريقة تيسان Thiessen (2014 - 1976)



المصدر: معطيات وكالة الحوض المائي لأم الربيع

لحساب معدل التساقطات المطرية في الحوض نقوم ب:

- حساب مساحة كل مضلع على الخريطة؛
- نضرب مساحة كل مضلع بمعدل التساقطات المطرية السنوية، للمحطات المعتمدة لنحصل على أحجام جزئية، تم بعد ذلك نحصل على صفيحة التساقطات المطرية:

$$Pmoy = \frac{\sum Ai.Pi}{A} \qquad 4.2$$

بحيث:

- $Pmoy$: معدل التساقطات المطرية بالحوض؛
- A: المساحة الكلية للحوض؛
- Ai: مساحة المضلع المرتبط بمحطة قياس التساقطات المطرية؛
- Pi: التساقطات المطرية الجزئية.

جدول 22: تقييم التساقطات المطرية باعتماد طريقة تيسان Thiessen (1976- 2014)

	المحطات	أيت تمليل	تمسماط	'تيفليت'	'ايت سكمين'	'سيدي دريس'	*معدل التساقطات المطرية السنوية (ملم)*
حوض واد تساوت (عالية سد 'م يوسف')	***Pi (mm)***	463	514	110	494	342	**443**
	Ai (km)	710,5	453,2	138,4	2,41	2,55	
الحوض الفرعي لواد تمسماط	***Pi (mm)***	463	514	--	494	342	**492**
	Ai (km)	320,7	453,2	--	2,41	2,55	
الحوض الفرعي لواد أيت تمليل	***Pi (mm)***	463	--	110	--	--	**371**
	Ai (km)	391	--	138,4	--	--	

أوضحت النتائج التي توصلنا إليها باستعمال طريقة تيسان، أن التوزيع المجالي للتساقطات المطرية متجانس، وأفرزت قيم متقاربة بين عالية وسافلة الحوض، والتي تراوحت بين 493 ملم و495 ملم.

من سلبيات هذه الطريقة أنها لا تأخذ بعين الاعتبار المعطيات الطبيعية وأهمها الارتفاع، كما أن ضعف كثافة وتباعد محطات القياس فيما بينها يؤثر على نتائج هذا التوزيع.

2. التوزيع المجالي للتساقطات المطرية السنوية باعتماد طريقة "كريج"

اعتمدنا على طريقة "كريج" Krigeage لإنجاز توزيع التساقطات المطرية بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). وهي طريقة أكثر دقة من سابقتها، لأنها تعتمد على استعمال منحنيات تساوي الأمطار والتي يتم حسابها، بالنسبة لفترة زمنية محددة، بالاعتماد على معطيات التساقطات المطرية المتوفرة بمحطات القياس داخل وخارج الحوض. وقد اعتمدنا في انجازها على برنامج نظم المعلومات الجغرافية.

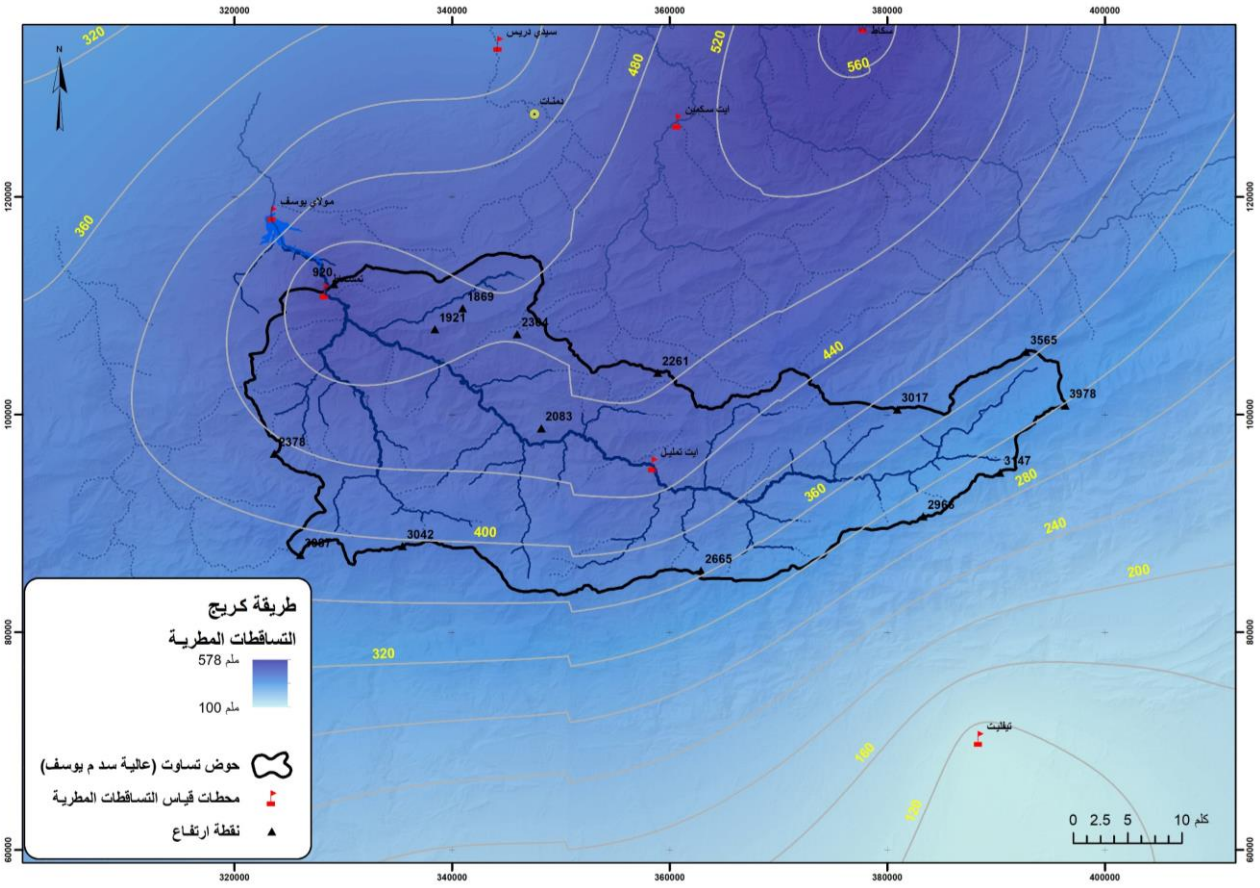
باستعمال خريطة التوزيع المجالي تم حساب المساحة الجزئية S_i للحوض المحصورة بين خطي تساوي مطر (P_{i+1} , P_i) التي تحددها التساقطات المطرية على الحوض، وتساوي مجموع حاصل ضرب التساقطات المطرية في المساحات الجزئية المقسومة على المساحة الكلية للحوض.

وبتطبيق العلاقة نحصل على النتائج التالية:

$$Pmoy = \sum \left(\frac{Si * Pi}{S} \right) \qquad 4.3$$

- حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): 428 ملم
- الحوض الفرعي لواد تمسماط: 459 ملم
- الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: 381 ملم

خريطة 14: التوزيع المجالي للتساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) باستعمال طريقة "كريج" Krigeage (2014 - 1976)



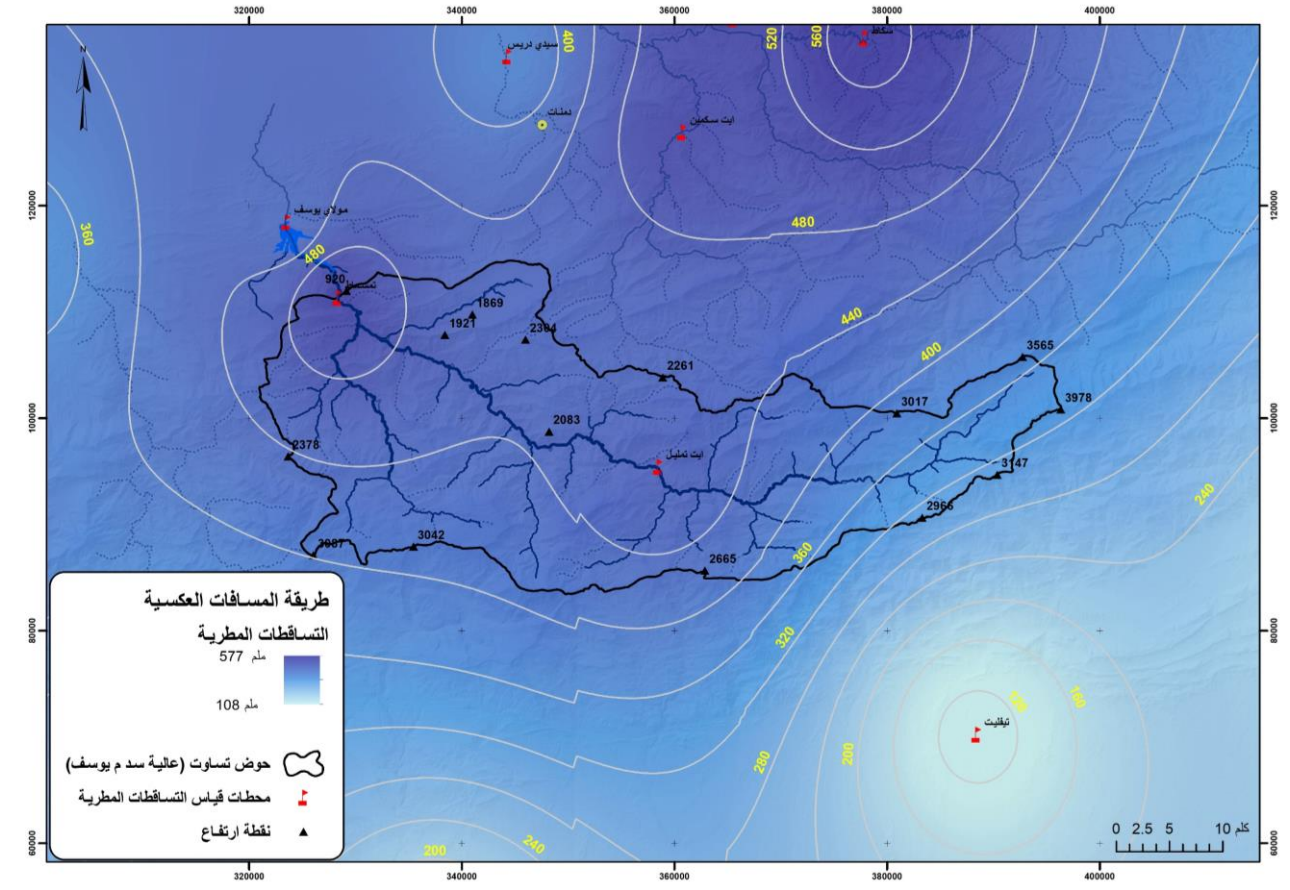
المصدر: معطيات وكالة الحوض المائي لأم الربيع

يؤكد التوزيع المجالي باعتماد طريقة "كريج" أن التساقطات المطرية بالحوض، خلال السلسلة الإحصائية (1976- 2014)، غير متجانسة بين عالية الحوض وسافلته. وبالتالي سنقوم بتجريب طريقة ثالثة للتأكد من النتائج التي تم التوصل إليها باعتماد الطريقتين السابقتين.

3. التوزيع المجالي للتساقطات المطرية السنوية باعتماد طريقة المسافات العكسية

تعتمد أداة المسافات العكسية Inverse des Distances على الاستقراء الداخلي، وتقوم بتقييم قيم البؤر عن طريق حساب قيم نقاط العينة في محيط كل بؤرة تتوفر على قياس. وكلما كانت النقطة الأقرب هي مركز البؤرة التي يتم تحليلها، كلما زاد تأثيرها (أو وزنها) على حساب المعدل(Shepard, 1968).

خريطة 15: التوزيع المجالي للتساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) باستعمال طريقة "المسافات العكسية" (2014 - 1976) Inverse des Distances



المصدر: معطيات وكالة الحوض المائي لأم الربيع

أعطى تطبيق هذه الطريقة على حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) معدل تساقطات مطرية كالتالي:

- حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): 430 ملم
- الحوض الفرعي لواد تمسماط: 450 ملم
- الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: 401 ملم

تعتبر عملية تحويل البيانات النقطية للتساقطات المطرية إلى مساحية مسألة مهمة في الأبحاث الهيدرولوجية بهدف تقدير كمية المياه التي تساقطت على حوض ما، ومن تم معرفة نسبة الأمطار الفعالة على نفس ذلك الحوض.

أوضحت النتائج المحصل عليها، باعتماد الطرق الثلاثة في التوزيع الاستقرائي ل 14 محطة بالمجال، وجود تباين في توزيع معدلات التساقطات المطرية بالحوض وبين العالية والسافلة. ويمكن تفسير هذا التباين المجالي في التساقطات المطرية بين عالية الحوض وسافلته إلى تأثير عامل الارتفاعات (influence de l'orographie)، بالإضافة إلى الحاجز الذي تشكله سلسلة الأطلس الكبير للتأثيرات الشمال الأطلسي (NAO)، والتي تتمظهر انطلاقا من معدلات التساقطات المطرية بمحطات القياس جنوب الحوض النهري. تعرف عالية الحوض تساقطات ثلجية، يمكن أن تؤثر بشكل سلبي على القياسات المطرية بمحطة أيت تمليل الواقعة على ارتفاع يفوق 1800 م، هذا بالإضافة إلى اضطراب الرياح وحدوث دوامات هوائية ما يمنع بعض القطرات من الدخول إلى الجهاز، مما يسبب في اعتراض

قياس التساقطات المطرية بمحطات القياس بالمرتفعات (عبد الحميد، 2014). كما أن ضعف كثافة شبكة محطات قياس وتباعدها مجاليا يمكن ألا تعكس بشكل دقيق توزيع معدل التساقطات المطرية على مستوى الحوض،

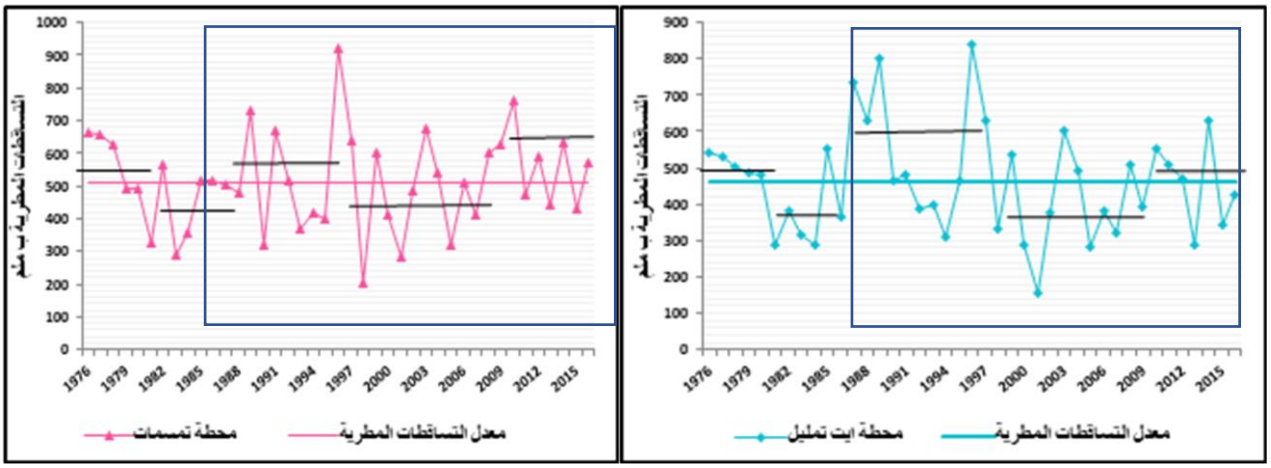
II. دراسة تغايرية التساقطات المطرية على المستوى السنوي

تعتبر دراسة توزيع التساقطات المطرية على المستوى السنوي مسألة بالغة الأهمية لفهم الاشتغال الهيدرولوجي للحوض المدروس، سيتم الاعتماد في هذه الدراسة على أدوات ومؤشرات إحصائية (SPI)، وبعض القوانين التي ستساعدنا على المعالجة الإحصائية. وقد تم اختيار قانون Ln Normale بالنسبة لحوض تساوت عالية سد مولاي يوسف، لكونه القانون الإحصائي المناسب والقابل للتطبيق بالمناطق شبه الجافة (Dubreuil, 1974). ويبقى الهدف من هذه الدراسة هو تحديد التغايرية الزمنية والمكانية للتساقطات المطرية بالحوض، واستنباط المعلومات والنتائج المناخية المستخلصة من العينة الإحصائية المدروسة، انطلاقا من معطيات السلسلة الإحصائية لمحطتي أيت تمليل وتمسماط على الامتداد الزمني (1976 – 2016).

1. توزيع التساقطات المطرية السنوية باعتماد طريقة المعدل الحسابي

استنادا إلى طريقة المعدل الحسابي سنقوم بدراسة توزيع التساقطات المطرية، وذلك بهدف فهم التغايرية الزمنية للتساقطات المطرية، كما أنه غالبا ما تختلف كمية الأمطار السنوية وتخضع للتغايرية الزمنية والمكانية (Ghadbane et *al*, 2021). وسنعتمد في هذا التحليل على معطيات السلسلتين الإحصائيتين لمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 – 2016).

مبيان 23: التساقطات المطرية السنوية بمحطة أيت تمليل وتمسماط (1976 – 2016)



ملم خلال الفترة (1976 – 2016بلغ معدل التساقطات المطرية السنوي بمحطة أيت تمليل (عالية الحوض) 458)، أما بمحطة تمسماط (سافلة الحوض) فقد بلغ المعدل 514 ملم خلال نفس الفترة، وقد عرفت السلسلة الإحصائية تذبذبا كبيرا وتوالي فترات مطيرة وأخرى جافة. وهذا ما يوضحه ال

جدول 23:

قُسمت فترة الدراسة بكلتا المحطتين إلى خمس فترات متجانسة فيما بينها (

جدول 23)، وتتشكل من ثلاث فترات تجاوزت معدل السلسلة الإحصائية، وفترتين لم تتجاوز المعدل. هذا التقسيم سيساعدنا في تحديد الفترات الجافة حيث تقل فيها الموارد المائية، والفترات الرطبة التي تتميز بالوفرة المائية.

جدول 23: تجزيء السلسلة الإحصائية لتساقطات المطرية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 – 2016)

محطة القياس	الفترة الفرعية	معدل الفترة	الانحراف المعياري	عدد السنوات
تمسماط	**1981 -1976**	533	105	6
	1987 -1982	437	85	6
	1996 -1988	538	175	9
	2007 -1997	454	119	11
	2016 -2008	571	106	9
أيت تمليل	**1981 -1976**	462	120	6
	1986 -1982	386	107	6
	1996 -1987	554	198	9
	2007 -1997	388	109	11
	2016 -2008	458	106	9

2. معالجة معطيات السلسلة الإحصائية للتساقطات المطرية السنوية باعتماد طريقة CUSUM

تعتبر طريقة CUSUM (François, Gille et Zumstein 1993) إحدى الطرق الإحصائية التي تهدف إلى كشف التباين الداخلي وعدم المجانسة داخل السلسلة الإحصائية المدروسة، اعتمادا على تحديد هامش الثقة (Cjx). هذا يؤدي إلى إمكانية تسليط الضوء على طفرات المعدل واقتراح التقسيم إلى سلاسل جافة ورطبة. يتم حساب قيمة Cj لكل سنة x_i حسب الصيغة 4.4، التي يجب أن تكون داخل مجال الثقة Cjx الذي يتم حسابه حسب الصيغة 4.5. وفي حالة نزوح قيمة C_j خارج هذا المجال نعتبر المعدل ليس ثابتا.

4.4 $$Cj = \sum_{i+1}^{n} (\mathrm{xi} - \mathrm{x})$$

4.5 $$Cjx = \pm S\left(\frac{\mathrm{u}\sqrt{\mathrm{N}}}{4} + \frac{u^2}{2\sqrt{2}} + \frac{u^3}{8\sqrt{N}}\right)$$

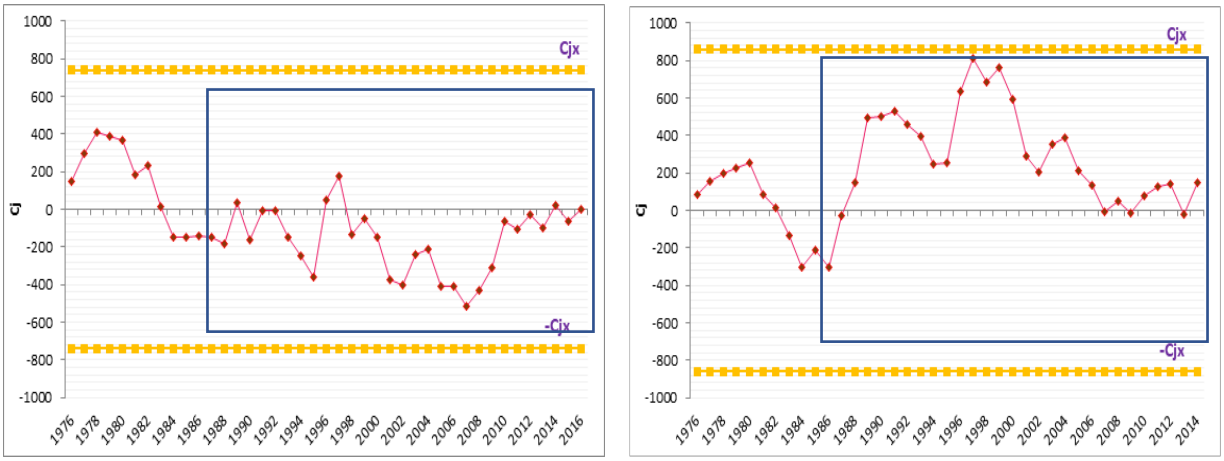
S: الانحراف المعياري

N: عدد القيم في السلسلة الإحصائية

U : المتغير الإحصائي كوس (Gauss) (الاحتمالية المختارة بنسبة 95٪ ، المثبتة عند 1.96).

تم تطبيق هذه الطريقة على السلسلة الإحصائية للتساقطات المطرية للفترة الممتدة بين (1976– 2016)، بالنسبة لمحطتي الدراسة أيت تمليل وتمسماط.

مبيان 24: تباين معطيات التساقطات المطرية حسب طريقة CUSUM بمحطتي تمسماط وأيت تمليل (1976 – 2016)



تضم السلسلة الإحصائية للتساقطات المطرية المدروسة (1976 – 2016) فترتين جافتين وفترتين رطبتين. الفترتان الجافتان 1976- 1986 و1997- 2007 تمتدان على طول 11 سنة، وقد سجلتا معدل تساقطات مطرية على التوالي 481 ملم و454 ملم. تمتد الفترتان الرطبتان 1987- 1996 و2008- 2014، على التوالي، على طول 10 و9 سنوات، وقد سجلتا معدل تساقطات مطرية على التوالي 536 ملم و571 ملم.

جدول 24: تقسيم السلسلة الإحصائية للتساقطات المطرية (1976 – 2016) إلى فترات متجانسة

الفترة	معدل الفترة (ملم)	الانحراف المعياري	عدد السنوات	التشخيص
1976 -1986	481	108	11	سلسلة متجانسة جافة
1987 -1996	536	165	10	سلسلة متجانسة رطبة
1997 -2007	454	119	11	سلسلة متجانسة جافة
2008 -2016	571	106	9	سلسلة متجانسة رطبة

يوضح تحليل المعطيات أن السلسلة الإحصائية المدروسة غير متجانسة، وتضم فترات جافة وأخرى رطبة، كما شهدت سنوات استثنائية سجلت خلالها تساقطات مطرية مهمة مثل سنة 1996، وسنوات جافة مثل سنة 1983، وهذا يمنحنا عينة ملائمة للدراسة.

3. معامل تغيير التساقطات المطرية السنوية:

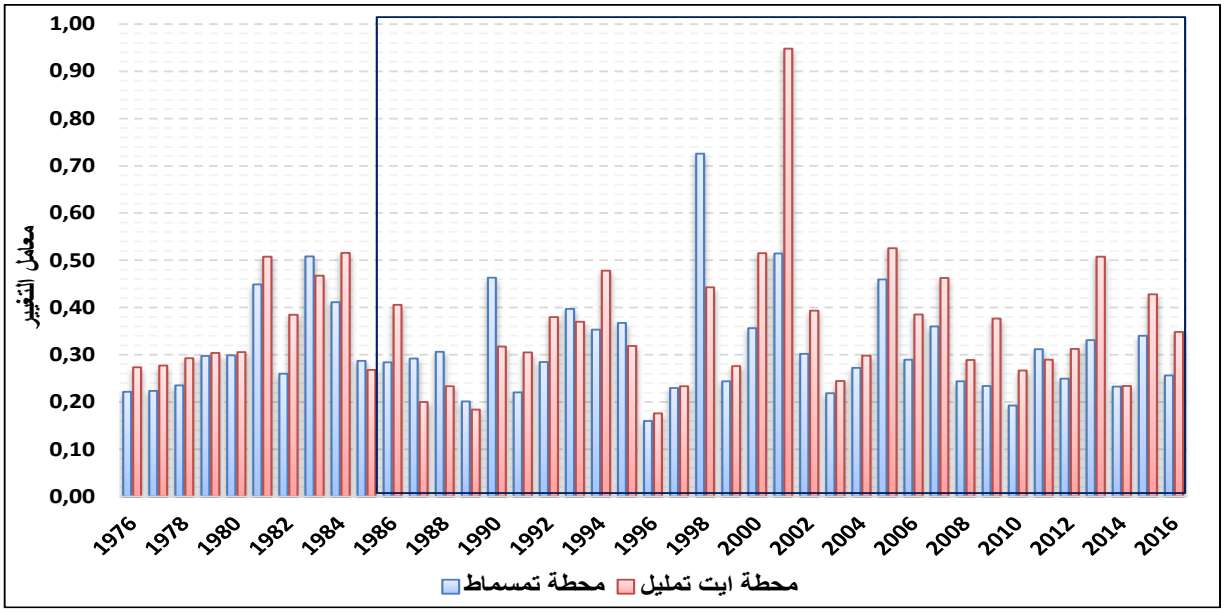
يعبر معامل التغيير(Coefficient de Variation (CV عن التشتت النسبي للتساقطات المطرية، لأنه يأخذ بعين الاعتبار الانحراف المعياري على المعدلات السنوية، مع مراعاة ما إذا كانت المنطقة ذات تساقطات مطرية مرتفعة أو منخفضة (الفول، 2016). بما أن معدلات التساقطات المطرية لا تظهر التغايرية المناخية من سنة لأخرى، فإنه سيتم الاعتماد على معامل التغيير الذي يمكن من خلاله أن نبرز تغيرات التساقطات المطرية السنوية Pa وتوزيعه داخل السلسلة (1976 – 2016). ويبقى الهدف الأساسي من استخدام هذه الطريقة هو مقارنة التغايرية المناخية من سنة لأخرى ومن منطقة لأخرى.

لحساب معامل التغيير نستعمل الصيغة 4.6:

$$CV = \frac{\sigma}{Pa} \qquad 4.6$$

بحيث: CV: معامل التغيير Pa: معدل التساقطات المطرية σ: الانحراف المعياري.

مبيان 25: معامل التغيير للتساقطات المطرية السنوية بالنسبة لمحطتي أيت تمليل وتمسماط بين (1976 – 2016)



بلغ معدل معامل التغيير (CV) 0,36 بمحطة أيت تمليل، و0,31 بمنطقة تمسماط (مبيان 25)، خلال السلسلة الإحصائية (1976 – 2016)، إذ نلاحظ اختلافا في قيم معامل التغير الذي يكون على حساب المجال الجغرافي، وبالتالي فمعامل التغيير بمحطة تمسماط يدل على أن سافلة الحوض أكثر تساقطا من العالية.

يأخذ معامل التغيير أقصى قيمه عند السنوات الأقل تساقطا، عكس الانحراف المعياري، حيث تبلغ أقصى قيمة CV=0,94 في سنة 2001 بالنسبة لمحطة أيت تمليل، و CV=0,74 في سنة 1998 بالنسبة لمحطة تمسماط، أما ادنى قيمة فقد سُجلت سنة 1996 حيث أنها لم تتجاوز 0,18 بكلتا محطتي الدراسة، والتي تدل على أن هذه السنة تميزت بتساقطات مطرية مهمة(Alexandre, 1996). يؤكد معامل التغيير على الاختلاف المجالي للتساقطات المطرية بين عالية الحوض وسافلته، وعلى الاختلاف الزمني من سنة لأخرى، مما سيكون له انعكاس على الموارد المائية بالحوض.

4. المؤشر القياسي للتساقطات المطرية

الجفاف حالة طبيعية تميز التغايرية المناخية لمجال معين في سياق مناخي معين. طور علماء الأرصاد الجوية والمناخ، في السنوات الأخيرة، العديد من مؤشرات الجفاف في جميع أنحاء العالم، انطلاقا من أبسطها بما في ذلك النسبة المئوية للتساقطات المطرية العادية، إلى المؤشرات الأكثر تعقيدًا، مثل مؤشر الجفاف Palmer. وقد أكد بعض الباحثين بالولايات المتحدة الأمريكية على ضرورة اعتماد مؤشرات بسيطة وسهلة في الحساب ومكيَّفة إحصائيًا وذات مغزى. وقام مجموعة من الباحثين الأمريكيين (McKee et al, 1993) بتطوير المؤشر القياسي للتساقطات المطرية (مؤشر SPI Indice Standardisé des Précipitations)، والغاية من ذلك هو فهم التأثيرات المختلفة التي يمكن أن يسببها عجز التساقطات المطرية على المياه الجوفية، وحجم المياه في الخزانات، ورطوبة التربة، وكمية الثلوج، وتدفق المجاري المائية. يعتبر المؤشر القياسي للتساقطات (SPI) (McKee et al, 1993) مؤشرا قويا ومرنا في الاستخدام ويسهل حسابه. وتعتبر بيانات التساقطات المطرية المتغير الوحيد المطلوب في حساب المؤشر. بالإضافة إلى ذلك، فإن مؤشر SPI فعال في تحليل الفترات الرطبة وتمييزها عن الفترات الجافة. ولحساب مؤشر SPI ، من الأفضل أن لا تقل البيانات الشهرية عن 20 إلى 30 سنة، ولكن يفضل أن تكون من 50 إلى 60 سنة أو أكثر، وهي الفترة الأمثل (Guttman, 1994). صُمم مؤشر SPI لتحديد كمية عجز التساقطات الأمطار على مستوى نطاقات زمنية متعددة. وتعكس هذه المقاييس الزمنية تأثير الجفاف على توافر الأنواع المختلفة من الموارد المائية (السطحية وشبه السطحية والجوفية)، لهذا السبب عمد (McKee et al, 1993) إلى حساب مؤشر SPI بخطوات زمنية 3 و6

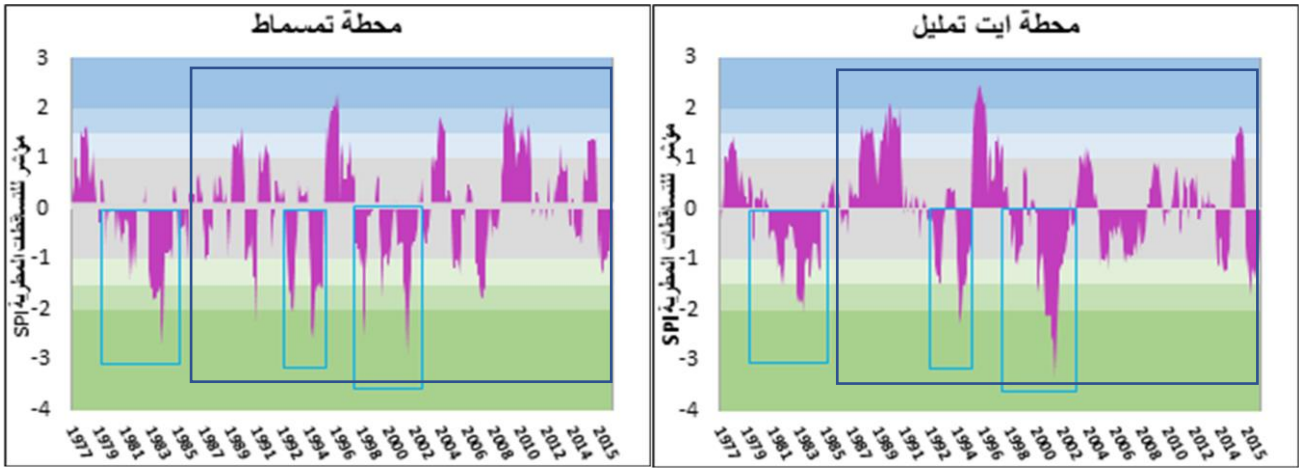
و 9 و 12 و 24 شهرا. استخدم (McKee et al, 1993) نظام التصنيف المبين في جدول مؤشر التساقطات المطرية SPI (جدول 25) بهدف توضيح شدة فترات الجفاف في علاقته مع قيمة المؤشر، كما أنهم وضعوا معايير لفترة الجفاف لأي مقياس زمني.

جدول 25: قيم مؤشر SPI (McKee et al, 1993)

رطوبة مفرطة	2,0 وأكثر
رطبة جدا	من 1,5 إلى 1,99
رطوبة متوسطة	من 1,0 إلى 1,49
عادية	من 0,99 إلى 0,99-
جفاف متوسط	من 1,00- إلى 1,49-
جافة جدا	من 1,50- إلى 1,99-
جفاف مفرط	أقل من 2,0-

تم اعتماد قيم المؤشر القياسي للتساقطات المطرية على مستوى 12 شهرا، وقد عرفت الفترة المدروسة حالات جفاف قصوى في المقابل عرفت سنوات رطبة جدا.

مبيان 26: المؤشر القياسي للتساقطات المطرية (12 شهرا) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 – 2016)



على مستوى النتائج (مبيان 26)، يوجد تباين في شدة الجفاف، بين عالية الحوض (محطة أيت تمليل) وسافلته (محطة تمسماط) حيث تختلف أحيانا قيم المؤشر القياسي للتساقطات المطرية (SPI) بأكثر من مقياس تصنيف واحد في كل مجموعة وفترة. ولا يوثر الجفاف على نطاق الحوض بأكمله، مما يؤكد على أن الجفاف حدث مجالي. عرفت الفترة الممتدة ما بين 1979 إلى 1985 جفافا قويا بلغ ذروته سنة 1984، وحسب تصنيف قيم المؤشر القياسي للتساقطات المطرية، فقد سجلت في كلتا المحطتين قيم أقل من 2- في نفس السنة مما يدل على أن السنة عرفت جفافا مفرطا. ونفس الملاحظة سجلناها في الفترة الممتدة بين 1999 و 2003؛ حيث بلغت أدنى قيمة بمحطة أيت تمليل سنة 2001 بأقل من 3-. كما عرفت بعض السنوات جفافا مفرطا مثل سنة 1993 التي سجلت SPI< 2- في كل من عالية وسافلة الحوض (McKee et al, 1993). تعتبر **2001** سنة استثنائية بالنسبة لكلتا محطتي الدراسة، حيث عرفت جفافا مناخيا مفرطا، وهو الشيء الذي توضحه عتبات المؤشرات القياسية للتساقطات المطرية، التي تجاوزت 2- بمحطتي الدراسة. كما سجلت سنة **1996** رطوبة مفرطة (SPI>2).

جدول 26: احتمال تردد المؤشر القياسي للتساقطات المطرية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976-2016)

المؤشر القياسي SPI	الفئات	محطة ايت تمليل			محطة تمسماط		
		عدد السنوات	التكرار كل 100 عام	تردد الظهور	عدد السنوات	التكرار كل 100 عام	تردد الظهور
وأكثر2,0	رطوبة مفرطة	1	3	مرة واحدة كل 36 سنة	1	2	مرة واحدة كل 50 سنة
من 1,5 إلى 1,99	رطبة جدا	2	5	مرة واحدة كل 17 سنة	2	5	مرة واحدة كل 20 سنة
من 1,0 إلى 1,49	رطوبة متوسطة	4	10	مرة واحدة كل 10 سنوات	4	10	مرة واحدة كل 10 سنوات
من 0,99 إلى 0,99-	عادية	28	67	مرة واحدة كل سنتين	27	67	مرة واحدة كل سنتين
من 1,00- إلى 1,49-	جفاف متوسط	4	10	مرة واحدة كل 10 سنوات	3	8	مرة واحدة كل 13 سنة
من 1,50- إلى 1,99-	جافة جدا	1	2	مرة واحدة كل 42 سنة	2	5	مرة واحدة كل 17 سنة
أقل من 2,0-	جفاف مفرط	1	2	مرة واحدة كل 42 سنة	1	2	مرة واحدة كل 42 سنة

فيما يخص نتائج التردد (جدول 26)، فقد تبين أن الحالة الأكثر ترددا هي الحالة العادية (67%)، متبوعة بالحالة المتوسطة للرطوبة والجفاف. وهذا يعني أن التساقطات المطرية في أغلب السنوات تتذبذب حول المعدل السنوي، وأن فترات العجز وفترات الفائض عرفت توزيعا مكافئا على المستوى المجالي والزمني بين عالية الحوض وسافلته .سجل حوض الدراسة كذلك سنوات جفاف حاد (SPI <- 1,5) بلغ ترددها بالنسبة لعالية الحوض سنتين في كل مئة عام، بينما بلغ ترددها بسافلة الحوض بين سنتين وخمس سنوات في كل مئة عام. على العموم، فسنوات الجفاف بحوض الدراسة كانت أقل ترددا مقارنة بالسنوات الرطبة.

أظهر التشخيص، اعتمادا على المؤشر القياسي للتساقطات المطرية SPI، أن السلسلة الإحصائية عرفت فترات تميزت بجفاف مناخي مفرط، حيث يمكن أن ينعكس على الموارد المائية المتوفرة بالحوض، ليتحول إلى جفاف هيدرولوجي.

5. دراسة توزيع وتردد التساقطات المطرية السنوية

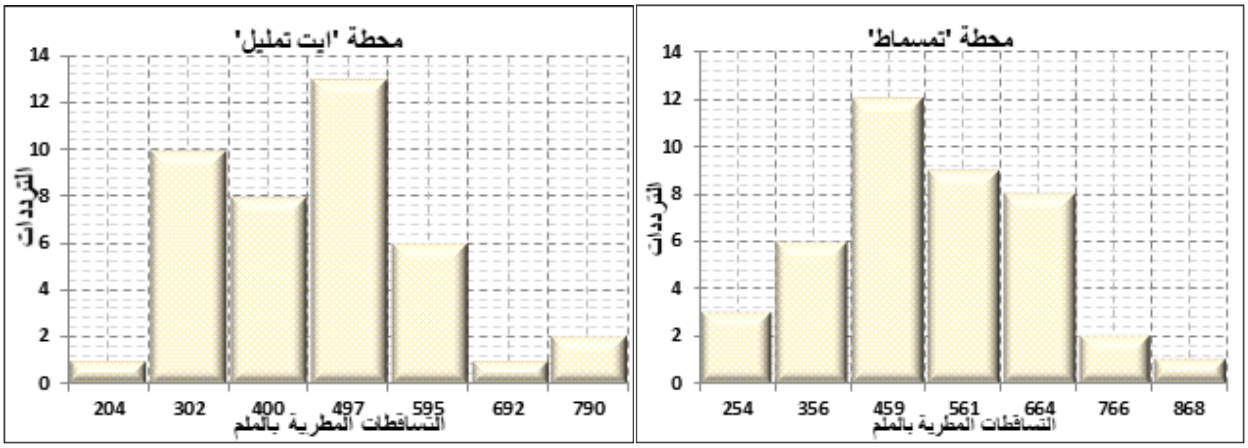
تعتبر دراسة التوزيع والترددات مرحلة مهمة، باعتبارهما المحددين الأكثر دقة في تحديد واستخراج القيم التي يمكن أن تؤثر على الموارد المائية بحوض الدراسة خلال مدة الدراسة (1976 – 2016)، ومن تم فهدفنا من إدراجهما هو استخراج تردد قيم التساقطات المطرية التي من المحتمل أن تساهم في توفير موارد مائية مهمة أو يمكن أن تؤدي إلى جفاف هيدرولوجي محتمل.

5.1 تطبيق قانون Ln Normale على التساقطات المطرية السنوية

اعتمدنا في دراسة توزيع الترددات على الكثير من القوانين المعتمدة من طرف مجموعة من المتخصصين في المناخ، ومن هذه القوانين نذكر (Racine Normal-Fréchet- Racine Gumbel- Gumbel-Cal Weibul- Weibull- Ln Normale- Normal). والهدف من ذلك هو البحث عن تركز القيم المحصل عليها من مجموع التساقطات المطرية السنوية داخل السلسلة الإحصائية.

يتخذ توزيع الترددات المطرية شكلا تراتبيا حسب كمية التساقطات المطرية، ولهذا سنحاول حساب الحالات الاستثنائية بالاعتماد على المعادلة التالية: **F = (r – 0.3) / (N + 0.4)** بحيث r يمثل العمود الذي يميز كل قيمة، وN تمثل تردد الحالات.

مبيان 27: توزيع ترددات التساقطات المطرية السنوية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 – 2016)

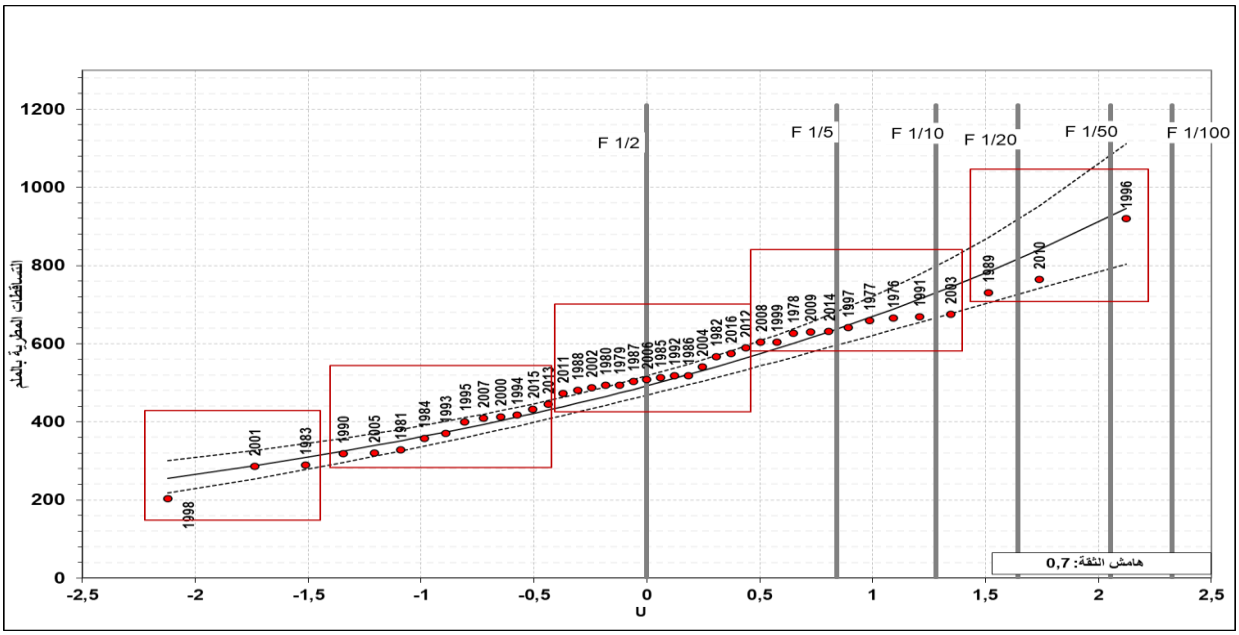


تكررت قيم التساقطات المطرية التي سجلت 497 ملم بمحطة أيت تمليل 13 مرة، وهي الأكثر ترددا خلال السلسلة الإحصائية، وتجدر الإشارة إلى أن المعدل البيسنوي للسلسلة الإحصائية (458 ملم) تنحصر بين هذه القيمة الأخيرة والقيمة 400 ملم التي ترددت 8 مرات. أما بالنسبة للقيم الدنيا التي بلغت 204 ملم فقد ترددت مرة واحدة، وبالتالي سيكون لها انعكاس سلبي على الموارد المائية للحوض. وتكررت التساقطات المطرية التي سجلت بين 459 ملم 561 ملم بمحطة تمسماط 19 مرة (سنة)، وهي القيم القريبة من المعدل السنوي والذي يبلغ 514 ملم، أما بالنسبة للقيمة الدنيا للتساقطات المطرية 254 ملم فقد ظهرت 3 مرات.

تعتبر قيم التساقطات المطرية التي ترددت بشكل أكبر هي الأقرب من المعدل السنوي للسلسلة الإحصائية بالنسبة لكلتا المحطتين، وهذا ما سيتم تأكيده عند دراسة التوزيع السنوي، حيث يمكن التعرف على السنوات التي عرفت تكرار نفس قيم التساقطات المطرية السنوي، وبعد اختبار كل القوانين السابقة الذكر؛ اتضح لنا أن قانون (Ln-Normale) هو الذي يتناسب بشكل جيد مع معطيات التساقطات المطرية التي نتوفر عليها.

تعتبر عملية توزيع التساقطات المطرية مسألة مكملة للمرحلة السابقة المتعلقة بتردد التساقطات المطرية، والهدف منها هو تصنيف وتوزيع القيم خلال السنوات الجافة والرطبة، كما تمكننا هذه العملية من استخلاص السنوات الاستثنائية سواء السنوات الرطبة أو الجافة (El Ghachi et Morchid, 2015) .

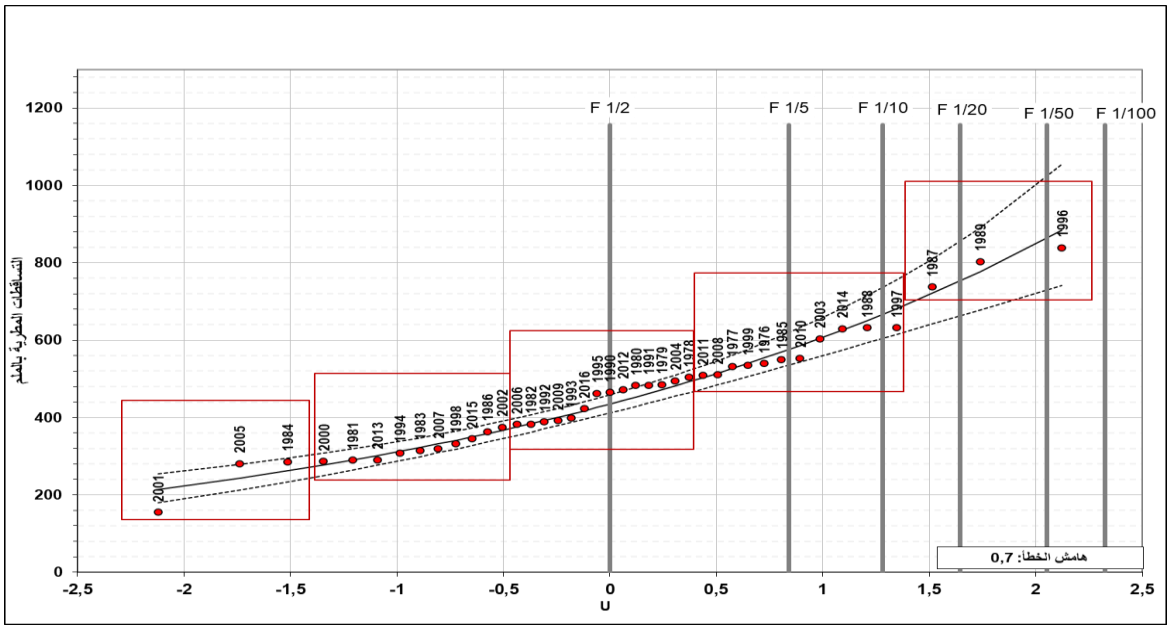
مبيان 28: توزيع التساقطات المطرية السنوية بمحطة تمسماط (1976 – 2016) حسب قانون (Ln Normale)



أدى التعديل الإحصائي للتساقطات المطرية حسب قانون Ln-Normale إلى إفراز خمس رُزم بمحطة تمسماط:

- الرزمة الأولى تضم 3 سنوات عرفت جفافا مفرطا (1998، 2001، 1983) تميزت بتساقطات مطرية ضعيفة جدا، تراوحت بين 202 ملم و289 ملم؛
- الرزمة الثانية تضم 11 سنة في اتجاه الجفاف (1990، 2005، 1981، 1984، 1993، 1995، 2007، 2000، 1994، 2015، 2013) تميزت بتساقطات مطرية ضعيفة، تراوحت بين 317 ملم و445 ملم؛
- الرزمة الثالثة تضم 14 سنة سجلت تساقطات مطرية متوسطة، قريبة من المعدل البيسنوي تراوحت بين 471 ملم و589 ملم؛
- الرزمة الرابعة تضم 10 سنوات في اتجاه الرطوبة (2008، 1999، 1978، 2009، 2014، 1997، 1977، 1976، 1991، 2003) تميزت بتساقطات مطرية مهمة تراوحت بين 603 ملم و674 ملم؛
- الرزمة الخامسة تضم 3 سنوات عرفت رطوبة مفرطة (1996، 2010، 1989) تميزت بتساقطات مطرية مهمة، تراوحت بين 730 ملم و919 ملم.

مبيان 29: توزيع التساقطات المطرية السنوية بمحطة أيت تمليل (1976 – 2016) حسب قانون (Ln Normale)



أدى التعديل الإحصائي للتساقطات المطرية بمحطة أيت تمليل فقد حسب قانون Ln-Normale إلى إفراز خمس رُزم:

- الرزمة الأولى تضم 3 سنوات عرفت جفافا مفرطا (2001، 2005، 1984) تميزت بتساقطات مطرية ضعيفة جدا، تراوحت بين 155 ملم و286 ملم؛
- الرزمة الثانية تضم 10 سنوات في اتجاه الجفاف (2000، 1981، 2013، 1994، 1983، 2007، 1998، 2015، 1986، 2002) تميزت بتساقطات مطرية ضعيفة، تراوحت بين 286 ملم 375 ملم؛
- الرزمة الثالثة تضم 14 سنة سجلت تساقطات مطرية متوسطة، قريبة من المعدل البيسنوي تراوحت بين 382 ملم 503 ملم؛
- الرزمة الرابعة تضم 11 سنوات في اتجاه الرطوبة (2011، 2008، 1977، 1999، 1976، 1985، 2010، 2003، 2014، 1988، 1997) تميزت بتساقطات مطرية مهمة تراوحت بين 509 ملم و632 ملم؛

- الرزمة الخامسة تضم 3 سنوات عرفت رطوبة مفرطة (1987، 1989، 1996) تميزت بتساقطات مطرية مهمة، تراوحت بين 737 ملم و838 ملم؛

5.2 حساب فترات الرجوع للتساقطات المطرية السنوية

يتيح حساب فترات الرجوع للتساقطات المطرية رؤى استشرافية لصناع القرار في مجال التدبير. وقد اعتمدنا على قانون (Ln Normale) لمعرفة الكميات المطرية التي استقبلتها المحطتين خلال فترات مختلفة كما يوضح الجدول 27:

جدول 27: فترات رجوع التساقطات المطرية السنوية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 – 2016)

	السنوات الرطبة					1/2	السنوات الجافة				
التردادات	1/100	1/50	1/20	1/10	1/5		1/5	1/10	1/20	1/50	1/100
فترات الرجوع	100 سنة	50 سنة	20 سنة	10 سنة	5 سنوات	سنتين	5 سنوات	10 سنة	20 سنة	50 سنة	100 سنة
أيت تمليل (ملم)	810	770	707	653	587	461	333	267	212	150	105
تمسماط (ملم)	844	822	761	706	640	514	388	322	267	206	161

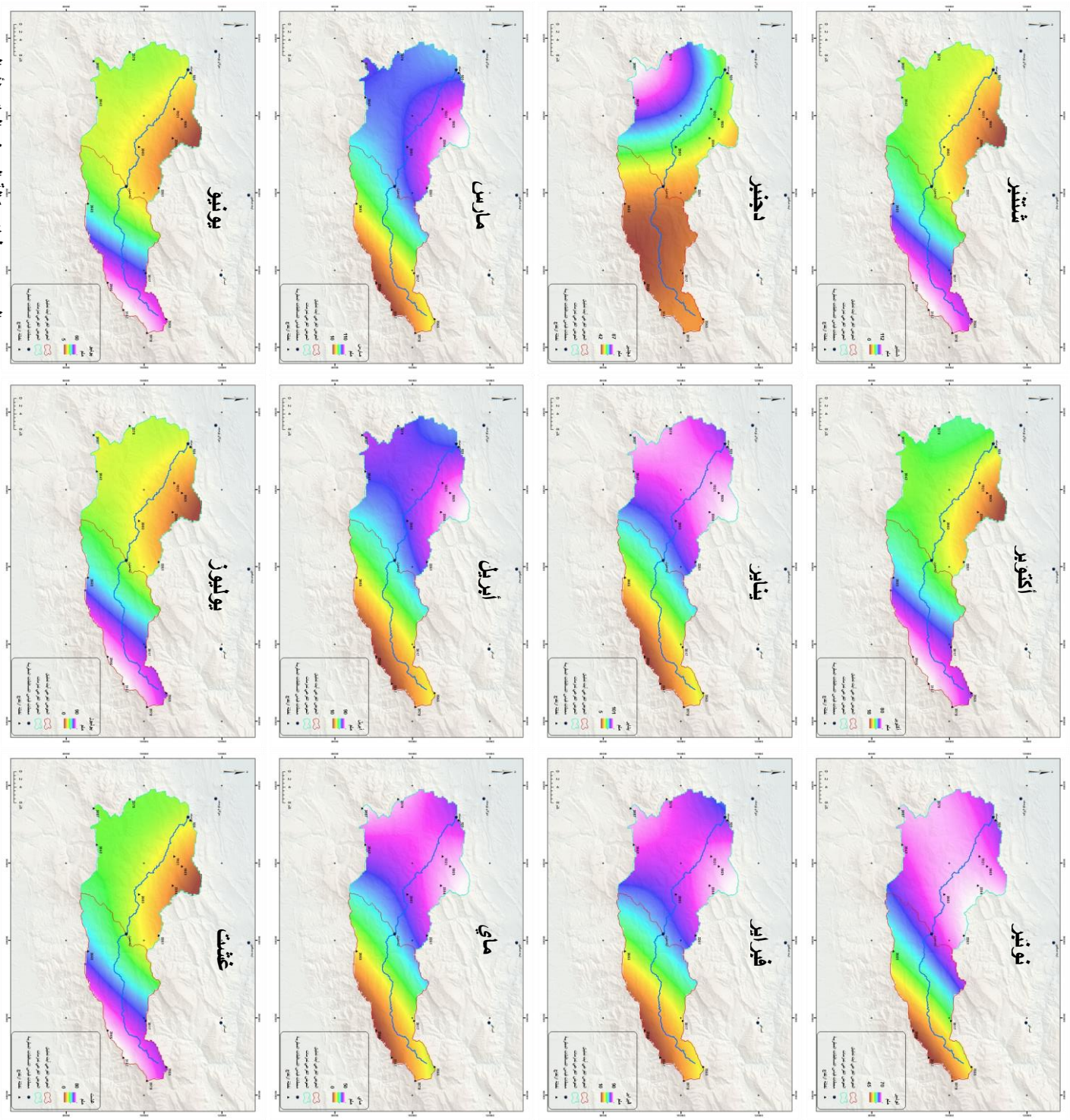
يبلغ الفارق بين السنوات الرطبة ذات التردد 1/5 والسنوات الجافة من نفس التردد 254 ملم بالنسبة لمحطة أيت تمليل و252 ملم بالنسبة لمحطة تمسماط، ويزداد هذا الفارق في اتجاه التردد 1/100(El Ghachi,2007). وتبرز نتائج دراسة فترات الرجوع حدود عتبات القيم بمحطات الحوض فيما يتعلق بسنوات الجفاف أو الرطوبة. وبالفعل فإن محطة أيت تمليل سجلت قيم تجاوزت عتبات الجفاف المفرط، ويتعلق الأمر بسنوات 2001 و2005 و1984. أما بمحطة تمسماط فقد سُجلت القيم التي فاقت عتبات الجفاف المفرط بالسنوات 1998 و2001 و1983. عرفت سنة **2001** عجزا كبيرا في التساقطات المطرية. حيث سُجلت بمحطة أيت تمليل 155 ملم أي بتردد 1/50 (50 سنة)، أما بمحطة تمسماط فقد سُجلت 286 ملم أي بتردد 1/20 (20 سنة). كما عرفت سنة **1996** رطوبة مفرطة، بحيث سُجلت بمحطتي أيت تمليل وتمسماط على التوالي 839 ملم و920 ملم أي بتردد 1/100 بالنسبة للسنوات الرطبة (100 سنة). وقد تعاقبت فترات جفاف مناخي بتردد 1/10 (كل عشر سنوات) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). ومن هذا المنطلق نستنتج أن أحداث الجفاف تعرف اختلافا مجاليا بين عالية الحوض وسافلته، وزمنيا من سنة لأخرى.

III. دراسة تغايرية التساقطات المطرية على المستوى الشهري

تعتبر الدراسة الشهرية للتساقطات المطرية مرحلة أساسية في فهم النظام المطري للحوض، فهي تتضمن اختلافات في العوامل المناخية المحدِّدة مثل الأمطار الموسمية، لهذا سنقوم في هذه المرحلة بتحليل المعطيات الشهرية لمحطتي أيت تمليل وتمسماط على مدى السلسلة الإحصائية (1976 – 2016)، والهدف من ذلك هو تحديد التغايرية المجالية والزمنية (Ghadbane et *al*, 2021).

1. التوزيع المجالي للتساقطات المطرية الشهرية

يسمح لنا التوزيع المجالي على المستوى الشهري بتقدير كمية التساقطات المطرية بالحوض في علاقتها بالتغيرات الفصلية، وسنعتمد في إنجاز هذا التوزيع على المقاربة الجيوإحصائية ونظم المعلومات الجغرافية لإنجاز خرائط التساقطات المطرية على المستوى الشهري؛ وذلك لرصد فترات السنة التي تعرف عجزا في الواردات، وتوزيعها على مستوى الحوض. وقد كنا اعتمدنا في التوزيع المجالي للتساقطات المطرية السنوية على الطرق الثلاثة وهي طريقة تيسان Thiessen وطريقة كريج Krigeage ثم طريقة المسافات العكسية Inverse des distances، والتي أعطت نتائج متقاربة ومتجانسة، أما في التوزيع على المستوى الشهري فسنعتمد فقط على طريقة كريج (Krigeage) لإنجاز خرائط ل 12 شهرا.



خريطة 16: التوزيع المجالي للتساقطات المطرية بحوض تساوت (عالية سد 'مولاي يوسف') (1985 – 2014)

المصدر: معطيات وكالة الحوض المائي لأم الربيع

يظهر تمثيل معدل التساقطات المطرية الشهرية تباينا واختلافا على المستوى المجالي والزمني:

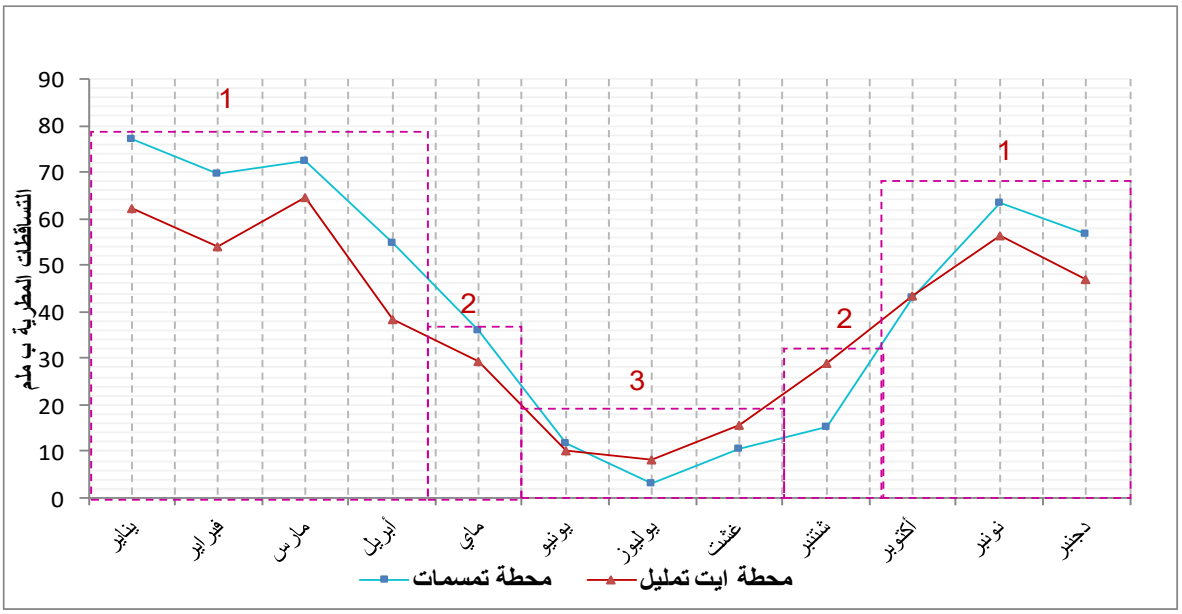
- **على المستوى المجالي**: عرفت التساقطات المطرية تباينا في التوزيع بين عالية الحوض وسافلته، حيث تميزت بتركز مهم في سافلة الحوض خلال سبعة أشهر الممتدة من شهر نونبر إلى شهر ماي، وقد تراوحت بين 33 ملم و86 ملم بسافلة الحوض، غير أنها تراجعت لتتركز بعالية الحوض خلال الأشهر الخمسة (من شهر يونيو إلى شهر أكتوبر)، وقد تراوحت بين 28 ملم و 60 ملم، ويمكن تفسير ذلك بالتساقطات المطرية الرعدية التي تتميز بها المنطقة نظرا لخصوصيتها الجبلية.
- **على المستوى الزمني**: سجلت معدل التساقطات المطرية بالحوض قيما مختلفة من شهر لآخر، حيث عرفت الفترة الممتدة من شتنبر إلى أبريل قيما تراوحت بين 33 ملم و63 ملم، ولم يتجاوز المعدل خلال باقي شهور السنة 23 ملم وقد بلغت أدناها خلال شهر يوليوز الذي سُجلت فيه 17 ملم بالحوض.

تعرف التساقطات المطرية الشهرية بحوض الدراسة تباينا على المستوى الزمني والمجالي، ويمكن تفسير ذلك بعامل الارتفاع، الذي شكل عاملا محددا في التوزيع المجالي لأنواع التساقط، مع العلم أن الحوض يتميز بارتفاعات مهمة تفوق 3900 م ويستقبل تساقطات ثلجية مهمة، والتي لا نتوفر على أي معلومات بخصوصها، علما أنها تساهم بشكل مهم في تغذية الجريان السطحي والباطني خلال فصلي الشتاء والربيع.

2. معدل التساقطات المطرية على المستوى الشهري

تم في هذه المرحلة استخلاص معدلات التساقطات المطرية الشهرية، بهدف فهم الواردات المطرية، وكذا تحديد حجم تغايريتها خلال فترات السنة. تعتبر دراسة التساقطات المطرية على المستوى الشهري مسألة مهمة في تحديد فترات الوفرة والندرة في الموارد المائية خلال السنة، وتحديد فترات ملء المخزون والتي تمثل الموارد الهيدرولوجية اللازمة لتغذية الشبكة الهيدروغرافية. وسنعتمد في هذه الدراسة على معطيات السلسلة الإحصائية لمحطتي أيت تمليل وتمسماط خلال الفترة الزمنية (1976 - 2016).

مبيان 30: معدل التساقطات المطرية الشهرية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016)



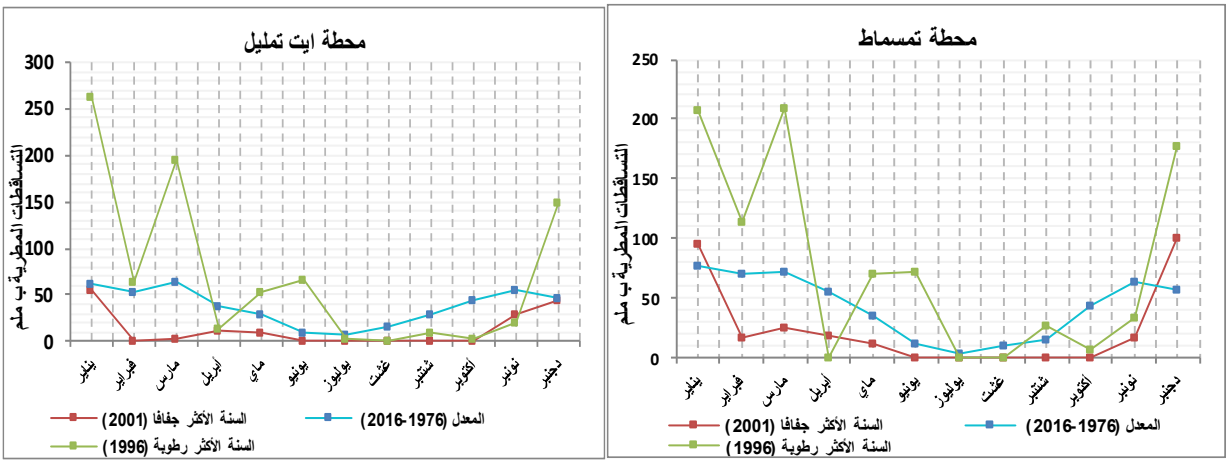
يُظهر تحليل التساقطات المطرية على المستوى الشهري بمحطتي أيت تمليل وتمسماط، توزيعا غير متكافئ بين شهور السنة، وهذا من خصائص المناخ شبه الجاف. بلغت أعلى قيمة بمحطة أيت تمليل (64 ملم) في شهر مارس، وبتمسماط (77 ملم) في شهر يناير، أما أدنى قيمة فبلغت 8 ملم بأيت تمليل و 3 ملم بتمسماط في شهر يوليوز، أي بفارق 57 ملم و 75 ملم على التوالي.

وقد تم تقسيم التساقطات المطرية الشهرية إلى ثلاث مجموعات متجانسة لتسهيل قراءة المبيان:

- **المجموعة الأولى:** تضم 7 أشهر (من شهر أكتوبر إلى شهر أبريل) ، تمثل فترة الوفرة في التساقطات المطرية، حيث يتأرجح المعدل الشهري بين 40 ملم و 77 ملم. وتتميز سافلة الحوض بتساقطات مطرية مهمة مقارنة بالعالية، ويمكن تفسير ذلك بالتساقطات الثلجية التي تميز المنطقة.
- **المجموعة الثانية:** تضم شهري شتنبر وماي، اللذان يمكن اعتبارهما فترة انتقالية بين الوفرة والندرة، وتتأرجح التساقطات المطرية فيها بين 15 ملم 36 ملم.
- **المجموعة الثالثة:** تمثل فترة الندرة في التساقطات المطرية، وتضم 3 شهور (يونيو، يوليوز، غشت) وتتأرجح المعدلات بين 3 ملم و15 ملم. وفي هذه الفترة تفوق التساقطات في عالية الحوض بشكل طفيف سافلته، ويرجع ذلك إلى التساقطات الرعدية التي تميز العالية في فترة الصيف.

عرفت السلسلة الإحصائية سنوات جافة وأخرى رطبة، وقد تم استنتاج، من خلال دراسة التساقطات المطرية على المستوى السنوي، أن سنة **2001** عرفت عجزا كبيرا، على عكس سنة **1996** التي تميزت برطوبة مفرطة. يمثل المبيان 31 مقارنة معدل تغيرات التساقطات المطرية للسلسلة الإحصائية (1976-2016) بالسنوات الحدية بمحطتي الدراسة.

مبيان 31: معدل التساقطات المطرية الشهرية للسنوات الحدية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط



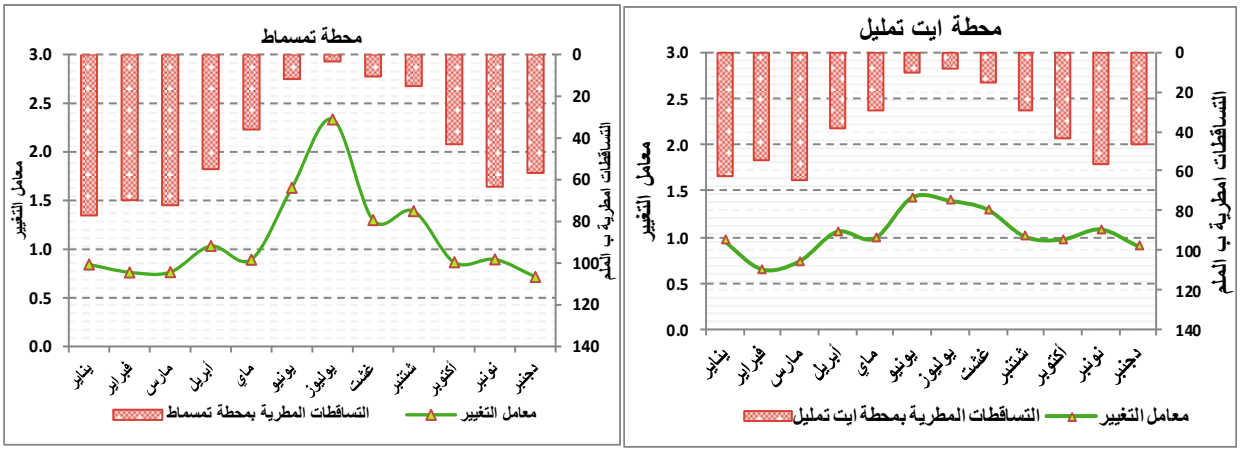
تتغير وتيرة التساقطات المطرية من شهر لآخر، بالنسبة لحوضي الدراسة، بشكل متقارب. تركزت التساقطات المطرية في سنة 1996 بشكل مهم خلال الفترة الممتدة بين شهري دجنبر ومارس، كما سجل شهرا ماي ويونيو معدلات مهمة مقارنة بمعدل السلسلة الإحصائية. واقتصرت التساقطات المطرية في سنة 2001 في شهري يناير ودجنبر على معدلات تقارب المسجلة خلال السلسلة الإحصائية، غير أن أغلب أشهر السنة لم تسجل أي تساقطات مطرية، أو سجلت قيم أقل من 20 ملم. وهذا ما يفسر العجز المناخي الكبير الذي تم تسجيله خلال هذه السنة بحوض الدراسة.

يستقبل مجال الدراسة تساقطات مطرية مهمة خلال سبعة أشهر متوالية من السنة، وتبقى ضعيفة خلال الأشهر الأخرى خصوصا في فصل الصيف الذي يتميز بعواصف رعدية. كما عرف المجال توالي فترات جافة وأخرى رطبة.

3. معامل تغيير التساقطات المطرية على المستوى الشهري

سنعتمد في تحليل مدى تباين قيم معدلات التساقطات المطرية لنفس الشهر على توزيع قيم معامل التغير الشهري Coefficient de Variation mensuelle (CV) للمحطتين، خلال السلسلة الإحصائية (1976 - 2016)، بهدف معرفة الفترات الأكثر تساقطا خلال السنة.

مبيان 32: معامل تغيير التساقطات المطرية الشهرية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016)



يتميز معامل التغيير بمحطة أيت تمليل بتغايرية معتدلة نسبيا على طول السنة، ولم تسجل تفاوتا كبيرا بين الأشهر الرطبة والجافة، وقد تأرجح CV بين [0,7 –2,4]. سُجلت أعلى قيم لمعامل التغيير في شهر يوليوز في كلتا المحطتين، وقد بلغ بمحطة تمسماط 2,4، وهذا يدل على قلة التساقطات المطرية خلال هذا الشهر مما سينعكس على الموارد المائية بالحوض. عرف معامل التغيير بمحطة تمسماط استقرارا نسبيا خلال الفترة الممتدة بين شهر أكتوبر وشهر ماي والتي تعرف تساقطات مطرية مهمة، إذ تراوحت بين 0,7 و 0,9 باستثناء شهر أبريل الذي سجل 1,1. أما أعلى القيم فسُجلت في أشهر الصيف حيث فاقت 1,5.

نستنتج من خلال معامل التغيير أن سافلة الحوض تعرف تغايرية مهمة في التساقطات المطرية، مقارنة مع عالية الحوض التي تميزت بتغايرية معتدلة نسبيا على طول السنة، مما يؤكد لنا التباين المجالي للتساقطات المطرية بالحوض.

4. المعامل الشهري للتساقطات المطرية

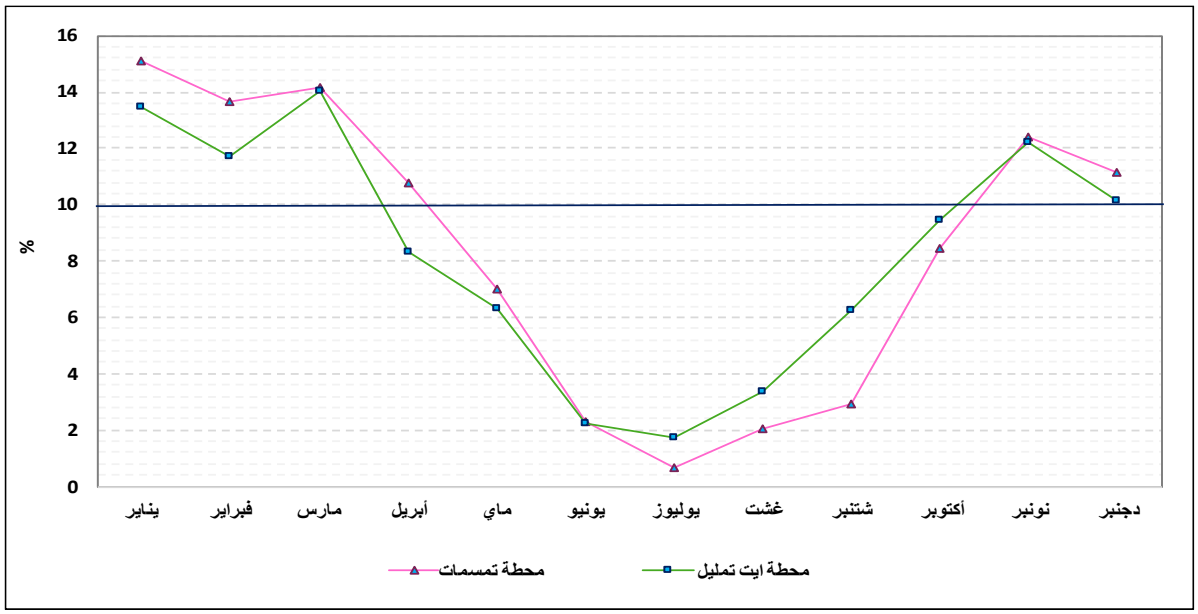
تمكن دراسة المعامل الشهري للتساقطات المطرية Coefficient Mensuel de la Précipitation (CMP) من تحديد فترات الوفرة والندرة في الواردات المطرية خلال شهور السنة. وهو خارج القيم الشهري على معدل التساقطات المطرية للسلسلة الإحصائية (El Ghachi et Morchid, 2015).

توضح مقارنة المعامل الشهري للتساقطات المطرية (مبيان 33) أن مساهمة الأشهر في الواردات المطرية متقاربة بالنسبة لمحطتي أيت تمليل وتمسماط. ويمكن تمييز فترتين مختلفتين مقارنة بالقيمة المرجعية (0,1):

- **فترة التغذية المطرية**: وقد امتدت على طول 6 أشهر (من شهر نونبر إلى شهر أبريل) بالنسبة لسافلة الحوض (محطة تمسماط)، وامتدت فقط على مدى 5 أشهر (من شهر نونبر إلى شهر مارس) بعالية الحوض (محطة أيت تمليل). تتميز هذه الفترة بتساقطات مطرية مهمة، والتي ستشكل موردا مهما في ملء المخزون الباطني وتغذية الجريان السطحي للمجاري بالمائية.

فترة ندرة التغذية المطرية: امتدت من شهر ماي إلى شهر أكتوبر بسافلة الحوض، ومن شهر أبريل إلى شهر أكتوبر بالنسبة للعالية، تتميز هذه الفترة بقلة التساقطات المطرية، وبالتالي ضعف التغذية الباطنية للخزانات الجوفية.

مبيان 33: المعامل الشهري للتساقطات المطرية (CMP) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016)



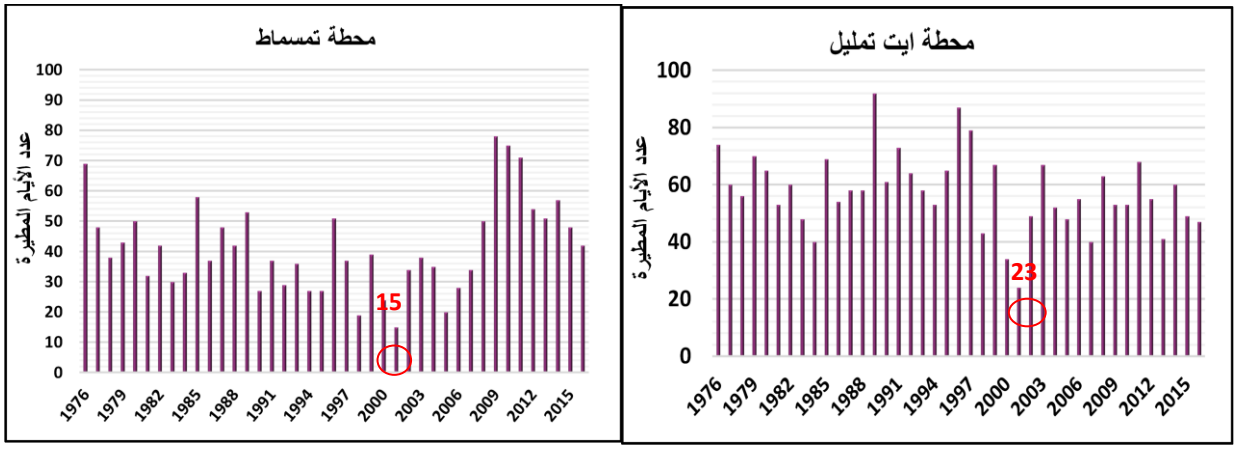
IV. دراسة تغايرية التساقطات المطرية على المستوى اليومي

تشكل التساقطات المطرية اليومية قاعدة أساسية للسلسلة الإحصائية، لما تكتسيه من أهمية بالغة في الدراسات المناخية. ونظرا للتوزيع غير المتكافئ لعدد أيام التساقطات المطرية زمنيا ومجاليا، سنركز في هذه المرحلة على دراسة إحصائية للتوزيع اليومي، والهدف من ذلك تحديد خصائص التساقط اليومي وتقييم شدته حسب السنوات الرطبة والجافة (El Ghachi et Morchid, 2015) . وسنعتمد في هذه الدراسة على معطيات التساقطات المطرية المسجلة على مستوى محطتي أيت تمليل وتمسماط خلال الفترة الزمنية (1976 - 2016).

1. استخلاص عدد الأيام المطيرة على المستوى السنوي

سنُجري، في مرحلة أولى، دراسة تفصل عدد الأيام المطيرة وغير المطيرة، وذلك لتحديد عدد الأيام المسؤولة عن وفرة الموارد المائية بالحوض. واستنادا إلى معطيات التساقطات المطرية اليومية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط طيلة السلسلة الإحصائية (1976 - 2016) تم الحصول على المبيان 34:

مبيان 34: عدد الأيام المطيرة على المستوى السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016)



يختلف عدد الأيام المطيرة على المستوى الزمني والمجالي، وقد تراوحت عدد الأيام المطيرة بمحطة أيت تمليل خلال السلسلة الإحصائية (1976 - 2016) بين 23 يوما سنة 2001 و92 يوما سنة 1989، أما بمحطة تمسماط فقد

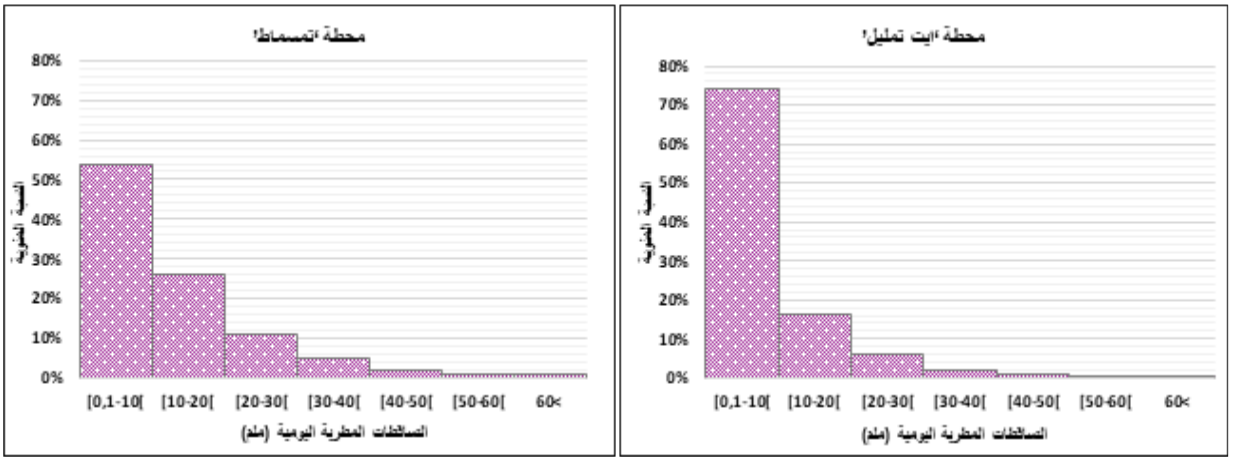
تراوحت بين 15 يوما سنة 2001 و78 يوما سنة 2009. وبالتالي فإن سنة **2001**، التي تم اعتبارها سنة مفرطة الجفاف، سجلت فعلا أقل عدد من عدد الأيام المطيرة. أما سنة **1996** والتي عرفت رطوبة مفرطة، فلم تسجل أعلى قيمة في عدد الأيام المطيرة. بلغ معدل الأيام المطيرة بمحطة أيت تمليل 58 يوما خلال الفترة المدروسة، و41,1 يوما بمحطة تمسماط. استقبلت محطة أيت تمليل خلال المدة الزمنية المدروسة (أي ما يعادل 14975 يوم) 2365 يوم من التساقطات المطرية بنسبة 15,8 %، أما محطة تمسماط فقد استقبلت 1706 يوما من التساقطات المطرية بنسبة 11,4 % خلال نفس المدة الزمنية، وهذا يضعنا أمام تناقض، كيف أن محطة أيت تمليل عرفت أعلى عدد الأيام المطيرة خلال السلسلة الإحصائية المدروسة وفي نفس الوقت سجلت معدل التساقطات المطرية 459 ملم، وهو معدل أقل مما سُجل بمحطة تمسماط (514 ملم) خلال نفس المدة. ومن أجل إعطاء تحليل دقيق لعدد الأيام المطيرة وتفسير هذا التساؤل، سنعمل على دراسة التساقطات المطرية اليومية حسب العتبات، لمعرفة ما هي القيم اليومية الأكثر ترددا.

2. تردد قيم التساقطات المطرية اليومية

قمنا بتفييء قيم التساقطات المطرية اليومية للسلسلة الإحصائية المدروسة إلى مجالات، قصد تحديد القيم الأكثر ترددا والمسؤولة عن توفير الموارد المائية بالحوض.

يختلف تردد قيم التساقطات المطرية اليومية بين عالية الحوض وسافلته. وتتميز القيم المحصورة بين [0,1-10[ملم بتردد مهم بالنسبة لحوضي الدراسة، حيث تمثل 74 % من مجموع التساقطات المطرية اليومية بعالية الحوض (محطة أيت تمليل)، وتمثل فقط 54 % بسافلة الحوض (محطة تمسماط)، ويؤكد ارتفاع تردد هذه القيم بمحطة أيت تمليل ارتفاع عدد الأيام المطيرة بعالية الحوض رغم أن المعدل السنوي للسلسلة الإحصائية المسجل بها أقل من المعدل السنوي بمحطة تمسماط.

مبيان 35: تردد قيم التساقطات المطرية اليومية حسب المجالات بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016)



من خلال النتائج التي توصلنا إليها (مبيان 35) فإن سافلة الحوض على مستوى محطة تمسماط تتميز بتردد القيم الأكثر من 10 ملم والتي تمثل 46 % من إجمالي التساقطات المطرية بالمحطة حيث تساهم بشكل كبير في الواردات المطرية، عكس عالية الحوض على مستوى محطة أيت تمليل، المتميزة بتردد مهم لقيم التساقطات المطرية اليومية الأقل من 10 ملم، ويمكن تفسير ذلك بالتساقطات الثلجية التي لا يتم رصدها خلال التساقطات المهمة التي تعرفها المنطقة خلال الفصل الممطر.

3. استخلاص شدة وعدد الأيام المطيرة حسب العتبات

سنحاول في هذه المرحلة وصف كيف أن عدد الأيام المطيرة وشدة التساقطات المطرية اليومية تتباين على المستوى الزمني، وكيف تحدد هذه التغايرية متوسط الدورة الموسمية على المستوى المجالي. ولإجراء هذا النوع من الدراسة، يجب تحديد عتبة لفصل الأيام المطيرة والأيام غير المطيرة (جدول 28)، لهذا يمكن اختيار عتبات أعلى

لدراسة أدق، لأن التساقطات المطرية المتميزة بشدة يومية منخفضة لها تأثير ضعيف أو منعدم على وفرة الموارد المائية (عملية التبخر-النتح شبه فورية)، والعكس صحيح.

تم اختبار العتبات 1 و2 و5 و10 لتحديد عدد الأيام المطيرة (يتم الاحتفاظ في كل عتبة فقط بالقيم فوق هذا الحد). وقد تم التركيز على العتبات الأقل من 10 ملم لأهمية ترددها حسب الأيام المطيرة (الفقرة السابقة) حيث تمثل 74 % و54 % من مجموع التساقطات المطرية اليومية على مدى السلسلة الإحصائية المدروسة على التولي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط.

يمكن حساب معدل الشدة خلال اليوم الممطر حسب المعادلة 4.7:

$$I = P/NJP \qquad 4.7$$

حيث أن I: الشدة اليومية (ملم/ يوم) و NJP: عدد الأيام المطيرة (يوم) وP: معدل التساقطات السنوي (ملم)

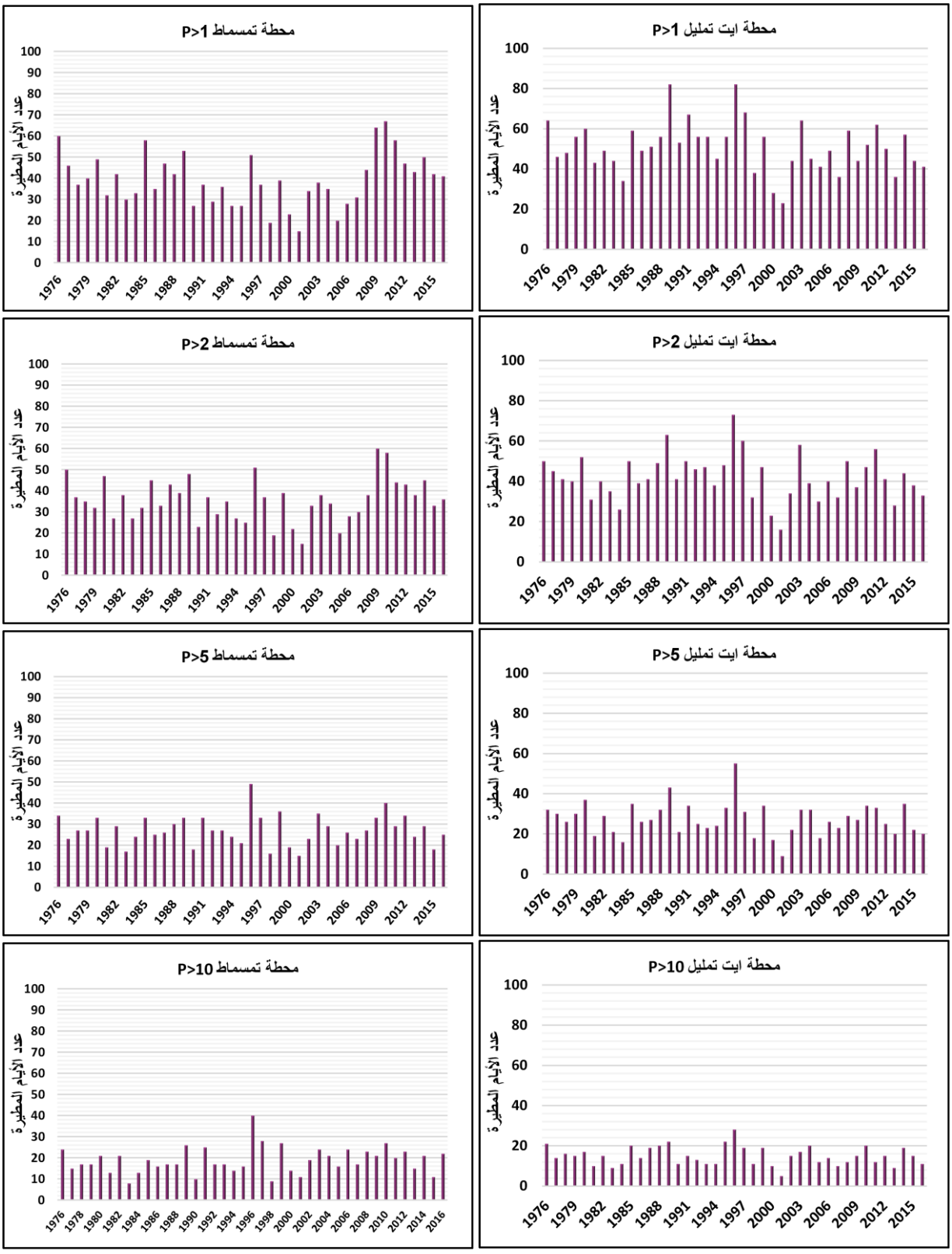
جدول 28: معدل عدد الأيام المطيرة والشدة اليومية للتساقطات المطرية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016)

		محطة تمسماط	محطة أيت تمليل
1 ملم	معدل عدد الأيام المطيرة (NJP) (يوم)	39,3	51
	نسبة عدد الأيام المطيرة (%)	10,7	14
	معدل الشدة اليومي (ملم/يوم)	13,3	8,9
2 ملم	معدل عدد الأيام المطيرة (NJP) (يوم)	35,9	42,2
	نسبة عدد الأيام المطيرة (%)	9,8	11,5
	معدل الشدة اليومي (ملم/يوم)	14,2	10,5
5 ملم	معدل عدد الأيام المطيرة (NJP) (يوم)	27,1	27,4
	نسبة عدد الأيام المطيرة (%)	7,4	7,5
	معدل الشدة اليومي (ملم/يوم)	17,3	14,5
10 ملم	معدل عدد الأيام المطيرة (NJP) (يوم)	18,9	15
	نسبة عدد الأيام المطيرة (%)	5,2	4,1
	معدل الشدة اليومي (ملم/يوم)	22	20,7
معدل الشدة اليومي (ملم/يوم)		22	20,7

يبين المبيان 36 أن عدد الأيام المطيرة حساس حسب العتبة المختارة. بلغ معدل عدد الأيام المطيرة بمحطة أيت تمليل خلال السلسلة المدروسة 51 و42,2 و 27,4 و15 يوما على التوالي حسب العتبات المحددة، أي بفارق 36 يوما بين العتبة 1 ملم و 10 ملم. أما محطة تمسماط فقد بلغ معدل عدد الأيام المطيرة في نفس السلسلة الإحصائية 39,3 و35,9 و 27,1 و 18,9 يوما، أي بفارق 20,4 يوم بين العتبة 1 ملم و10 ملم. ينخفض معدل ونسبة عدد الأيام المطيرة كلما رفعنا في عتبة التساقطات المطرية من 1 ملم إلى 10 ملم، عكس معدل الشدة اليومي. وقد بلغ معدل الشدة اليومية للتساقطات المطرية بمحطة أيت تمليل 8,9 ملم/يوم عند العتبة 1 ملم لتصل إلى 20,6 ملم/يوم عند العتبة 10 ملم. أما بمحطة تمسماط فقد انتقل معدل الشدة اليومي من 13,4 ملم/يوم عند العتبة 1 ملم إلى 22 ملم/يوم عند العتبة 10 ملم.

تبين النتائج أن معدل عدد الأيام المطيرة بمحطة أيت تمليل يفوق المعدل بمحطة تمسماط في جميع العتبات باستثناء العتبة 10 ملم والذي بلغ في هاته الأخيرة 18,9 يوم، وهذا يفسر لنا التناقض المطروح سابقا، حيث أن كمية التساقطات اليومية التي تفوق 10 ملم تمثل نسبة مهمة من التساقطات المطرية بالمحطة تمسماط، وهي المسؤولة عن ارتفاع معدل التساقطات السنوي بهذه المحطة مقارنة بمحطة أيت تمليل، رغم أن عالية الحوض تميزت بمعدل مهم لعدد الأيام المطيرة.

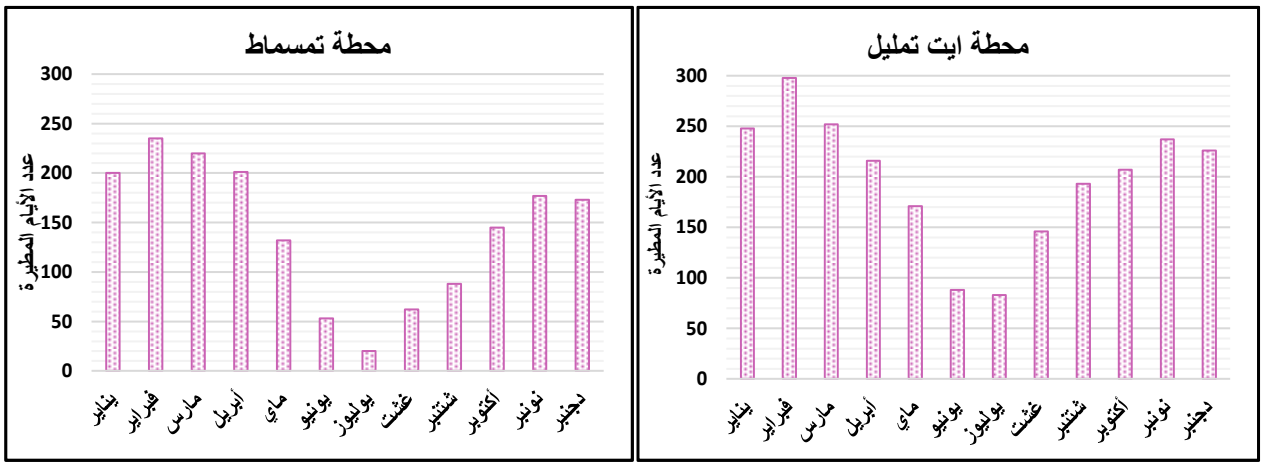
مبيان 36: عدد الأيام المطيرة على المستوى السنوي فوق العتبات 1 و2 و5 و10 ملم بمحطتي 'أيت تمليل' و'تمسماط' (1976 - 2016)



4. استخلاص عدد الأيام المطيرة على المستوى الشهري

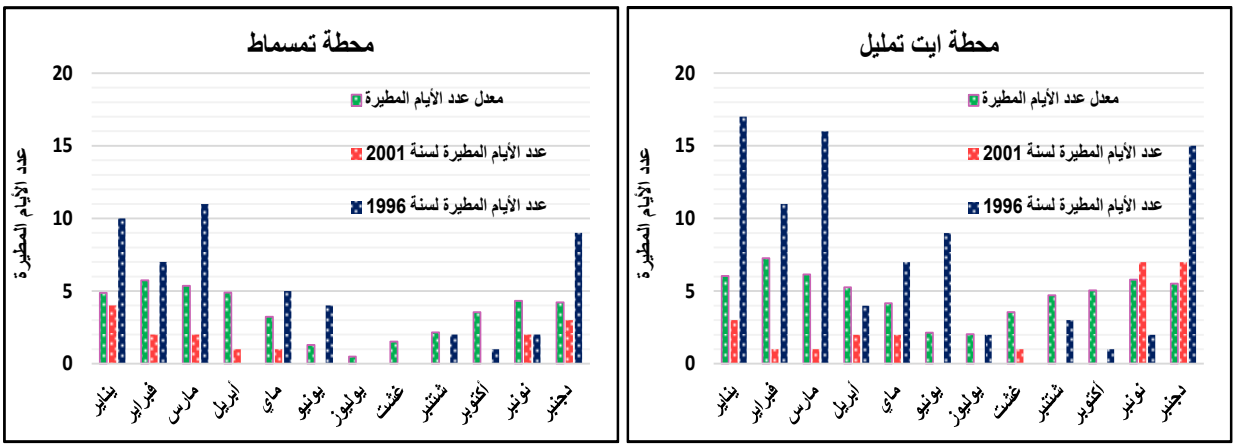
سنخصص هذه الفقرة لاستخلاص عدد الأيام المطيرة على المستوى الشهري، اعتمادا على البيانات اليومية لمحطتي الدراسة على طول السلسلة الإحصائية (1976-2016). كما سيتم مقارنة معدل الأيام المطيرة مع عدد الأيام المطيرة للسنوات المرجعية الجافة والرطبة. إن الهدف من هذا التحليل هو معرفة النظام المطري بالحوض المدروس وتحديد الأشهر الأكثر والأقل تساقطا خلال السنة انطلاقا من عدد الأيام المطيرة. يبين المبيان 37 عدد الأيام المطيرة على المستوى الشهري بحوضي الدراسة.

مبيان 37: عدد الأيام المطيرة على المستوى الشهري بمحطتي 'أيت تمليل' و'تمسماط' (1976 - 2016)



تعرف عدد الأيام المطيرة تباينا واختلافا من شهر لآخر داخل نفس السنة، كما يتميز بتباين مجالي بين عالية الحوض وسافلته. ونلاحظ وجود أيام مطيرة على طول السنة بمحطتي الدراسة، وبالأخص في الفترة الممتدة بين شهري أكتوبر وماي، وهي الفترة التي تقابل الوفرة في الواردات المطرية. سجلت محطة أيت تمليل أعلى عدد في الأيام المطيرة على المستوى الشهري، وهي نفس الملاحظة التي سجلناها على المستوى السنوي، كما عرفت هذه المحطة أعلى عدد للأيام المطيرة في شهر فبراير حيث بلغ 298 يوما، أما في محطة تمسماط فبلغ 235 يوم في نفس الشهر. كما سجلت محطة أيت تمليل عددا أعلى من الأيام المطيرة مقارنة بمحطة تمسماط في أشهر الصيف حيث بلغت في شهر غشت 146 يوما، ويمكن تفسير ذلك بالتساقطات الرعدية التي تتميز بها عالية الحوض خلال هذا الفصل.

مبيان 38: معدل عدد الأيام المطيرة مقارنة بالسنوات المرجعية 1996 و2001



عرفت سنة 1996 عددا مهما لأيام التساقط (مبيان 38) حيث بلغ 51 و87 يوما على التوالي بمحطتي تمسماط وأيت تمليل، وسجلت تركزا مهما خلال الأشهر يناير، فبراير، مارس ودجنبر. خلال سنة 2001 تم تسجيل عدد

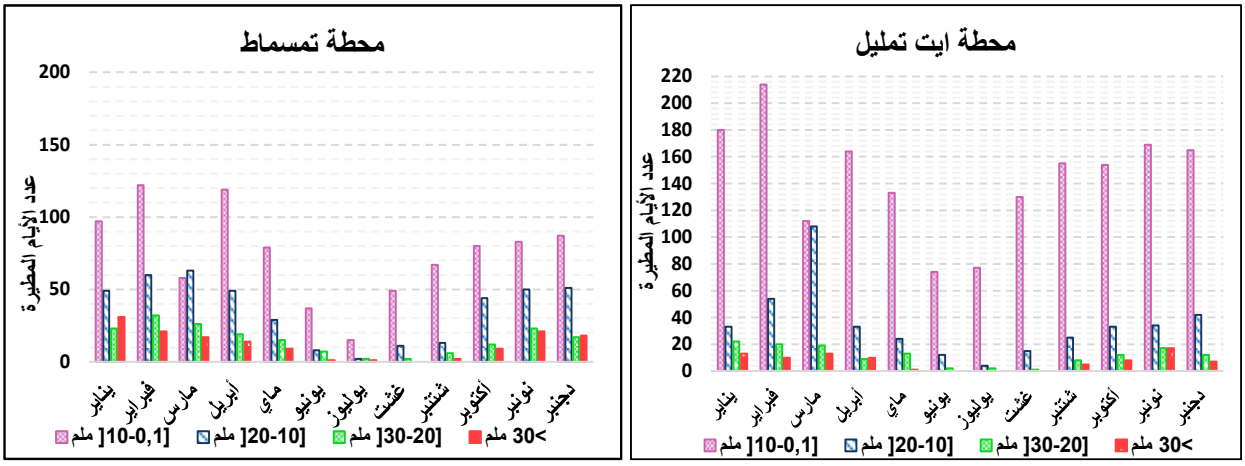
ضعيفٍ لأيام التساقط مقارنة بمعدل عدد الأيام المطيرة للسلسلة الإحصائية (1976-2016)، إذ لم يتجاوز 24 يوما بمحطتي الدراسة، والتي توزعت بين أشهر يناير، نونبر ودجنبر.

إن الملاحظة المهمة التي يجب الإشارة إليها هو غياب التساقطات المطرية لفترة خمسة أشهر على التوالي (من شهر يونيو إلى شهر أكتوبر) بمحطتي الدراسة في سنة 2001، بالإضافة إلى ضعف كمية التساقطات المطرية وعدد الأيام المطيرة، وسيكون لهذا الوضع المناخي تأثير مباشر على الجريان السطحي، خصوصا خلال الفترة الصيفية التي تتميز بارتفاع درجات الحرارة وزيادة كميات التبخر-النتح.

5. توزيع عدد الأيام المطيرة على المستوى الشهري

للمزيد من التفصيل قمنا بتوزيع عدد الأيام المطيرة على المستوى الشهري حسب فئات التساقطات المطرية، والهدف من هذا التقييء، معرفة القيم الأكثر ترددا على طول أشهر السنة، ومدى مساهمتها في الواردات المطرية بالحوض المدروس خلال السلسلة الإحصائية المدروسة.

مبيان 39: توزيع عدد الأيام المطرية حسب فئات التساقط على المستوى الشهري بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 – 2016)



يُظهر توزيع عدد الأيام المطيرة (مبيان 39) ترددا مهما لقيم التساقطات المطرية الأقل من 10 ملم. وقد تراوحت بمحطة أيت تمليل بين 69 يوما في شهر يوليوز و206 يوما في شهر فبراير، وبين 10 أيام في شهر يوليوز و118 يوما في شهر أبريل بمحطة تمسماط. أما بالنسبة لقيم التساقطات المطرية المتراوحة بين [10-20[ملم فقد تميزت بتردد مهم بمحطة تمسماط خصوصا في الفترة الممتدة بين شهري أكتوبر وأبريل، وقد بلغت أقصاها في شهر مارس ب 63 يوما، أما بمحطة أيت تمليل فلم تتجاوز 51 يوما في شهر مارس. وقد عرفت قيم التساقطات المطرية بين [20-30[ملم و 30< ملم نفس المنحنى، حيث ترددت بشكل مهم بمحطة تمسماط، خصوصا بالفترة الممتدة بين شهري نونبر وأبريل.

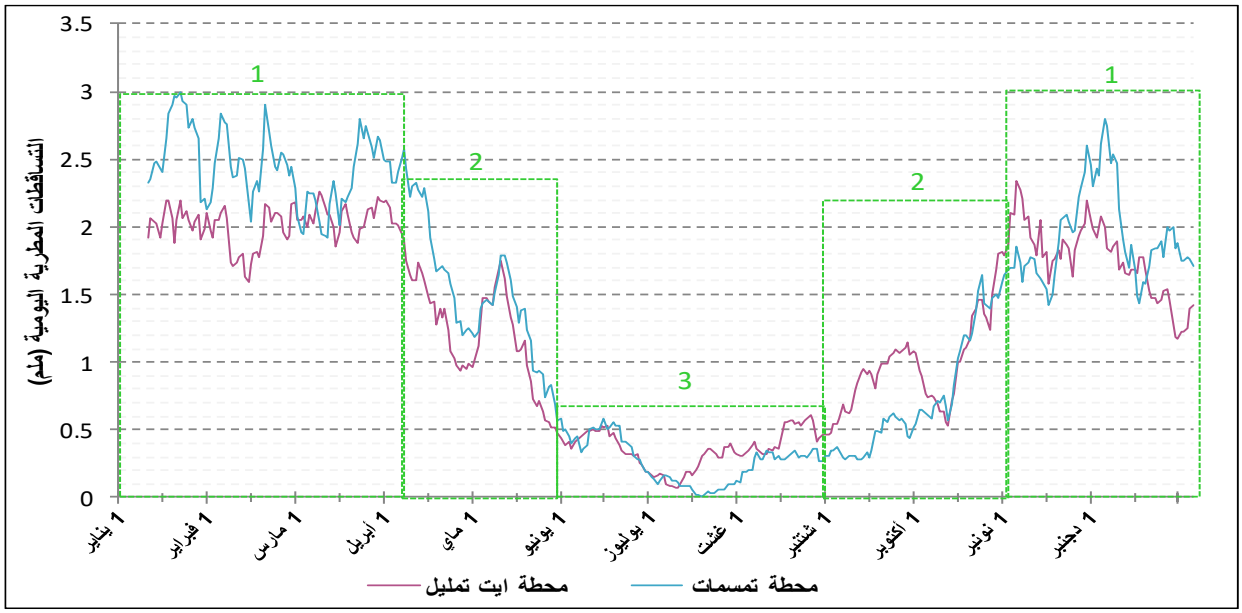
ما يمكن استنتاجه من تحليل النتائج هو أن قيم التساقطات المطرية الأقل من 10 ملم تميزت بتردد مهم بمحطة أيت تمليل على طول أشهر السنة، عكس محطة تمسماط التي سجلت تردد أهم للقيم الأكثر من 10 ملم مقارنة بمحطة أيت تمليل، حيث برزت بشكل واضح خلال الفترة الممطرة من السنة (بين شهري أكتوبر وأبريل)، ويمكن القول أن هذه الفئة ساهمت بنسبة مهمة من الواردات المطرية بالمحطة خلال السلسلة الإحصائية المدروسة.

6. دراسة معدل الدورة الموسمية للتساقطات المطرية اليومية

سيتم في هذه المرحلة تحليل نظام التساقطات المطرية، وعلى وجه الخصوص معدل الدورة الموسمية **Cycle Saisonnier Moyen**، بالاعتماد على البيانات اليومية للسلسلة الإحصائية (1976 - 2016) التي ستسمح لنا بإجراء تحليل أدق للنظام المطري. سيتم تمثيل الدورة الموسمية باستخدام المعدل المتحرك لمدة 11 يوما، والتي ستسمح بتصفية وتخفيف التغايرية عالية التردد خلال المدة المدروسة (41 سنة). وحيث أن النظام المطري في المناخ شبه الجاف يعرف تناوبا بين موسم الجفاف والموسم الرطب، فإنه يعكس تغايرية سنوية ذات صلة قوية بالتغايرية

المناخية على نطاق واسع (مبيان 40). ويبقى الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو فهم أفضل للتغيرات الشهرية والسنوية للتساقطات المطرية.

مبيان 40: معدل الدورة الموسمية للتساقطات المطرية اليومية باستخدام نافذة انزلاقية لمدة 11 يوم بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016)



يمكن تحديد ثلاث فترات في الدورة الموسمية للتساقطات المطرية اليومية:

الفترة الأولى (من 1 نونبر إلى 31 مارس): تمتد هذه الفترة على طول 5 أشهر، وقد عرفت تذبذبات مهمة بإيقاعات متشابهة نسبيا بمحطتي الدراسة، وقد تأرجحت هذه التذبذبات بين معدل 1,9 ملم/يوم بمحطة أيت تمليل و 2,3 ملم/يوم بمحطة تمسماط. ويمكن القول أن هذه الفترة تميزت بالوفرة في التساقطات المطرية، وقد تميز هذا النظام في التساقطات بتشابه كبير في التغايرية على المستوى الزمني، مع اختلاف في كمية التساقطات المطرية على المستوى المجالي بين عالية الحوض وسافلته.

الفترة الثانية: تنقسم إلى فترتين انتقاليتين، الأولى تمتد من 1 أبريل إلى غاية 31 ماي حيث تبدأ التساقطات المطرية في الانخفاض بعد آخر دروة عرفتها الفترة الأولى، أما الفترة الانتقالية الثانية التي تمتد من 1 شتنبر إلى 31 أكتوبر فتبدأ خلالها التساقطات المطرية بالارتفاع.

الفترة الثالثة (1 يونيو إلى 31 غشت): تعرف فيها التساقطات المطرية انخفاضا كبيرا، خصوصا بمحطة تمسماط التي تقترب إلى الصفر في منتصف شهر يوليوز.

إن أهم النتائج الرئيسية التي أفرزتها دراسة الدورة الموسمية للتساقطات المطرية اليومية، بالإضافة إلى التناوب بين موسم الأمطار وموسم الجفاف خلال السنة في محطتي الدراسة، هي وجود تقارب في نظام التساقطات المطرية بين محطتي الدراسة، مع تفاوت ملحوظ في الكمية بين عالية الحوض وسافلته. كما يمكن إبراز تزامن ملحوظ بين الفترات الثلاثة للدورة الموسمية، وداخل هاته الفترات بين التغايرية في مقياس التساقط.

خلاصة

انطلاقا من الدراسة الإحصائية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976-2016) واعتمادا على بعض المؤشرات المناخية، نستنتج أن التساقطات المطرية تعرف تغايرية زمنية قوية مع توالي فترات الوفرة والعجز، التي ستؤثر بشكل مباشر على الجريان السطحي بالحوض المدروس. كما تعرف هذه التساقطات تغايرية مجالية بين عالية الحوض وسافلته، والتي يمكن تفسيرها بعامل الارتفاع المؤثر في كمية التساقطات وفي طبيعتها.

خاتمـــــة الفصل الرابع:

على ضوء التحليل المناخي، يمكن استنتاج أن حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) يخضع لتأثيرات المناخ شبه الجاف، بمعدل تساقطات مطرية بلغ 514 ملم بمحطة تمسماط و458 ملم بمحطة أيت تمليل خلال المدة الزمنية (1976 - 2016). مكنتنا دراسة تغايرية التساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، باستخدام طرق مختلفة، من تسليط الضوء على تعاقب غير متجانس للسنوات الجافة والرطبة.

سمح لنا استخدام المؤشرات المناخية (معامل التغيير والمؤشر القياسي للتساقطات المطرية) تحديد خصائص تغيرات التساقطات المطرية خلال الفترات الجافة والرطبة، وقد تم الحصول على نتائج بالغة الأهمية. من بينها:

- الجفاف المفرط الذي عرفت بعض الفترات خلال السلسلة الإحصائية (1976-2016)، وقد كشف المؤشر القياسي للتساقطات المطرية عن شدة الجفاف المناخي خلال الفترتين (1976-1986) و (2008-2016). ومع ذلك، فإن تردد السنوات الرطبة فاق تردد السنوات الجافة بمحطتي الدراسة؛
- الجفاف المناخي المفرط بحوضي الدراسة وذلك سنة 2001 التي تُعتبر سنة استثنائية، وهو الشيء الذي توضحه عتبات المؤشر القياسي للتساقطات المطرية، التي تجاوزت 2- بمحطتي الدراسة.
- الرطوبة المفرطة التي تجاوز فيها المؤشر القيمة 2 وذلك سنة 1996؛
- امتداد فترات الوفرة على طول 6 أشهر لمحطة تمسماط (من شهر نونبر إلى شهر أبريل)، و5 أشهر فقط (من شهر نونبر إلى شهر مارس) بمحطة أيت تمليل، وذلك كما أوضحه المعامل الشهري للتساقطات المطرية (CMD)؛
- تردد القيم اليومية الأكثر من 10 ملم والتي تمثل 46 % من إجمالي التساقطات المطرية بمحطة تمسماط، حيث تساهم بشكل كبير في الواردات المطرية؛
- تردد القيم اليومية الأقل من 10 ملم بمحطة أيت تمليل.

إن الدراسة الإحصائية لبيانات التساقطات المطرية وتوزيعها على المستويين الزمني (السنوي والشهري واليومي) والمجالي، أعطانا فكرة واضحة عن أهميتها ووفرتها خلال فترات معينة، وعن العجز المناخي الحاصل في فترات أخرى. ستؤثر هذه الوفرة والندرة في التساقطات المطرية بشكل مباشر على تغيرات النظام الهيدرولوجي بالحوض من سنة لأخرى وهو ما سيتم دراسته في محور لاحق.

الفصل الخامس: دراسة وتحليل تغايرية درجات الحرارة والتبخر-النتح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1986-2016)

مقدمة الفصل الخامس

يعتبر التبخر-النتح، بعد التساقطات المطرية، أهم عنصر في دراسة الموارد المائية، والهدف من تحديد تغيراته هو حساب الميزانية المائية، التي ستمكننا من إنجاز تحليل مفصل لتوزيع كميات التساقطات المطرية على المفقودات من جراء التبخر-النتح المحتمل والرشح والجريان، مع الأخذ بعين الاعتبار إمكانيات حجز التربة للماء، خاصة المخزون السهل الاستعمال RFU ومن تم التفريق بين الفترة المطيرة وفترة العجز المائي. وسنعتمد في ذلك على معطيات درجات الحرارة لمحطة 'ايت سكمين' خلال المدة المدروسة (1986 - 2016).

سيتم التطرق، خلال هذا الفصل، إلى دراسة الميزانية المائية بعد تحليل إحصائي لمعطيات درجات الحرارة والتبخر-النتح، باعتماد أدوات إحصائية (الانحراف المعياري، تردد درجات الحرارة حسب قيم...) ومعادلات لحساب التبخر-النتح حسب صيغة (Thornthwaite, 1948).

يتأتى تحليل واستخلاص النتائج حسب محورية أساسيين:

المحور 9: دراسة التغيرات الزمنية لدرجات الحرارة على المستوى السنوي والشهري واليومي، وإبراز قيم درجات الحرارة الأكثر ترددا خلال السلسلة الزمنية المدروسة.

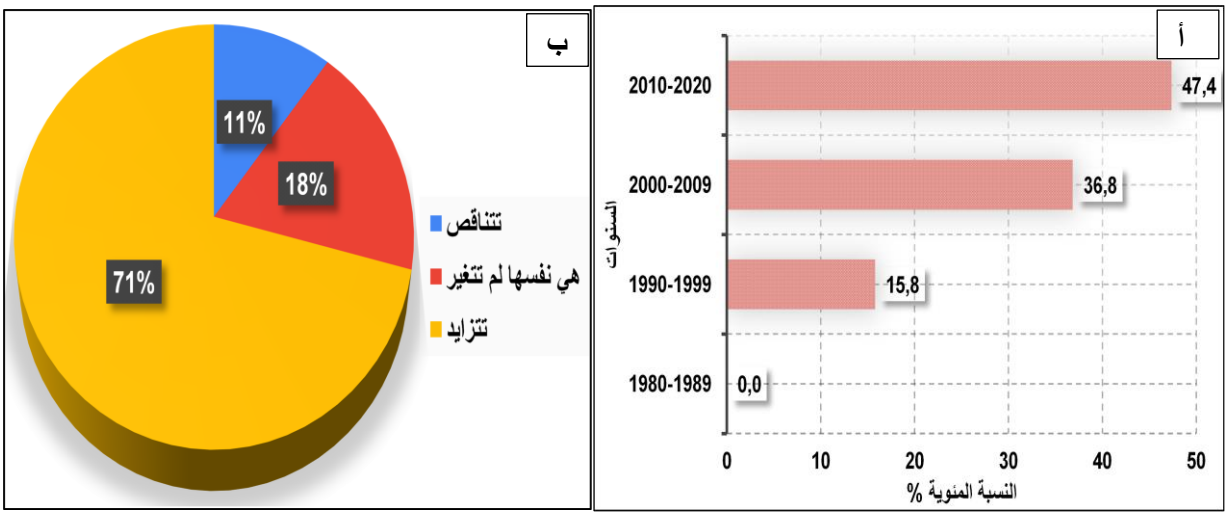
المحور 10: تقدير كميات التبخر-النتح المحتمل من خلال مقاربة تجريبية ونظرية، باعتماد متغيرات محددة. ثم دراسة التغيرات السنوية والشهرية للتبخر النتح.

إن الهدف الأساسي لدراسة تغيرات درجات الحرارة وتقدير كميات التبخر-النتح هو تسليط الضوء على فترات الوفرة وفترات العجز من خلال مقارنة المعطيات المناخية (التساقطات المطرية والتبخر-النتح) واستنتاج الميزانية المائية للحوض المدروس.

المحور 9: دراسة تغايرية درجات الحرارة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

نظرا للدور الذي تلعبه درجة الحرارة ضمن العوامل الطبيعية التي تؤثر على الموارد المائية، وذلك بالتقليل من مستوى منسوب المياه السطحية عن طريق التبخر حسب الفصول. كان لابد من دراسة وتحليل هذا العامل. لكن قبل التحليل الإحصائي لمعطيات درجات الحرارة حاولنا استفسار ساكنة الحوض وجمع مجموعة من المعلومات من العينة المستجوبة. وانطلاقا من تساؤلنا حول تطور درجات الحرارة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) خلال العقود الأخيرة، أكد 71% من المستجوبين أن المعدلات عرفت تزايدا ملحوظا خلال سنوات الأخيرة. وعند تدقيق السؤال حول الفترة التي عرفت احترارا ملحوظا، عبر 84% من المستجوبين أن الفترة ما بين 2000 و2020 شهدت معدلات مرتفعة في درجات الحرارة.

مبيان 41: الفترات التي شهدت أعلى درجات الحرارة (أ) ووتيرة تطورها (ب) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



بصفة عامة، أوضحت النتائج (مبيان 41) التي تم التوصل إليها من خلال الاستمارات أن درجات الحرارة عرفت نزعة نحو الارتفاع خلال العقدين الأخيرين. لذا سيتم خلال هذا المحور تأكيد أو نفي ما تم التوصل إليه على أرض الميدان، انطلاقا من دراسة وتحليل التغايرية الزمنية لمعدلات درجات الحرارة باعتماد طرق إحصائية انطلاقا من المعطيات التي توفرها محطة القياس بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). والهدف من ذلك هو إبراز تغيرات عنصر الحرارة على المستوى السنوي والشهري واليومي، ومدى تأثيرها على الموارد المائية خصوصا في الفترات التي تعرف معدلات مرتفعة في درجات الحرارة.

I. تقديم محطات قياس درجات الحرارة والتبخر

نظرا لغياب محطات لقياس الحرارة والتبخر-النتح داخل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، تم الاستعانة بمعطيات محطة مجاورة للحوض النهري مع احترام عامل الارتفاع، وقد تم اختيار محطة 'ايت سكمين'، الواقعة شمال الحوض على ارتفاع 1025 متر، لتوفرها على معطيات متجانسة ولفترة طويلة. لهذا سنعتمدها كمحطة مرجعية، في دراسة درجات الحرارة والتبخر-النتح بحوض تساوت عالية سد مولاي يوسف.

يبين جدول 29 إحداثيات المحطة:

جدول 29: خصائص ومعطيات محطة قياس 'ايت سكمين'(المصدر: ABHOR)

المحطة	السلسلة الإحصائية	x	y	z
'ايت سكمين'	1986-2016	361400	128000	1025

المصدر: معطيات وكالة الحوض المائي لأم الربيع

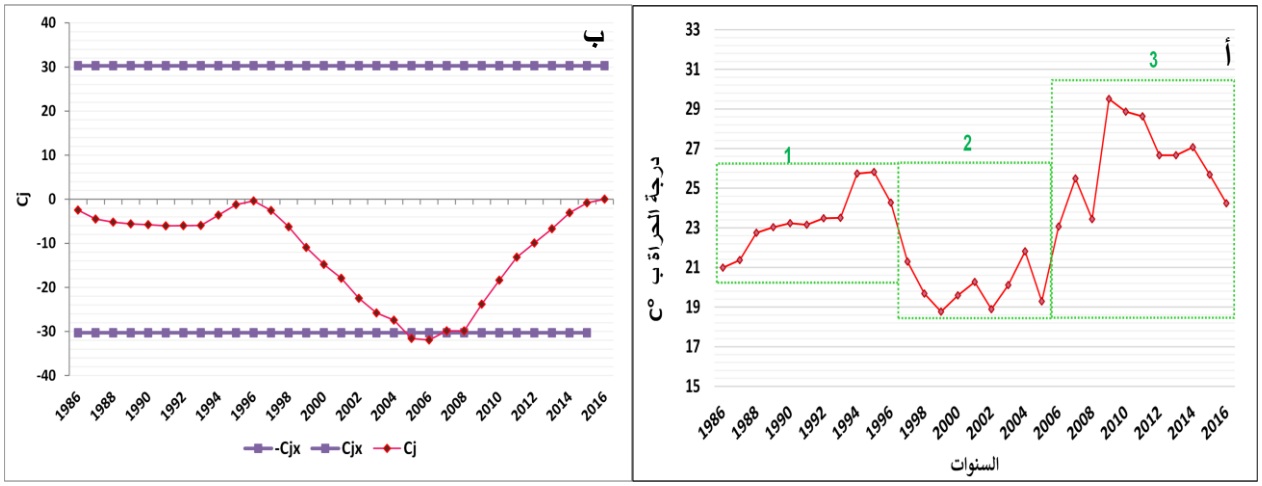
تمتد السلسلة الإحصائية على مدى 31 سنة، وهي فترة كافية لدراسة تغيرات درجات الحرارة بالحوض المدروس. وتعتبر الحرارة معيارا أساسا في تفعيل عمليات تبخر المياه، فقيم معدلاتها الشهرية، والسنوية، تتدخل مباشرة أو بتدخل عدة عوامل مناخية أخرى (مدة الإضاءة، وسرعة الجريان...) في تحديد عجز الجريان السنوي. كما تشكل قياسات درجات الحرارة معطىً أساسا في الدراسات الهيدرولوجية لما لها من أهمية في تحديد كميات التبخر والسلوك الهيدرولوجي خلال فترات الشح المائي، كما تشكل مدخلا أساسا في دراسة النمذجة الهيدرولوجية.

II. دراسة تغايرية درجات الحرارة على المستويين السنوي والشهري

1. المعدل السنوي لدرجة الحرارة

يمكننا المعدل السنوي لدرجة الحرارة من الوقوف على حالة المناخ بالحوض من خلال المعطيات المسجلة بمحطة 'ايت سكمين' خلال الفترة (1986 - 2016)، يعطينامبيان 42 فكرة حول درجة الحرارة السنوية بهذه المحطة.

مبيان 42: المعدلات السنوية لدرجة الحرارة بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016): أ) التغايرية البيسنوية. ب) طريقة CUSUM



عرفت درجة الحرارة بمحطة 'ايت سكمين' تباينا واختلافا من سنة لأخرى، حيث بلغت أعلى قيمة 29,5 °C سنة 2009، بينما سجلت أدنى قيمة 18,8 °C سنة 1999، وقد بلغ المعدل البيسنوي خلال السلسلة الإحصائية (1986 - 2016) 23,4 °C. وتميزت المدة المدروسة بتوالي فترات ذات نزعة نحو الارتفاع في درجات الحرارة، وأخرى نحو الانخفاض. وبتطبيق طريقة CUSUM على البيانات السنوية لدرجات الحرارة، تم التمييز بين ثلاث فترات نلخصها في الجدول 30.

تميزت درجات الحرارة خلال الفترة الممتدة بين (2006– 2009) بنزعة قوية نحو الارتفاع، بمعدل تدرج تصاعدي بلغ 1,6 °C في السنة (جدول 30)، إلا أن الفترة الممتدة بين 2010 و2016 فقد شهدت نزعة نحو الانخفاض ما يفسر قيمة النزعة المنخفضة (0,11) التي سجلتها الفترة (2006-2016)، وتبقى هذه الفترة الأكثر احترارا، حيث سجلت أعلى معدل للحرارة (26,3 C°)، كما تضمنت أعلى درجة حرارة سُجلت خلال السلسلة الإحصائية ب 29,5 °C سنة 2009. ونلاحظ أن الفرق بين معدل الفترة (1986- 2005) والفترة (2006- 2016) هو 4,7 C°. ويبدو أن هذه النتائج تؤكد نزعة عامة نحو الارتفاع في درجات الحرارة خلال السلسلة الإحصائية المدروسة.

جدول 30: تغيرات نزعة درجات الحرارة السنوية حسب الفترات بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016)

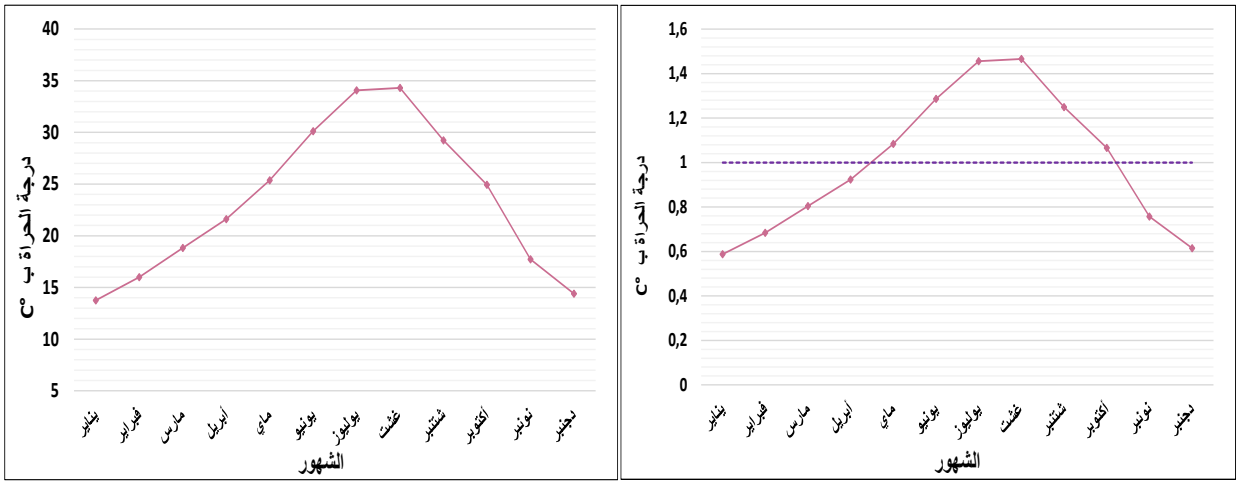
	المدة	معدل الفترة بـ°C	التدرج °C/السنة	الانحراف المعياري
الفترة الأولى	(1986 –1996)	23,4	0,30	1,5
الفترة الثانية	(1997 –2005)	20,0	-0,24	1,03
الفترة الثالثة	(2006 –2016)	26,3	0,11	2,2

2. المعدل الشهري لدرجة الحرارة

تعطينا المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة فكرة واضحة عن حالة الحرارة خلال السنة، والهدف من هذا التحليل هو إبراز علاقتها بوفرة الموارد المائية بالحوض المدروس، والتي ستوحي لنا بالفترات التي تعرف ظاهرة التبخر-النتح ارتفاعا، وهي التي ستشكل فترات عجز مائي (مبيان 43).

يلاحظ صعود تدريجي لمعدلات دراجات الحرارة الشهري انطلاقا من شهر فبراير (16 °C)، ليصل ذروته في شهر غشت حيث سجلت 34 °C ثم تهُم بالنزول تدريجيا مرة أخرى إلى غاية شهر يناير (13,5 °C)، الذي سجل أدنى درجات الحرارة خلال السنة، وبالتالي فإن معدل المدى الحراري للسلسلة الإحصائية المدروسة بلغ 23,3 °C وهذا يؤكد تأثير المناخ القاري على منطقة الدراسة. هناك علاقة عكسية بين الحرارة والتساقطات المطرية، فالأشهر الأقل تساقطا هي الأكثر حرارة والعكس صحيح. ومن تم فإن المحطة تسجل انخفاضا في درجة الحرارة خلال شهور فصل الشتاء وفصل الخريف اللذان يتميزان، كما سبقت الإشارة، بتساقطات مطرية مهمة.

مبيان 43: المعدل الشهري والمعامل الشهري لدرجة الحرارة بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016)



انطلاقا من المعامل الشهري لدرجات الحرارة، يمكن تقسيم السنة إلى موسمين كالتالي:

القيم التي تفوق 1 تمثل الموسم الحار من السنة، بينما القيم التي أقل من 1 تمثل الموسم البارد من السنة.

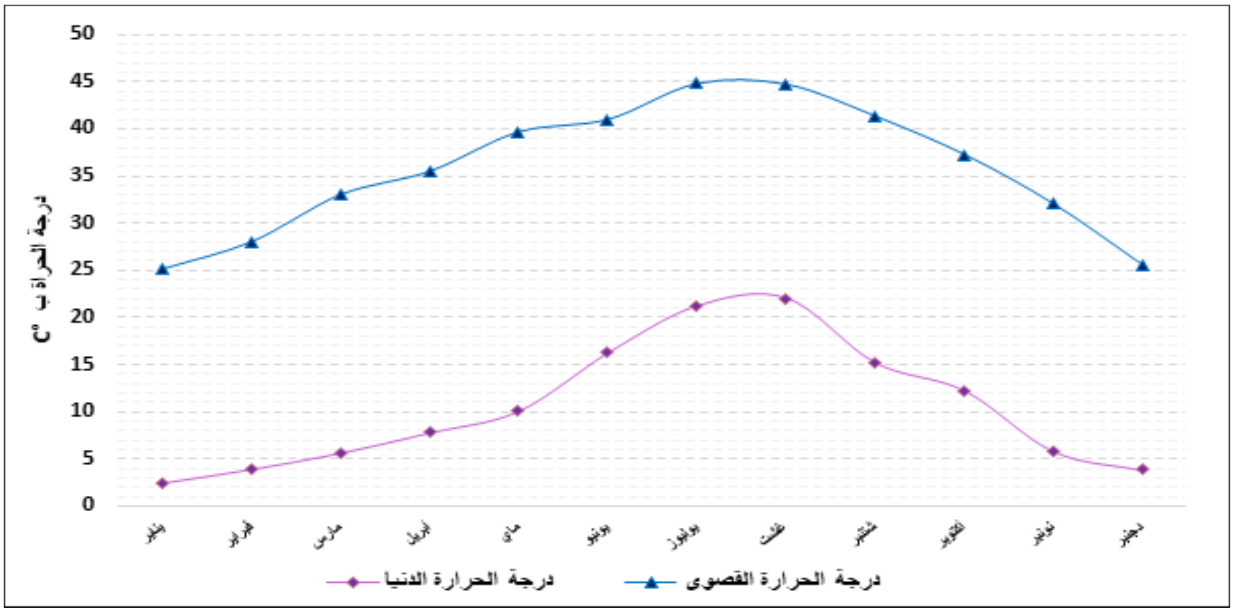
الموسم الحار: يبدأ هذا الموسم في شهر ماي، وخلال هذه الفترة التي دامت 6 أشهر فإن ارتفاع درجات الحرارة يوطد ظاهرة نتح النباتات والتبخر، ويؤدي إلى عجزا في الموارد المائية.

الموسم البارد: يبدأ هذا الموسم في شهر نونبر، ويبقى شهر يناير هو أكثر الأشهر برودة بمنطقة الدراسة، وتتميز هذه الفترة بتساقطات ثلجية خصوصا بعالية الحوض حيث التضاريس مهمة.

3. درجات الحرارة العليا والدنيا

تؤثر درجات الحرارة العليا والدنيا بشكل كبير على المجال، لأنها تبرز لنا بشكل واضح شدتها خلال بعض الأشهر، وهي أكثر دقة من المعدلات، وقد تم تحليل معطياتها بمحطة 'ايت سكمين' خلال السلسلة الإحصائية (1986 - 2016) حسب المبيان 44:

مبيان 44: درجات الحرارة القصوى والدنيا بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016)



سجلت محطة 'ايت سكمين' معدلا لدرجة الحرارة العليا بلغ C°35,7 ، والتي تأخذ قيما متفاوتة خلال أشهر السنة. وتتأرجح معدلات درجات الحرارة العليا الشهرية بين C° 25 في شهر يناير و C° 44,8 في شهر غشت، بينما الحرارة الدنيا فقد سجلت C° 10,5 كمعدل سنوي بنفس المحطة، وهي بدورها تتغير من شهر لآخر وقد تأرجحت بين C° 2,5 في شهر يناير وC° 22 في شهر غشت. نستنتج أن المدى الحراري السنوي مهم بمحطة الدراسة، وهذا يبين أن درجة الحرارة بمنطقة الدراسة تعرف معدلات لدرجات الحرارة القصوى مهمة، مما سيكون له تأثير كبير على ظاهرة التبخر والنتح.

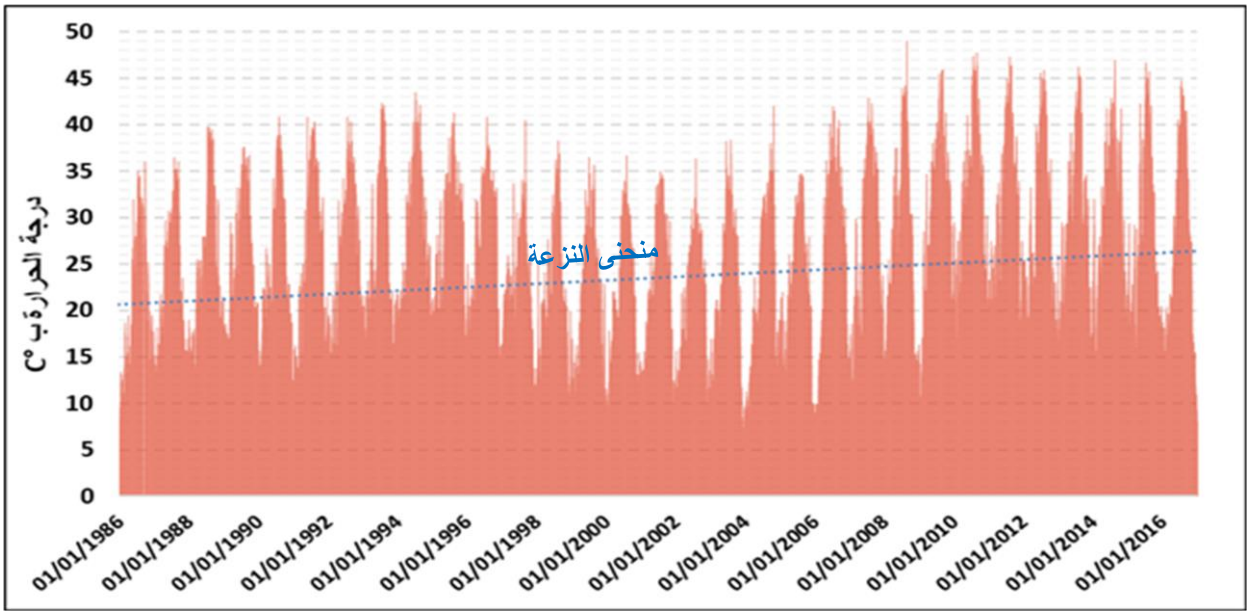
III . دراسة تغايرية درجات الحرارة على المستوى اليومي

1. المعدل اليومي لدرجات الحرارة

تتم عملية قراءة مقياس الحرارة (Thermomètre)، بمحطة 'ايت سكمين' أربع مرات في اليوم (21h, 18h, 14h, 7h)، ونتوفر في هذه الدراسة على البيانات اليومية الخاصة بها على مدى 31 سنة (1986 - 2016). الشيء الذي سيمكننا من دراسة التغيرات اليومية لدراجات الحرارة، خصوصا وأن مجال الدراسة ينتمي للمجال شبه الجاف حيث ارتفاع عدد ساعات التشميس، ونشاط عملية التبخر-النتح.

يؤكد التوزيع اليومي لدرجات الحرارة (مبيان 45) ما تم التوصل إليه على المستوى السنوي خلال السلسلة المدروسة، حيث يلاحظ ارتفاع درجات الحرارة خلال 31 سنة المدروسة، كما أن هناك ارتفاع في قيم درجات الحرارة ابتداء من 2002 بشكل تدريجي، وقد تميزت الفترة الممتدة من سنة 2008 إلى 2015 بقيم عليا، والتي فاقت C° 45. إن ارتفاع درجات الحرارة يمكن أن يزيد في تبخر المياه الموجودة في الجو، وزيادة المواسم الجافة، كما أن زيادة التبخر يقلل من مستويات الرطوبة في التربة، وهذه العوامل مجتمعة يمكن أن يكون لها انعكاسا سلبيا على الموارد المائية بالحوض. ومن أجل دراسة النظام الحراري على طول السنة، سنعمل على تحليل التغيرات اليومية لمعدل درجات الحرارة خلال الفترة المدروسة (1986 - 2016).

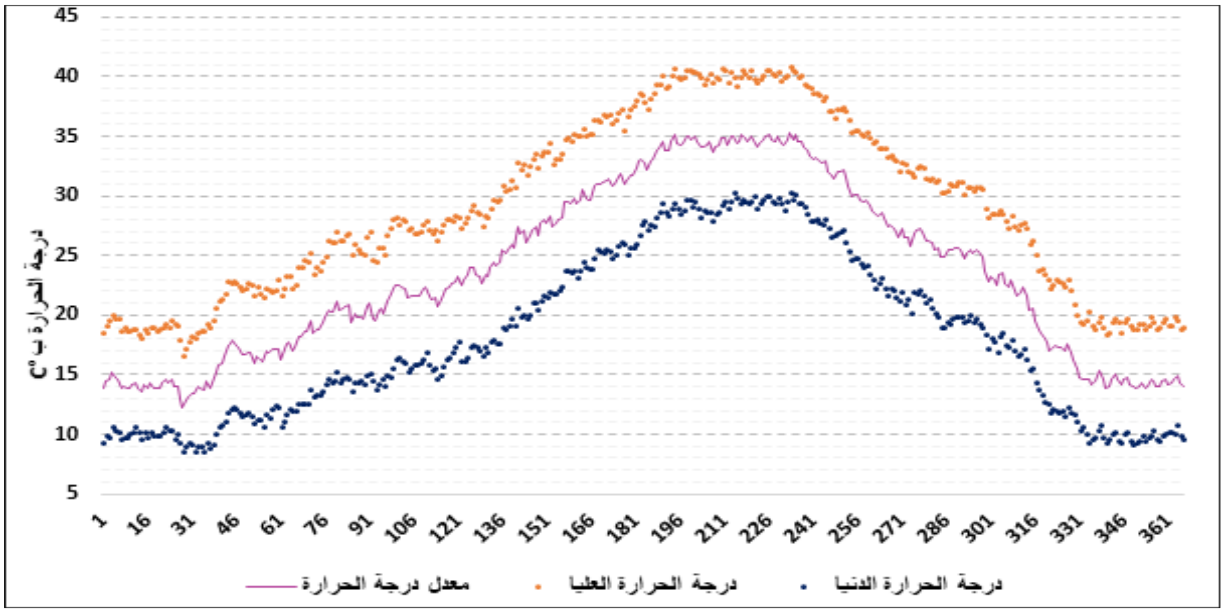
مبيان 45: المعدل اليومي لدرجات الحرارة بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016).



2. التغايرية اليومية لدرجات الحرارة

لدراسة التغايرية اليومية، سيتم حساب معدل درجة الحرارة اليومية خلال السلسلة الإحصائية (1986 - 2016) على طول 365 يوم، والهدف من ذلك هو تحليل نظام تغيرها على طول السنة، وتحديد الفترات التي تعرف ارتفاعا في درجات الحرارة، والتي سيكون لها تأثير على الموارد المائية بالحوض.

مبيان 46: التغيرات اليومية لمعدل درجات الحرارة بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016)



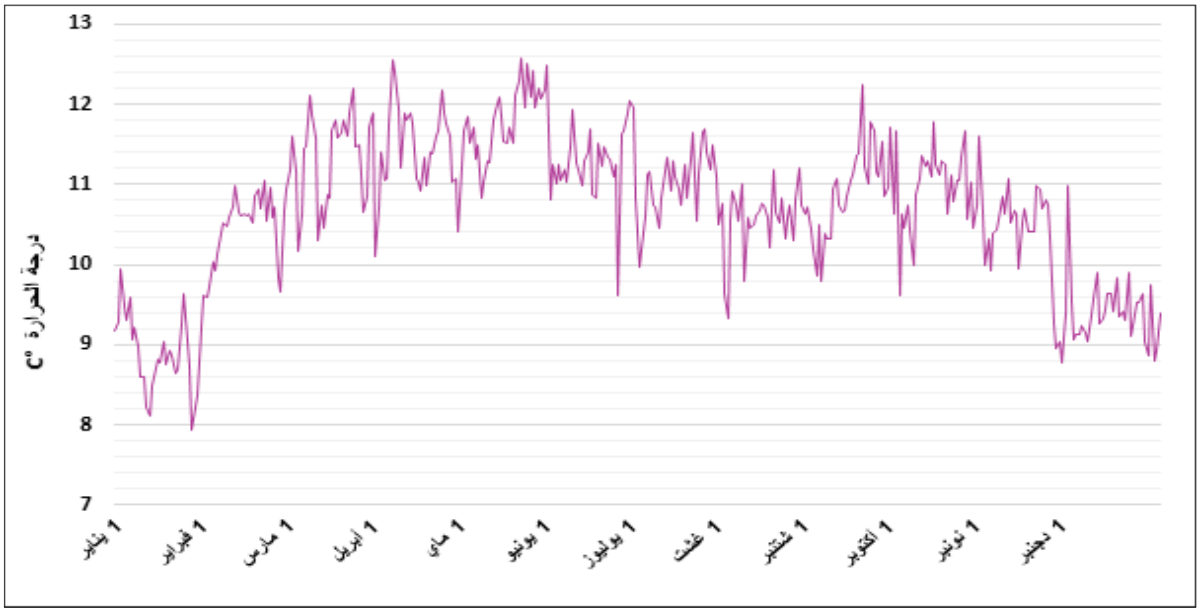
تُظهر النتائج (مبيان 46) فترتين متباينتين خلال السلسلة الإحصائية (1986 - 2016)، الفترة الأولى تعرف تزايدا في درجة الحرارة، تبتدئ في شهر يناير وتستمر في الارتفاع إلى غاية شهر غشت، حيث تتأرجح معدلاتها بين 13°C و35 °C. أما الفترة الثانية عرفت انخفاضا في درجات الحرارة، تنطلق من شهر غشت لتصل أدنى قيمة في شهر يناير. كما تعرف درجات الحرارة الدنيا والعليا تغيرات بشكل مترابط مع المعدل اليومي لدرجات الحرارة. وهذا يؤكد ما تم التوصل إلية في دراسة المعامل الشهري لدرجات الحرارة حيث يتميز المناخ بمنطقة الدراسة بموسمين

مختلفين، موسم بارد وموسم حار، هذا الأخير يدوم 6 أشهر خلال السنة ابتداء من شهر ماي إلى غاية شهر أكتوبر، حيث تتراوح معدلاتها بين 25 C° و35 C°، أما درجات الحرارة العليا فتفوق 40 C° خلال فصل الصيف، الشيء الذي يترتب عليه انعكاسا سلبيا على الموارد المائية السطحية بالحوض.

3. تغايرية المدى الحراري

يعبر الفرق بين قيمتي درجة الحرارة العليا والدنيا على المستوى اليومي، عن مدى التغير اليومي لدرجة الحرارة. وقد عملنا على استخراجه من المعطيات اليومية التي توفرها محطة 'ايت سكمين' خلال السلسة الإحصائية (1986 - 2016)، والهدف من ذلك هو تحليل التغيرات اليومية للمدى الحراري خلال 365 يوم.

مبيان 47: تغيرات المدى الحراري بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016)

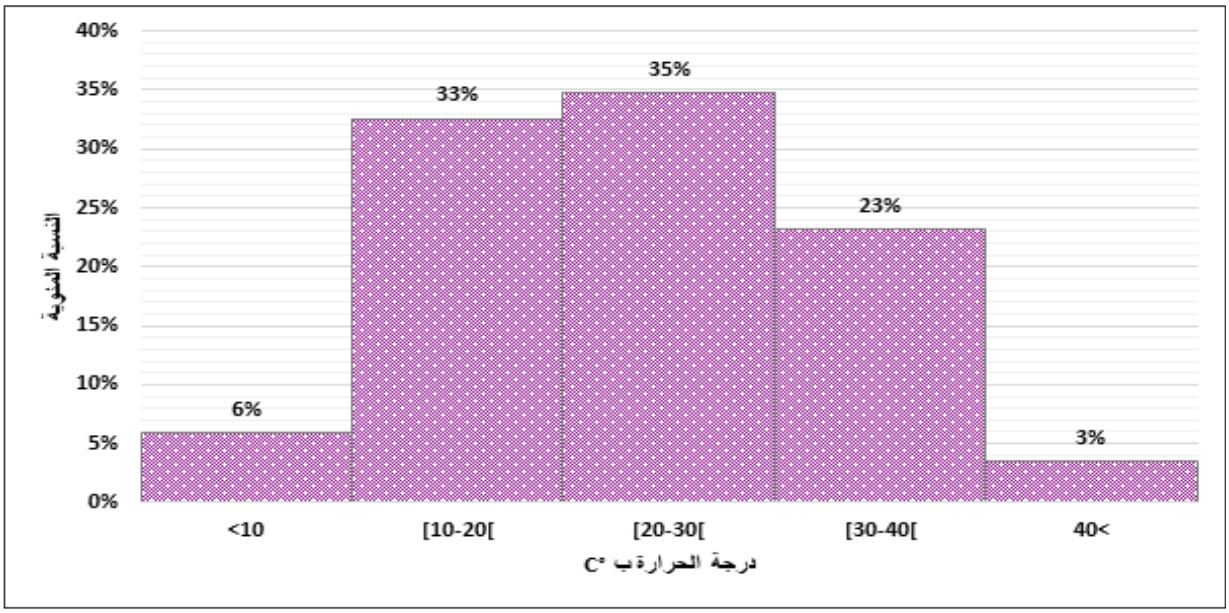


عرف المدى الحراري (مبيان 47) بمحطة 'ايت سكمين' تغيرات قوية خلال أشهر السنة، بمعدل 10,4 C° خلال المدة الزمنية المدروسة وبانحراف معياري بلغ 0,8 C°. وقد تميزت الفترة الممتدة من شهر مارس إلى نهاية شهر ماي بمدى حراري مهم، حيث بلغ المعدل خلالها 11C° ، وقد تتميز هذه الفترة بانخفاض مهم في درجات الحرارة خلال الليل بسبب تبريد السطح نتيجة الإشعاع ومن تم يبرد الهواء القريب منه، بالإضافة إلى تأثير موجات البرد والصقيع التي تسببها الثلوج المتراكمة على المرتفعات. بينما عرف شهر دجنبر ويناير وفبراير مدى حراري أقل، بمعدل 9,5 C°، وهذه الفترة توافق انخفاض في درجات الحرارة خلال فترتي النهار والليل، مما يفسر انخفاض معدل المدى الحراري.

4. تردد درجات الحرارة اليومية

تمكن دراسة تردد درجات الحرارة اليومية من فهم أكثر للمناخ بالمجال من خلال تفيئ هذه القيم إلى مجالات بوسع 10 C°، اعتمادا على معطيات درجات الحرارة اليومية بمحطة ايت سكمين (1986-2016). الهدف من هذه المرحلة هو إبراز قيم درجات الحرارة الأكثر ترددا خلال الفترة المدروسة (مبيان 48).

مبيان 48: تردد قيم درجات الحرارة اليومية حسب المجالات بمحطة ،ايت سكمين' (1986 - 2016)



تمثل درجات الحرارة المحصورة بين [20-30[°C القيم الأكثر ترددا بالسلسلة الإحصائية المدروسة بنسبة 35%، مع العلم أن المعدل السنوي لدرجات الحرارة خلال المدة المدروسة (23,5 °C) ينتمي لهذه الفئة. كما تمثل القيم الحدية نسبة ضعيفة ضمن السلسلة المدروسة، فدرجات الحرارة الأكثر من 40 °C لا تتجاوز 3%، وهي أكثر تركزا في فترة الصيف، وهذه إحدى خصائص المناخ شبه الجاف. وإذا ما أخذنا قيم درجات الحرارة التي تفوق 20 °C سنجدها تمثل أكثر من 60 % من العينة، مما سيكون له انعكاس مهم على ظاهرة التبخر-النتح بالحوض، وبالتالي تأثير على الموارد المائية السطحية على الخصوص.

خلاصة

تميزت درجات الحرارة بتغيرات على المستوى الزمني، وهذا ما وضحته الدراسة السنوية والشهرية واليومية. والتي أظهرت أن معدلات درجات الحرارة عرفت ارتفاعا خلال العشر سنوات الأخيرة، بالإضافة إلى أن الحوض يتميز بموسم حار يدوم 6 أشهر، إذ تعرف خلاله درجات الحرارة قيما قصوى تفوق 45 °C على المستويين الشهري واليومي، هذا العامل الطبيعي سيكون له تأثير على الموارد المائية السطحية ومخزون التربة عن طريق عمليات التبخر-النتح، التي ستنشط بقوة، خصوصا أننا بصدد دراسة أحد الأحواض النهرية المنتمية إلى المجال شبه الجاف. لذا سنهتم في المرحلة الموالية بدراسة ظاهرة التبخر-النتح باعتباره أحد العوامل الطبيعية التي تؤثر على الجريان السطحي بشكل خاص وعلى الميزانية المائية بالحوض بشكل عام.

المحور 10: دراسة التبخر-النتح وحساب الميزانية المائية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

يعتبر التبخر والنتح عاملان متلازمتان فهما مكونان رئيسيان في الدورة المائية في الطبيعية، حيث يشكلان حدثا واحدا عند تقييمهما. فالتبخر يمس المسطحات المائية والأراضي المشبعة والرطبة، في حين يعبر النتح عن التنفس الفيزيولوجي للنباتات (الغطاء النباتي). هذا الازدواج في المصطلح جعل منه حدث معقد وصعب التقييم بسبب غياب أو نقص المعدات الفعالة للقياس الدقيق لهذا الحدث. غير أن اللجوء إلى الصيغ الرياضية والتجريبية أصبح ضرورة لا مفر منها من أجل تقييمها. تعتمد دراسة هذا الحدث على عدة معطيات مناخية من بينها درجة الحرارة، وسرعة الرياح، رطوبة الهواء وكذا عدد الساعات التشميس. في هذا المحور سنقوم بحساب وتقييم كميات التبخر-النتح استنادا إلى بيانات درجات الحرارة لمحطة ايت سكمين خلال الفترة (1986-2016). سنعتمد في ذلك على صيغ رياضية حسب الخصوصيات المناخية لمنطقة الدراسة وكذا حسب المعطيات المتوفرة في ذلك.

I. دراسة التبخر-النتح على المستويين السنوي والشهري

اثبتت الدراسة السابقة أن حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) يتلقى تساقطات مطرية في أغلب أشهر السنة، غير أن كل هذه الواردات المائية غير متاحة للاستخدام، لأن جزء مهم منها يُفقد عن طريق التبخر-النتح. لذا سيتم حساب كميات التبخر-النتح باعتماد صيغة رياضية ملائمة للخصوصيات المناخية، والمعطيات المتاحة.

1. التبخر-النتح المحتمل

يعتمد تقدير التبخر-النتح المحتمل Évapotranspiration Potentielle لمجال فيزيائي على مقاربات ممكنة من خلال معادلات تجريبية ونظرية، باعتباره أكثر تعقيدا، حيث تجمع بين التبخر الفيزيائي، والنتح البيولوجي للنبات، فقيم التبخر-النتح المحتمل (بالملم) من خلال القياسات الميدانية (عن طريق أجهزة القياس) تتعلق فقط بمحطات مجهزة، كما أن التبخر-النتح المحتمل المقيس يمثل التبخر-النتح الفيزيولوجي لمساحة معنية ومحدودة، مما يستدعي تقييم التبخر-النتح المحتمل المناخي على مجال أوسع (Mjejra, 2015) . وعلى هذا الأساس تم اقتراح عدة معادلات لحساب التبخر-النتح المحتمل وذلك من خلال أربعة معايير أساسية: الحرارة – الرطوبة –الرياح – الإشعاع الإجمالي.

ومن أهم المعادلات التي اعتمدناها في حساب التبخر-النتح المحتمل على أساس توفر المعطيات، وتلاؤمها مع مجال الدراسة هما معادلتي تورنطوايت وتورك.

1.1. طريقة تورنطوايت

اختصت أعمال (Thornthwaite,1948) في البحث عن أحسن منهجية في التصنيفات المناخية على المستوى العالمي، ويعتمد في حساب تبخر-النتح لأي منطقة على أساس درجات الحرارة من خلال صيغته المدونة مع النتائج المحصل عليها في حساب ETP لمحطة الدراسة 'ايت سكمين'. ولازالت هذه المعادلة تقدم خدمات كبيرة في تحديد التبخر-النتح لسهولة تطبيقها.

$$ETP=16(10\ T/I)^{a}.K \qquad 5.1$$

ETP : التبخر-النتح المحتمل الشهري ب الملم؛

T : متوسط الحرارة الشهري؛

I : مؤشر الحرارة السنوي والذي يساوي مجموع المؤشرات الشهرية ل 12 شهرا (i)؛

K : عامل تصحيحي استنادا إلى الشهر وخط عرض مجال الدراسة؛

a : صيغة تقريبية $a=0.016 * I + 0.5$؛

$$I = \sum_{m=1}^{12} i(m) \qquad 5.2$$

مع $i=(0.2T\ °c)^{1.514}$ 5.3

جدول 31: العامل التصحيحي K استنادا إلى الشهر وخط عرض منطقة الدراسة

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	ماي	يونيو	يوليوز	غشت	شتنبر	أكتوبر	نونبر	دجنبر
K	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,20	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88

المصدر (Monographie N°65 de la Météorologie Nationale,1968)

تتميز هذه المعادلة بسهولة استخدامها نظرا لتوفير البيانات المناخية المتعلقة بتطبيقها، إلا أنه يؤخذ عليها اعتمادها المطلق على درجة الحرارة، وتأخر تقديراتها اليومية عن المسار اليومي والسنوي لدرجة الحرارة، إضافة إلى افتراضها توقف عملية التبخر عند درجة حرارة الصفر، ثم عدم احتسابها لتأثير الرياح على عملية التبخر (Mjejra, 2015).

2.1. طريقة تيورك

يمكن حساب كميات التبخر-النتح اعتمادا على مجموعة من الصيغ التي أُشتهرت من قبل (Turc, 1961) على أساس النتائج التي توصلوا لها بناءً على دور النباتات ومساهمتها في تفعيل عمليات التبخر وكذلك دراسة الموازنة الهيدرولوجية لعدة أحواض مائية، ومن تم فمعادلة تورك (Turc, 1969) تأخذ بعين الاعتبار أهم العناصر التي تؤثر على التبخر– النتح المحتمل التي تكمن في: الحرارة، الإشعاع الشمسي، مخزون التربة من المياه.

$$\mathrm{ETP} = K\left(\frac{T}{T+15}\right)(Ig+50)\left(1+\frac{0.5-HR}{0.7}\right) \quad 5.4$$

ملاحظة: يتم إدراج الصيغة التالية بالنسبة للمجلات الجافة وشبه الجافة: $\left(1+\frac{0.5-HR}{0.7}\right)$

مع:

ETP : التبخر- النتح المحتمل بالملم؛ HR: الرطوبة النسبية؛ T: معدل درجة الحرارة الشهري ب °C؛

$$\mathrm{Ig} = Iga\left(0.18+0.62\frac{h}{H}\right) \quad 5.5$$

بحيث

Ig: الإشعاع الشمسي العام؛ h: عدد ساعات التشميس الملاحظة؛

H : عدد ساعات التشميس القصوى الممكنة خلال الشهر؛

Iga : معدل الإشعاع اليومي بالنسبة للشهر التقويمي استنادا لخط عرض منطقة الدراسة؛

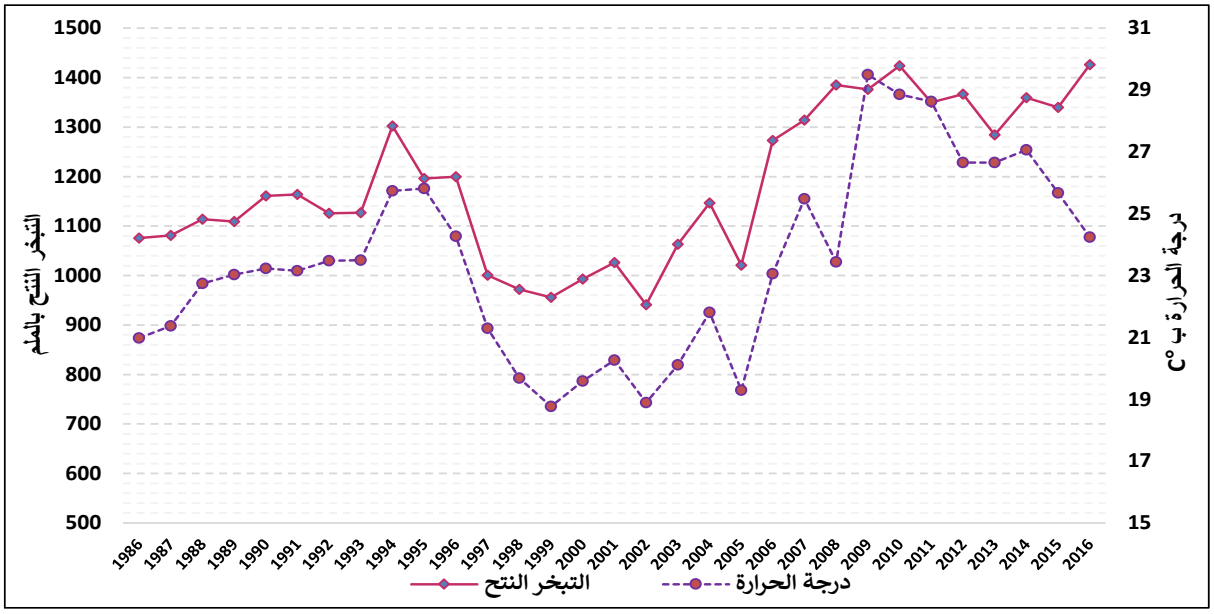
ونظرا لغياب معطيات الرطوبة وعدد ساعات التشميس في البيانات المحصل عليها في مجال الدراسة، لعدم قياسها بمحطات الدراسة أو المحطات المجاورة، سيتعذر علينا الاستعانة بطريقة (Turc, 1961)، لهذا السبب سنعمل على قياس ETP باستعمال طريقة (Thornthwaite,1948) رغم النقد الموجه لها والذي يأتي من جانب مدى قابليتها أو تلاؤمها وفق النطاقات المناخية، إلا أنها أكثر استعمالا عبر أنحاء العالم لسهولة تطبيقها، باعتبار المعطيات الحرارية أكثر توفر لدى محطات الرصد الجوي.

2. التغايرية السنوية للتبخر-النتح المحتمل

يتميز التبخر-النتح المحتمل، كما هو الحال بالنسبة لدرجات الحرارة، بتغيرات من سنة لأخرى ومن شهر لآخر، والتي تم حسابها اعتمادا على طريقة (Thornthwaite,1948) وبناءً على معطيات درجات الحرارة التي توفرها محطة 'ايت سكمين' خلال الفترة الممتدة بين (1986 - 2016).

تعرف قيم التبخر-النتح، خلال السلسلة الإحصائية التي بصدد دراستها، تغيرات زمنية من سنة لأخرى، في علاقتها بالتغيرات الحرارية، سيتم تحليل الارتباط بين درجات الحرارة والتبخر-النتح المحتمل من خلال المبيان 49:

مبيان 49: التغيرات السنوية للتبخر-النتح المحتمل ودرجات الحرارة بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016)



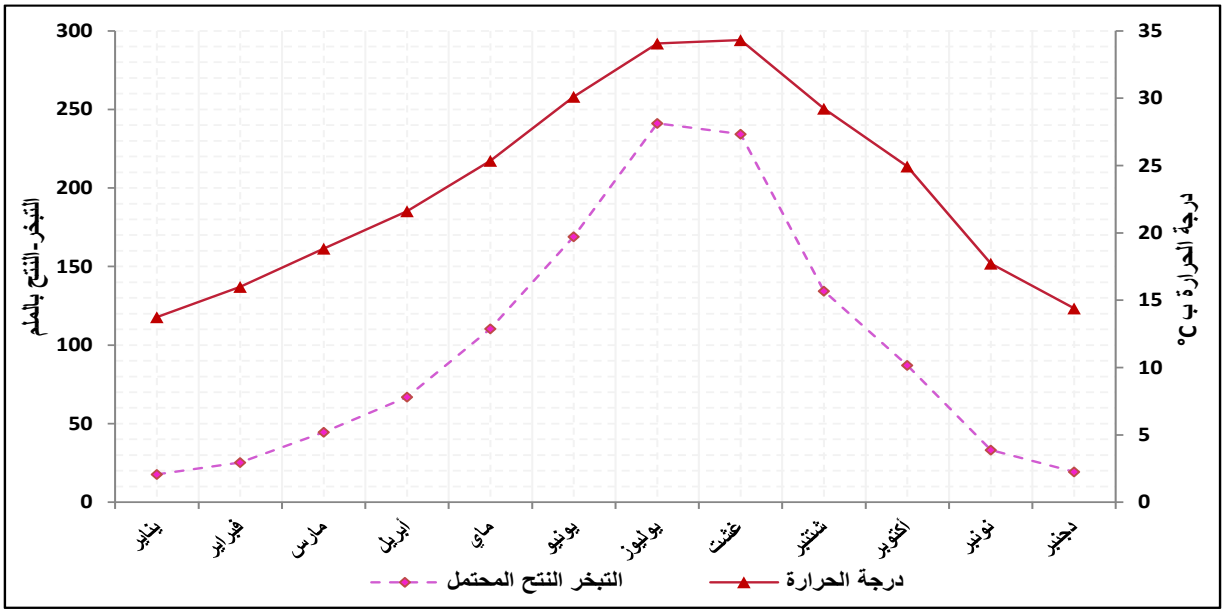
تظهر علاقة ترابط واضحة بين تغيرات التبخر-النتح المحتمل ودرجات الحرارة بمحطة الدراسة، حيث يتسمان بنفس الإيقاع من سنة لأخرى. وقد عرفت الفترة الممتدة بين (1986– 1994) ارتفاعا مطردا في درجات الحرارة والتبخر-النتح المحتمل بلغ أقصاه سنة 1994 بمعدل سنوي 1302 ملم. ثم انخفضت بشكل تدريجي خلال الفترة الممتدة بين (1995– 1999). غير أنه ابتداء من 2000 عرفت درجات الحرارة ارتفاعا واكبه زيادة في كميات التبخر-النتح المحتمل، ليصل ذروته سنة 2010 بمعدل بلغ 1424 ملم، وهو أعلى معدل خلال السلسلة الإحصائية. وبالتالي، عرف توزيع كميات التبخر-النتح المحتمل تباينا زمنيا خلال المدة المدروسة (31 سنة)، بمعدل 1183 ملم، وبانحراف معياري 151 ملم، إلا أنه خلال النصف الثاني من السلسلة الإحصائية سجلت المعدلات قيما مهمة فاقت المعدل السنوي للسلسلة الإحصائية، حيث كان لها تأثير على الميزانية المائية بالحوض.

3. التغايرية الشهرية للتبخر-النتح المحتمل

الهدف من دراسة التغيرات الشهرية للتبخر النتح المحتمل تحديد الفترات خلال السنة التي ينشط فيها هذا الحدث الطبيعي، وهي التي ستشكل فترات العجز في الموارد المائية.

نسجل على المستوى الشهري (مبيان 50) تباين في قيم التبخر-النتح المحتمل، إذ أخذت إيقاعا موسميا حسب تغيرات درجات الحرارة. تميز الموسم البارد، الممتد من شهر نونبر إلى شهر أبريل، بقيم ضعيفة للتبخر النتح المحتمل تراوحت بين 17,5 ملم و66 ملم، أما الموسم الحار الممتد بين شهر ماي وشهر أكتوبر فقد عرف كمية مهمة من التبخر-النتح المحتمل تراوحت بين 87 ملم في شهر أكتوبر و241 ملم كأعلى قيمة في شهر يوليوز.

مبيان 50: التغيرات الشهرية للتبخر-النتح المحتمل ودرجات الحرارة بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016)



II. الميزانية المائية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1986 - 2016)

نُعبر عن الميزانية المائية Bilan Hydrique بالفرق بين المدخلات وفقدان الماء، وبشكل أدق، فإنها تُمكننا من تحديد التبادلات بين الغلاف الجوي والسطح (Derive, 2003). تنتج مساهمات النظام الهيدرولوجي للحوض عن الميزانية المائية، التي تتشكل أساسا، من التساقطات المطرية الخام(P) من جهة، والمياه المفقودة عن طريق التبخر-النتح (ETP) من جهة أخرى. وتمثل النتائج الإيجابية لهذه الميزانية (P-ETP) الموارد المائية الفعلية التي تساهم في الجريان، إما بشكل مباشر عن طريق الجريان السريع للإمتطاح، أو بشكل غير مباشر، عن طريق عبوره من الفرشة الباطنية (المناطق غير المشبعة ثم المشبعة). ترتكز هذه الميزانية على مقارنة المعطيات الشهرية للتساقطات المطرية ومعطيات التبخر-النتح المحتمل، وسيتم ذلك على مستوى الحوض الفرعي لأيت تمليل وحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). ويتجلى الهدف الأساسي من مقاربة الميزانية المائية، هو تنظيم البيانات المناخية في علاقتها بتوفر الموارد المائية بالحوض المدروس.

1. المتغيرات المعتمدة في إنجاز الميزانية المائية

ترتكز هذه الميزانية على متغيرين أساسين من المعطيات المناخية:

- **التساقطات المطرية**: توافق معدل التساقطات المطرية الشهرية حسب طريقة كريج للتوزيع المجالي المعتمد خلال السلسة الإحصائية (1986 - 2016)، والتي تمثل فترة التقاطع مع المعطيات المتعلقة بالحرارة والتبخر-النتح.
- **التبخر-النتح المحتمل**: والتي تمثل المعدل الشهري خلال الفترة الزمنية المتوفرة (1986 - 2016) بمحطة 'ايت سكمين'، والتي تم حسابها بواسطة طريقة (Thornthwaite,1948).

2. نتائج الميزانية المائية

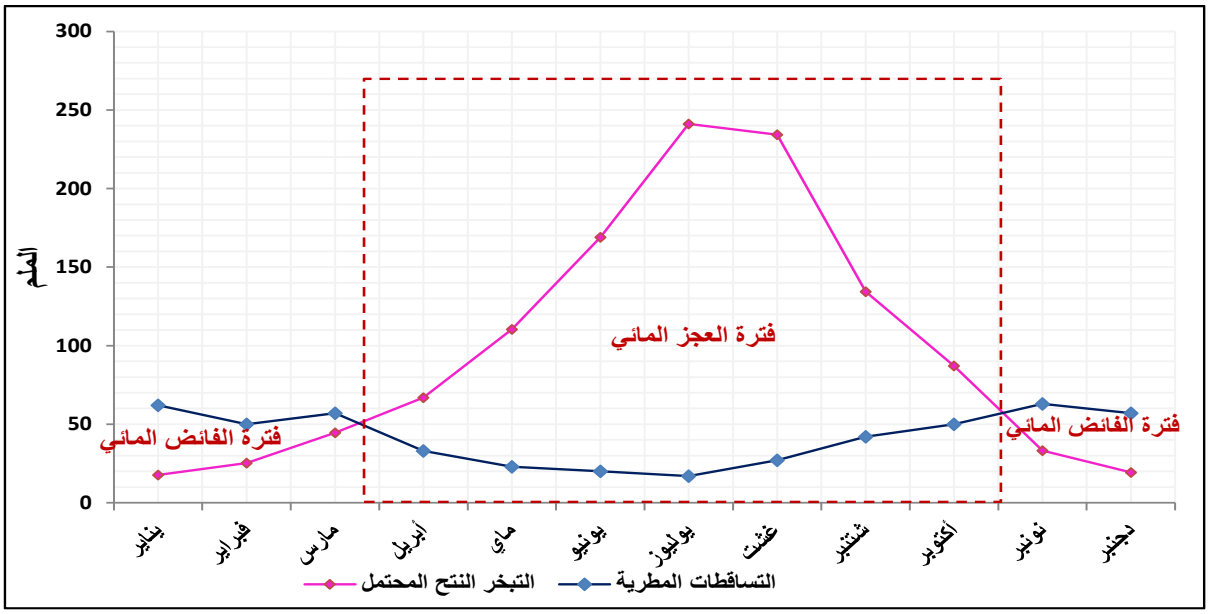
تمكننا علاقة المقابلة ما بين معدلات التساقطات المطرية الشهرية والتبخر-النتح المحتمل من التمييز ما بين الفترات التي تشهد فائضا مائيا وتلك التي تعرف عجزا مائيا، فمن خلال الجدول التالي، الذي يمثل الميزانية المائية، نستطيع استخلاص هذه الفترات والتفصيل فيها كما في الجدول 32:

جدول 32: الميزانية المائية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1986 - 2016)

	يناير	فبراير	مارس	أبريل	ماي	يونيو	يوليوز	غشت	شتنبر	أكتوبر	نونبر	دجنبر	العجز	الفائ
P (mm)	62	50	57	33	23	20	17	27	42	50	63	57		
ETP (mm)	18	25	44	66	110	169	241	234	134	87	33	19		
P-ETP	**44**	**25**	**13**	**-33**	**-87**	**-149**	**-224**	**-207**	**-92**	**-37**	**30**	**38**	**-831**	**149**

تفوق كمية التبخر-النتح المحتمل كمية التساقطات المطرية على المستوى السنوي، وبذلك فإن كمية العجز المائي تبلغ 793 ملم، أما كمية الفائض المائي فبلغت 149 ملم، والتي تمثل، فعلا، الجريان النظري بالحوض المدروس (El Ghachi,2007).

مبيان 51: الميزانية المائية بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) (1986 - 2016)



على المستوى الشهري (مبيان 51)، تكون قيم التبخر-النتح المحتمل، خلال فترة العجز المائي، أكبر من قيم التساقطات المطرية والتي توافق الفترة الممتدة بين شهر أبريل وأكتوبر، أي لمدة 7 أشهر من السنة بالنسبة للحوض، وبلغت أقصاها في شهر يوليوز حيث يبلغ الفارق 224- ملم. توافق فترات الفائض المائي، والذي تكون فيه قيم التساقطات المطرية أعلى من قيم التبخر-النتح المحتمل، الأشهر الرطبة الممتدة على مدى خمسة أشهر (من شهر نونبر إلى شهر مارس)، هذه الكميات التي تمثل الفائض المائي هي المسؤولة، بشكل أساسي، عن الموارد المائية السطحية منها والجوفية بالحوض المدروس، والتي نحن بصدد دراستها (El Ghachi,2007).

خلاصة

عرفت درجات الحرارة ارتفاعا تدريجيا واكبه ارتفاع في قيم التبخر-النتح المحتمل ابتداء من سنة 2000، ليصل ذروته سنة 2010 بكمية بلغت 1424 ملم، وهي أعلى قيمة خلال السلسلة الإحصائية. وقد سجلت قيم التبخر-النتح المحتمل تباينا على المستوى الشهري، إذ تأخذ إيقاعا موسميا حسب تغيرات درجات الحرارة. وأفرز هذا الارتفاع في كميات التبخر-النتح المحتمل عجزا في الميزانية المائية لمدة 7 أشهر (بين شهر أبريل وأكتوبر). يمكن أن يؤثر ارتفاع معدلات درجات الحرارة وطول عدد ساعات التشميس، التي تؤدي إلى الزيادة في كميات التبخر-النتح بشكل مباشر، على الموارد المائية المتاحة والجريان السطحي بالحوض، خصوصا خلال الفترات الصيفية من السنة.

خاتمـــــة الفصل الخامس:

أظهر التحليل الإحصائي لمعطيات درجات الحرارة والتبخر-النتح بمحطة ايت سكمين خلال السلسلة الزمنية (1986-2016) عدة نتائج يمكن أن نجملها على الشكل التالي:

- بلغ المعدل البيسنوي خلال السلسلة الإحصائية (1986 - 2016) 23,4 °C بمحطة الدراسة.
- سجلت الفترة الزمنية (2006– 2009) نزعة قوية نحو الارتفاع، في درجات الحرارة، بمعدل تدرج تصاعدي بلغ 1,6 °C في السنة،
- عرف الحوض المدروس فترات ارتفاع وانخفاض في قيم درجات الحرارة، مع نزعة نحو الارتفاع في المعدلات السنوية والتي بلغت +0,9 °C خلال الفترة المدروسة (31 سنة).
- كان لارتفاع دراجات الحرارة تأثير واضح في ارتفاع كميات التبخر-النتح بالمجال المدروس، وقد سجلت نزعة نحو الارتفاع بلغت 5 ملم خلال السلسلة المدروسة.
- تميزت السنة بموسمين حراريين، حسب نتائج الميزانية المائية: الموسم الشتوي الممتد على مدى خمسة أشهر، المتميز بكمية التبخر-النتح المحتمل منخفضة، وتساقطات مطرية مهمة، مما أعطى فائضا متاحا للجريان وإعادة تعبئة الفرشة المائية. ثم الموسم الصيفي الممتد على مدى سبعة أشهر، حيث تؤدي قوة التبخر-النتح المحتمل بالإضافة إلى قلة التساقطات المطرية إلى عجز مائي.

يعتبر التبخر-النتح من العوامل الطبيعية التي تؤثر بشكل مباشر على الموارد المائية، خصوصا في المجال شبه الجاف التي تطول فيه ساعات التشميس. ومن خلال النتائج لوحظ نزعة نحو الارتفاع في درجات الحرارة، مما سيكون له تأثير على المخزون السهل الاستعمال للطبقات العليا للتربة، الذي انعكس بشكل سلبي على الميزانية المائية بالحوض.

الفصل السادس: الخصائص الهيدرولوجية وأنماط الجريان لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016)

مقدمـــــة الفصل السادس

يخصص هذا الفصل لدراسة وتحليل صبيب المجرى لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) على مستوى مقاييس زمنية مختلفة (السنوي والشهري واليومي)، انطلاقا من المعطيات الهيدرومترية. للقيام بهذه الدراسة تم الاعتماد على مجموعة من الطرق الإحصائية، من بينها طريقة الاختبار ثنائية الانكسار، النمذجة الهيدرولوجية على المستوى الشهري لملء الفراغات، معامل التغيير CV، مؤشر (Nicholson, 1994)، التعديل الإحصائي، فترات الرجوع، المعامل الشهري للصبيب، تردد الصبيب حسب عتبات محددة...

ستتم هذه الدراسة بالاعتماد على تحليل المعطيات المقيسة على مستوى المحطتين الهيدرومترية أيت تمليل وتمسماط اللتان توجدان على نفس المجرى المائي داخل الحوض المدروس، على طول السلسلة الإحصائية المشتركة (1978 – 2016)، وذلك حسب محورين كالتالي:

المحور 11: تقديم محطات القياس داخل مجال الدراسة، ثم تهيئها وتحضيرها لإجراء عملية نقد المعطيات وملء الفراغات، ونخص بالذكر السلسلة الإحصائية لمحطة تمسماط التي تتضمن ثلاث سنوات فارغة.

المحور 12: معالجة إحصائية لمعطيات الصبيب. ويبقى الهدف من هذه المعالجة هو دراسة النظام الهيدرولوجي، وتحديد التباين الزمني والمكاني لتغيراته، مما يساعدنا في فهم للاشتغال الهيدرولوجي للحوض.

وستمكننا هذه الدراسة من تحديد العوامل المؤثرة في الصبيب، خصوصا العامل المناخي الذي له تأثير مهم على طبيعة الاشتغال الهيدرولوجي للحوض.

المحور 11: نقد ومعالجة معطيات الصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016)

يبقى الجريان السطحي أهم أشكال الجريان الذي يمكننا قياسه وتقييمه، وذلك عبر المحطات الهيدرومترية الموزعة على طول المجرى الرئيسي، خصوصا وأننا بصدد دراسة حوض نهري يتوفر على محطتين لقياس الصبيب على نفس المجرى، حيث ستسمح لنا المعطيات المتوفرة من إجراء عملية المقارنة للاشتغال الهيدرولوجي بين عالية الحوض وسافلته. لكن قبل أي دراسة إحصائية، حتى لو كانت بسيطة جدًا، مثل حساب المعدل بين السنوات، من الضروري التحقق مما إذا كانت السلسلة التي سنعمل عليها متجانسة (L'Hote, 1992).

I. تقديم محطات قياس الصبيب:

يضم حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) محطتين هيدرومترية، حيث أن كل محطة تمثل مجال جغرافي معين :

- محطة أيت تمليل تمثل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (تقع بوسط الحوض تقريبا).
- محطة تمسماط تقع بسافلة الحوض قبل السد مباشرة تمثل كلية الحوض.

يقدم الجدول 33 المعلومات المتعلقة بمدة القياس والموقع الجغرافي لمحطتي الدراسة.

جدول 33: خصائص ومعطيات المحطات الهيدرومترية (المصدر ABHOR)

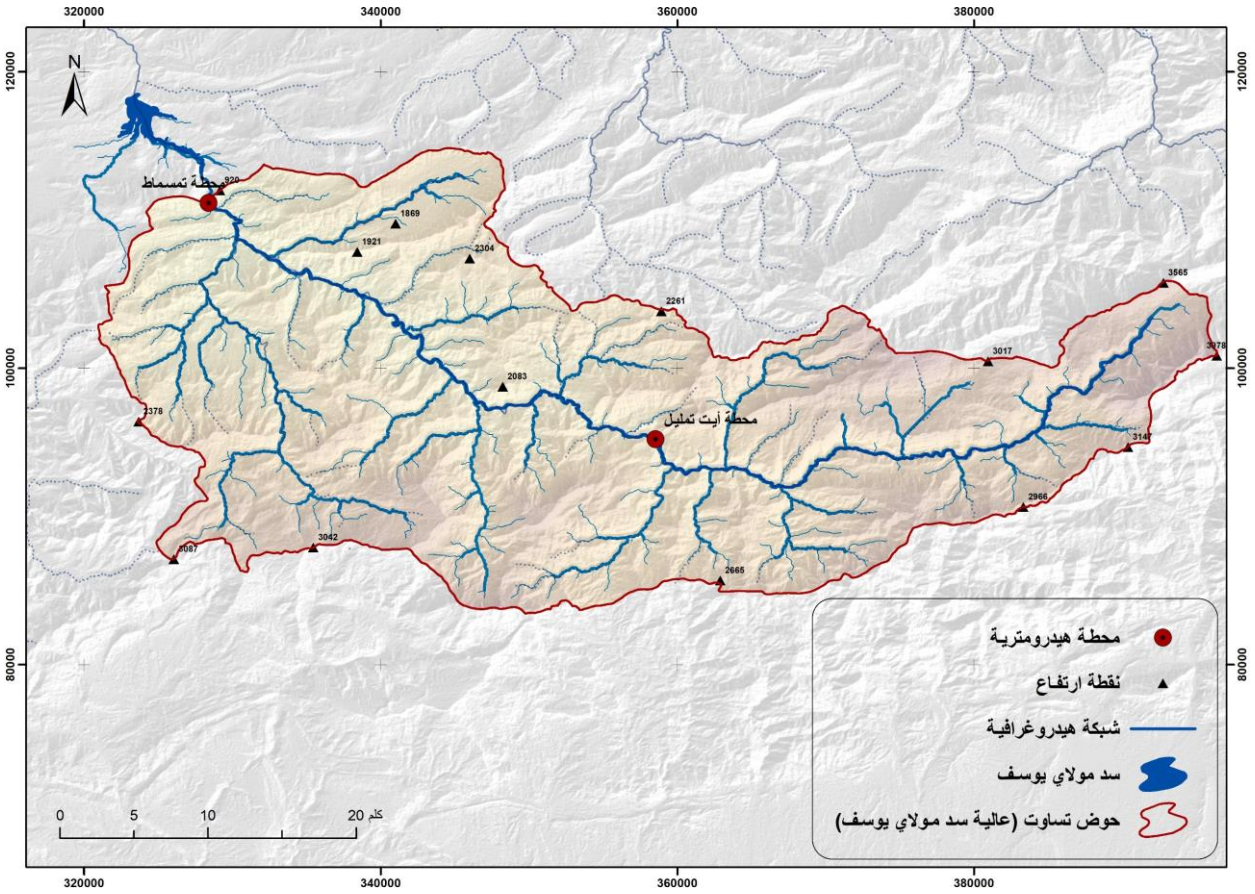
المحطات	مدة القياس	x	y	z
تمسماط	1976- 2016	328300	111200	920
أيت تمليل	1978-2016	357600	93700	1860

المصدر: معطيات وكالة الحوض المائي لأم الربيع

تمثل محطة تمسماط الصبيب المقيس عند منفذ حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، الذي تبلغ مساحته 1307 كلم^2 ، أما محطة أيت تمليل فتمثل معطيات الصبيب المقيس على مستوى منفذ الحوض الفرعي لواد أيت تمليل (عالية الحوض) الذي تبلغ مساحته 531 كلم^2.

توفر هاتين المحطتين معطيات الصبيب على المستوى السنوي والشهري واليومي، للفترة المشتركة بينها التي تمتد على طول 39 سنة (1978-2016). إلا أن محطة تمسماط تتضمن فراغات خلال فترة متصلة امتدت على طول ثلاث سنوات (من 1 شتنبر 1986 إلى غاية 31 غشت 1989)، حيث توقفت خلالها هذه المحطة عن القياس لأسباب لم نتمكن من تحديدها بدقة. لذا سيتم استبعاد هذه الفترة خلال الدراسة اليومية للصبيب.

خريطة 17:موقع المحطات الهيدرومترية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



المصدر: معطيات وكالة الحوض المائي لأم الربيع

II. نقد ومعالجة معطيات الصبيب

من بين أكبر المشاكل التي تشكل عائقا أمام البحث العلمي، ونخص بالذكر البحوث التي تتطلب إنجاز دراسات مناخية وهيدرولوجية، هي مسألة الأخطاء التقنية والفراغات التي تتخلل السلاسل الإحصائية لمختلف المحطات (محطات التساقطات المطرية- الحرارة- الصبيب). ونتيجة لذلك، فإن سلاسل البيانات يتخللها بعض القصور والفراغات بشكل متكرر، ولا يمكننا أبدًا التأكد تمامًا من أنها تمثل عينة من مجتمع واحد (Dubreuil, 1974). وقد تم التفكير في العديد من الطرق العلمية التي تسهل على الباحث ملء الفراغات ومعالجة الأخطاء المحتملة التي تشوب السلاسل الإحصائية. في هذه المرحلة سنعمل على نقد معطيات الصبيب التي توفرها لنا محطتي أيت تمليل وتمسماط، للسلسلة المشتركة (1978 – 2016)، وذلك من خلال مرحلتين أساسيتين: المرحلة الأولى تتعلق بملء الفراغات التي تشوب السلسلة الإحصائية لمحطة تمسماط، والمرحلة الثانية تتعلق بمجانسة المعطيات فيما بينها. والهدف من ذلك هو توفير أرضية ملائمة من خلال سلاسل إحصائية متكاملة ومتجانسة من أجل إجراء تحليل إحصائي مبني على أسس علمية.

1. ملء معطيات الصبيب بمحطة تمسماط

صادفنا غياب مجموعة من المعطيات الهيدرومترية خلال فترات معينة من السلسلة الإحصائية، لمحطة تمسماط. حيث امتدت الفترة الفارغة على مدى ثلاث سنوات، وهي مدة طويلة نوعا ما. ومن أهم الطرق التي اعتمدنا عليها في عملية ملء المعطيات طريقة الترابط الخطي، والتي لم تعط نتائج جيدة، لذا تم اللجوء إلى طريقة النمذجة الهيدرولوجية، حتى تكون النتائج أقرب إلى الواقع.

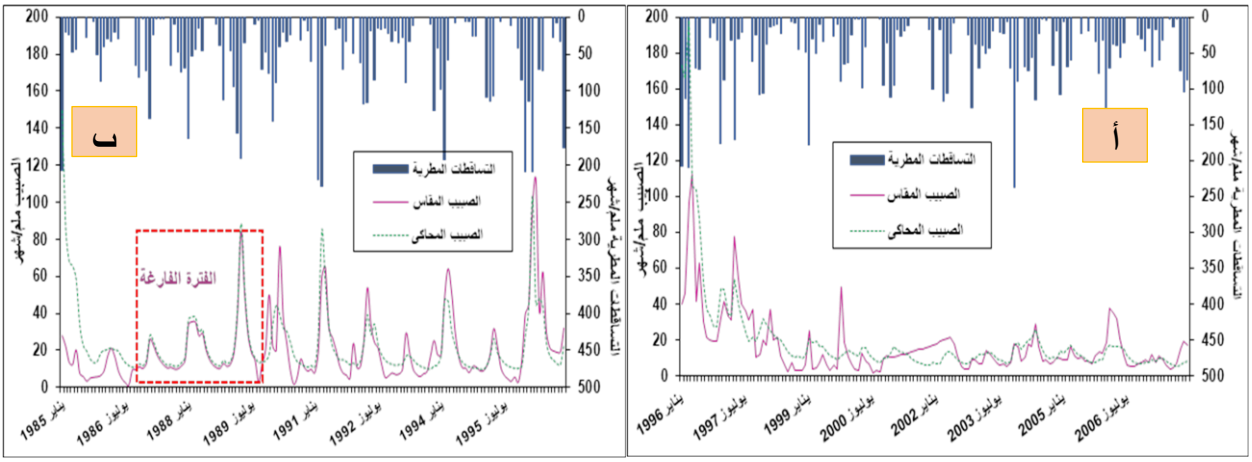
جدول 34: الفترات الفارغة بمحطة تمسماط خلال السلسلة الإحصائية المدروسة

المحطة	الفترات الفارغة	
	السنة	الشهر
محطة تمسماط	1986	شتنبر
		أكتوبر
		نونبر
		دجنبر
	1987	جميع شهور السنة
	1988	جميع شهور السنة
	1989	يناير
		فبراير
		مارس
		أبريل
		ماي
		يونيو
		يوليوز
		غشت

سنعتمد في إنجاز هذه العملية على أنموذج الهندسة الريفية (Modèle du Génie Rural à 2 Paramètres GR2M Mensuel) ، وهو أنموذج تساقطات مطرية-صبيب مفاهيمي شامل، تم اقتراحه وتطويره من طرف Cemagref منذ 1980.الذي يتميز بعدة تطبيقات هندسية، من بينها القدرة على ملء الفراغات عن طريق إعادة تشكيل الصبيب عند منفذ الحوض: بعد تثبيت المتغيرات، يمكن تطبيق الأنموذج لمحاكاة الصبيب خلال فترة زمنية معينة حيث نتوفر بشأنها على سلسلة إحصائية للتساقطات المطرية والتبخر. انطلاقا من مدخلات البرنامج المتوفر لدينا ويتعلق الأمر بالتساقطات المطرية والتبخر-النتح المحتمل والصبيب المقيس على مستوى محطة تمسماط للسلسلة الإحصائية المشتركة (1985 - 2016)، انطلاقا من هذه المعطيات سنعمل على ملء الفراغات التي تمتد على مدى ثلاث سنوات (من شتنبر 1986 إلى غاية غشت 1989)، بالاعتماد على أنموذج الهندسة الريفية على المستوى الشهري GR2M، ونقدم المعطيات المعتمدة في تثبيت الأنموذج GR2M.

- **المدخلات**: المتمثلة في التساقطات المطرية الشهرية المسجلة على مستوى محطة تمسماط خلال السلسلة الإحصائية (1986 - 2016)؛ والتبخر-النتح المحتمل الشهري الذي تم الحصول عليه بالاعتماد على طريقة Thorntwaite؛ والصبيب الشهري المقيس على مستوى محطة تمسماط خلال نفس السلسلة الإحصائية.
- **المتغيرات**: يشمل الأنموذج متغيرين: X1: سعة خزان المنتج (الملم)، وX2: معامل التصريف الجوفي (ملم)
- **المخرجات**: الصبيب المحاكى على المستوى الشهري، الذي يتم الحصول عليه من خلال إدراج المدخلات في البرنامج، والعمل على ضبط المتغير الوحيد X.

مبيان 52: نتائج التثبيت (1985-1995) (أ) والمصادقة (1996-2007) (ب) للأنموذج GR2M بمحطة تمسماط



بعد تثبيت الأنموذج من خلال إجراء عدة تعديلات على المتغيرات X1 و X2 حيث حصلنا X1=8,37 و X2=1,2، التي أعطت أكبر قيمة للمتغير Nash (53%)، فيما سجلت قيمة الترابط الخطي للصبيب المقيس والصبيب المحاكى 60%، وبذلك يمكن اعتبار النتائج مرضية لتتمة الفترة الناقصة في السلسلة الإحصائية.

جدول 35: تثبيت ومصادقة نتائج الأنموذج GR2M بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

التبخر-النتح المحتمل Thorntwaite				
فترة تثبيت الأنموذج (1996-2007)				
المتغيرات		معايير الجودة والتحسين		
X_1	X_2	معامل Nash (Q)	الحصيلة	معامل الترابط الخطي
8,37 ملم	1,2 ملم	% 53	% 100,7	60
فترة المصادقة (1985-1995)				
المتغيرات		معايير الجودة والتحسين		
X_1	X_2	معامل Nash (Q)	الحصيلة	معامل الترابط الخطي
7,07 ملم	1,47 ملم	% 71,3	% 100,6	70,5

واعتمادا على نتائج تثبيت الأنموذج، التي كانت مقبولة، حصلنا على نتائج جيدة في مرحلة المصادقة على الأنموذج، وقد بلغت قيمة المتغير Nash 71,3 %، أما قيمة الترابط الخطي بين الصبيبين المقيس والمحاكى فقد بلغت أكثر من 70% مما يدل على أن النمذجة الهيدرولوجية حققت نتائج مرضية. واستنادا إلى مخرجات الأنموذج GR2M تم ملء الفترة الناقصة من السلسلة الإحصائية والتي تمتد على مدى 3 سنوات متتالية.

تبقى النتائج التي حصلنا عليها جيدة، وذلك جلي من خلال R^2 التي فاقت العتبة، ويجب الإشارة إلى أن ملء الفراغات يعطي هامشا معينا من الخطأ، غير أنه يعطي نسبة كبيرة من الصحة. وبعد هذه العملية سنشرع في الدراسة الهيدرولوجية من خلال دراسة التوزيع السنوي والشهري للصبيب بمحطتي أيت تمليل وتمسماط خلال السلسلة الإحصائية (1978 – 2016). وبذلك نكون قد استكملنا ملء الفراغات التي تشوب معطيات الصبيب للسلسلة المدروسة، حتى نتمكن من إنجاز دراسة هيدرولوجية جيدة لا يتخللها أي نقص.

2. دراسة تجانس معطيات السلسلة الإحصائية للصبيب السنوية

تم تطوير الاختبارات المطبقة على الانحرافات التراكمية التي تُمكن من تحديد موقع الانقطاع في سلسلة من إجمالي معطيات الصبيب السنوي (Buishand, 1982). تحسب الانحرافات التراكمية للسلسلة المدروسة:

$$S_k^* = \sum_{i=1}^{k}(y_i - \bar{y}), \qquad k = 1 \ldots, n \qquad 6.1$$

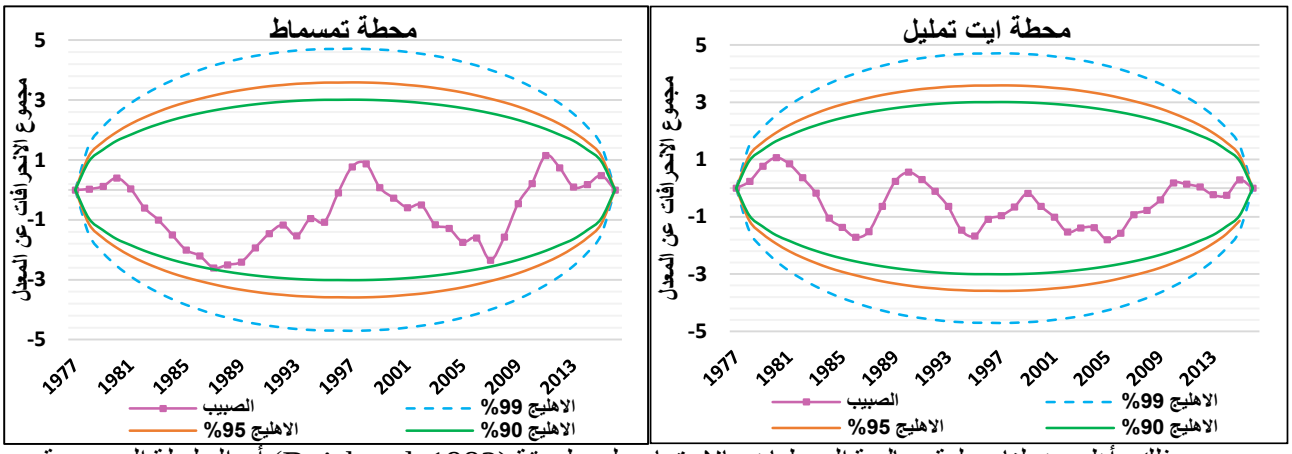
يتم الإشارة إلى ملاحظة السنة i من السلسلة بواسطة y_i . تشتمل السلسلة على n سنة من الملاحظات في المجموع (الصيغة 6.1). الانحرافات التراكمية مقسومة على الانحراف المعياري. وقد اقترح (Buishand, 1982) اختبارًا على الحد الأقصى للانحرافات التراكمية المعيارية، حيث أنه يتوافق مع الحد الأقصى من القيمة المطلقة لهذه السلسلة. ويشير موقع هذا الحد إلى سنة الانكسار. وبالتالي، تسمح لنا معالجة السلسلة الإحصائية للصبيب (1978-2016) بمحطتي الدراسة بإنجاز اختبار ثنائي للانكسارات التي يمكن أن تشوب معدلات السلسلة الإحصائية. ويعتبر هذا الاختبار حدوديا، ويفترض الحالة الطبيعية للسلسلة، كما أنه ثابت التباين على جانبي نقطة الانكسار إن وجدت (Beaulieu et *al*, 2005). ويتجلى الهدف الأساسي من هذه المعالجة في التأكد من تجانس المعطيات الهيدرولوجية المقيسة على مستوى محطتي الدراسة، والمصادقة على عملية ملء الفراغات التي تخللت محطة تمسماط. سمح لنا تطبيق هذه الطريقة بتحديد فترات متجانسة خلال السلسلة الإحصائية كما هو مبين في الجدول 36:

جدول 36: تفئ السلسلة الإحصائية للصبيب بمحطة تمسماط (1978 – 2016) إلى فترات متجانسة

الفترة	المعدل ب م³/ث	عدد السنوات	تشخيص الوضعية
1978 –1987	5,9	10	فترة جافة
1988 –1997	12,4	10	فترة رطبة
1998 –2007	5,8	10	فترة جافة
2008 –2016	11,8	9	فترة رطبة

تبين النتائج التي تم الحصول عليها بالاعتماد على طريقة (Buishand, 1982) أن السلسلة الإحصائية (1978 – 2016) بمحطة تمسماط متجانسة ولا تتضمن أي انكسارات، وبالتالي فإن المعطيات مقبولة عند عتبات الثقة 90% و95% و99%. كما أن هذه السلسلة تتضمن فترات متجانسة رطبة وأخرى جافة.

مبيان 53: نتائج اختبار Buishand المطبقة على الصبيب السنوي بمحطتي تمسماط وأيت تمليل (1978 – 2016)



وبذلك، أظهرت لنا عملية معالجة المعطيات بالاعتماد على طريقة (Buishand, 1982) أن السلسلة المدروسة (1978 – 2016) متجانسة بمحطتي الدراسة، وبالتالي، ستمكننا من القيام بدراسة هيدرولوجية تعكس لنا السلوك الهيدرولوجي الفعلي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف).

خلاصة

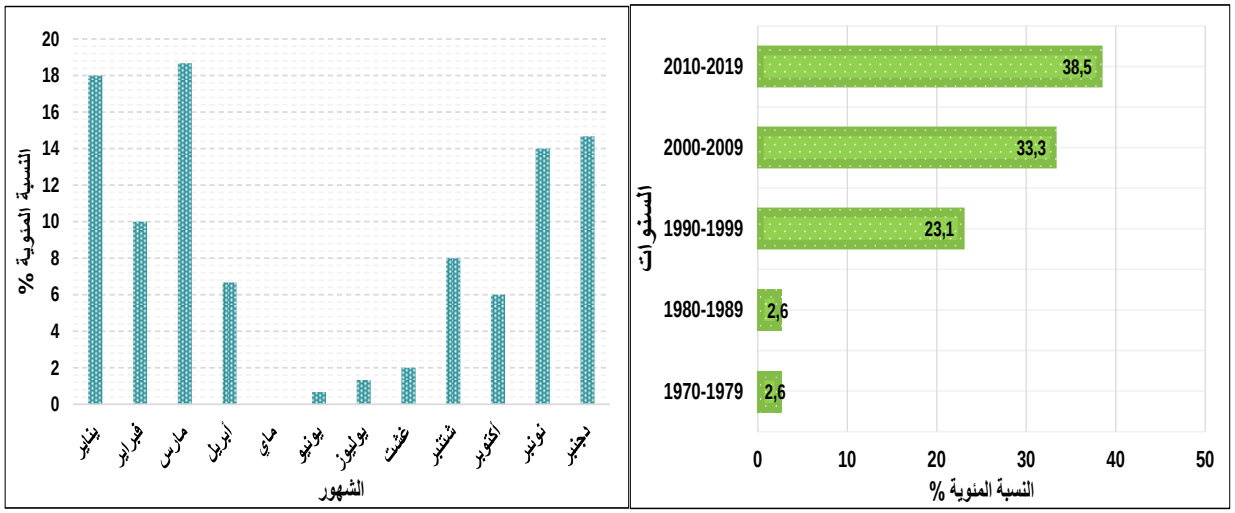
تضمن السلسلة الإحصائية لمحطة تمسماط ثلاث سنوات متتالية من الفراغات، والتي يمكن أن تشكل عائقا أمام الدراسة الإحصائية للصبيب. لذا تم اللجوء إلى النمذجة الهيدرولوجية لملء الثغرات على المستوى الشهري، اعتمادا على الأنموذج الهيدرولوجي GR2M. وانطلاقا من عمليتي التثبيت والمصادقة تم الحصول على نتائج مرضية (Nash= 71,3%). وللتأكد من تجانس المعطيات المقيسة على مستوى محطتي الدراسة والمشكلة على مستوى محطة تمسماط تم إجراء اختبار (Buishand, 1982) الذي أبرز تجانس المعطيات الهيدرولوجية. وتجدر الإشارة أن الفترة الفارغة بمحطة تمسماط (ثلاث سنوات) سيتم استبعادها في دراسة الصبيب على المستوى اليومي، وذلك لصعوبة إعادة تشكيله وما تمثله هذه العملية من هامش خطأ كبير، يمكن أن يؤثر على المعالجة الإحصائية.

المحور 12: التغايرية الزمنية والمجالية للصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016)

سنخصص هذا المحور لدراسة التغايرية الزمنية والمجالية للصبيب بحوض تساوت عالية سد مولاي يوسف (1307 كلم^2) على مستوى محطة تمسماط والحوض الفرعي لواد أيت تمليل (531 كلم^2) على مستوى محطة أيت تمليل.

وقبل الخوض في هذه الدراسة حاولنا، انطلاقا من الاستمارات المنجزة، معرفة حالة الصبيب خلال العقود الأخيرة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) استنادا إلى أسئلة في هذا الإطار. وقد عبر 56,8 % من المستَجوبين أن الصبيب بلغ مستويات مهمة خلال بعض السنوات، حيث يصل إلى ارتفاع 3 أمتار (حسب بعض المستَجوبين). كما صرح 38,5 % منهم أن الفترة (2010-2019) شهدت أعلى مستويات صبيب وخصوا بالذكر سنة 2016. ينتج عن ارتفاع مستويات الصبيب، حسب تعبيرهم، خسائر مادية، تتمثل في الدرجة الأولى في الخسائر الفلاحية ثم تدمير المنشآت كالقناطر والسواقي، وخسائر في الماشية. أما على مستوى شهور السنة التي تعرف ارتفاعا في مستويات الواد، فقد خص المستَجوبين بالذكر شهر يناير ومارس ونونبر ودجنبر.

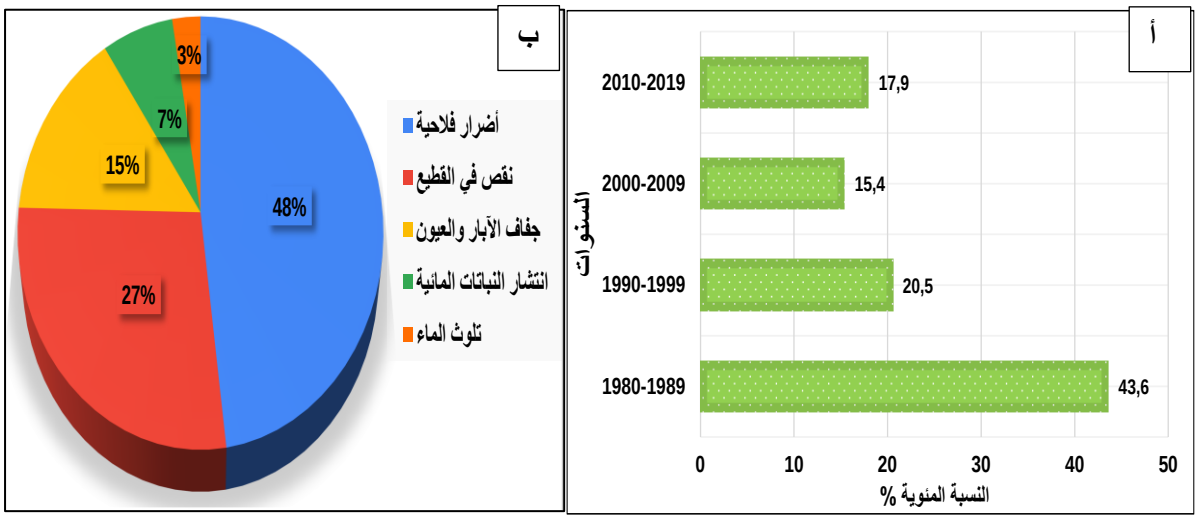
مبيان 54: السنوات والأشهر التي شهدت أعلى صبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



وقد تم استفسار الساكنة أيضا عن السنوات أو الفترات التي شهدت أدنى مستويات في الصبيب (جفافا هيدرولوجيا)، حيث عبر 43,6% منهم أن سنوات الثمانينيات شهدت أدناها (مبيان 55)، كسنوات 1982 و1983 و1984. كما أحدثت سنوات الجفاف خسائر مادية (حسب المستجوبين) تمثلت بالدرجة الأولى في الأضرار الفلاحية ثم نقص في قطيع الماشية وجفاف الآبار والعيون.

أفرزت النتائج التي تم التوصل إليها من خلال الاستمارات أن الصبيب عرف تغيرات على المستوى الزمني، حيث شهدت بعض الفترات ارتفاعا في مستوياته وسجلت أخرى عجزا كبيرا. لذا سيتم خلال هذا المحور دراسة وتحليل هذه التغايرية الزمنية باعتماد طرق إحصائية انطلاقا من المعطيات التي توفرها محطات قياس الصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف).

مبيان 55: السنوات التي شهدت جفافا هيدرولوجيا (أ) والخسائر والأضرار التي أحدثها بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



سنعتمد في هذا التحليل على المعطيات الهيدرومترية لمحطتي أيت تمليل وتمسماط على المستويات الزمنية السنوية والشهرية واليومية للسلسلة الإحصائية (1978-2016). واستنادا إلى عدد من المؤشرات والمعاملات الهيدرولوجية والقوانين الإحصائية، تحديد وتيرة التغايرية السنوية واستنتاج خصائص النظام الهيدرولوجي بحوضي الدراسة، وذلك بهدف حصر فترات الوفرة والعجز وعلاقتها بالرهانات الاقتصادية والفلاحية بالحوض، وكذا تأثير هذه التغايرية على مستوى مخزون سد مولاي يوسف بالسافة.

I. دراسة تغايرية الصبيب على المستوى السنوي

في هذا الصدد، ستتم دراسة تغايرية الصبيب بمحطة تمسماط المتواجدة عند منفذ حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، وهذا لا يفسر لنا كل الاشتغال الهيدرولوجي بالحوض بشكل دقيق. لذلك سيتم بالموازاة مع ذلك دراسة الصبيب السنوي بمحطة أيت تمليل التي تمثل الاشتغال الهيدرولوجي بعالية الحوض. ويبقى الغرض من ذلك هو تحديد التباين والاختلاف المجالي لأنماط الجريان بعالية وسافلة الحوض، علاوة على ذلك، فإن المستوى النهائي للدراسة يتعلق بتعريف النظام الهيدرولوجي للحوض بأكمله. الهدف الرئيسي من دراسة تغيرات الصبيب على المستوى السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط على مدى الفترة الزمنية (1978 – 2016)، هو الكشف عن التغايرية الزمنية والمجالية للصبيب الذي يعتمد بشكل كبير على واردات التساقطات المطرية (Ghadbane et *al*, 2021).

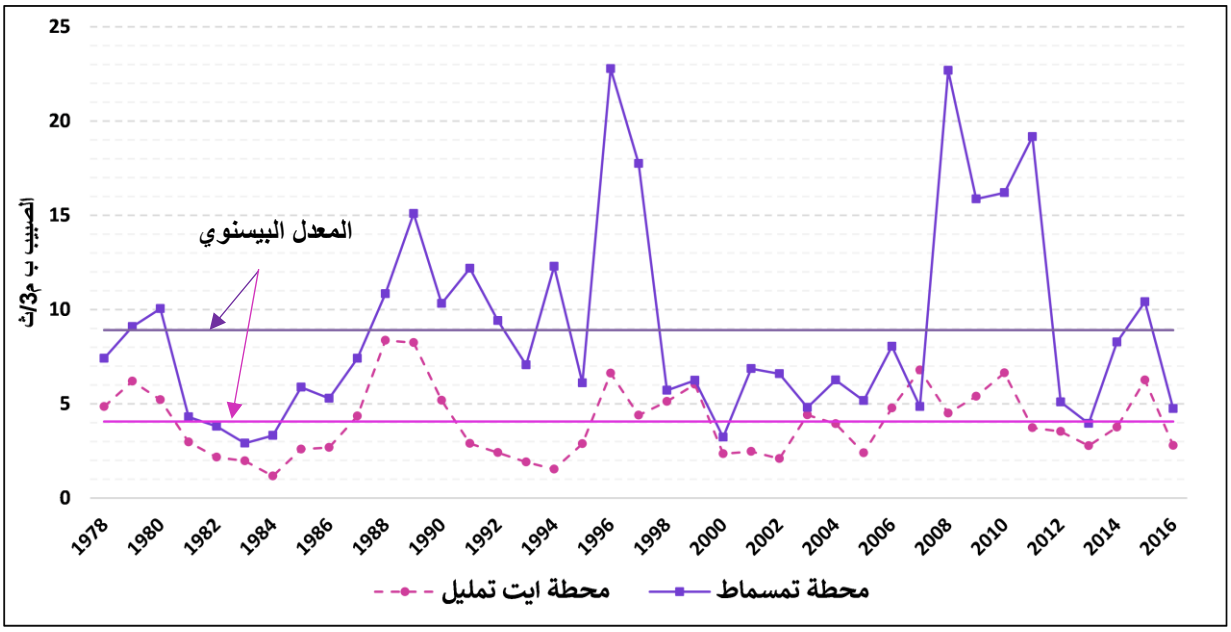
1. تحديد التغايرية السنوية للصبيب

كما سبقت الإشارة فإن دراسة الصبيب السنوي سوف تعتمد على تحليل المعطيات الهيدرولوجية وتغيراتها الزمنية (39 سنة) والمجالية (بين عالية الحوض وسافلته).

جدول 37: الصبيب السنوي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978 – 2016)

الحوض النهري	المحطة	المساحة ($كلم^2$)	المعدل			عدد السنوات فوق المعدل
			$م^3/ث$	ملم	$لتر/ث/كلم^2$	
تساوت (عالية سد م يوسف)	تمسماط	1307	8,9	212	6,8	15
الحوض الفرعي لواد أيت	أيت تمليل	531	4,1	238	7,6	18

مبيان 56: تغيرات الصبيب السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016)



سجلت معدلات الصبيب تباينا من سنة لأخرى (مبيان 56)، حيث بلغ المعدل البيسنوي 4,1 م^3/ث و 8,9 م^3/ث، على مدى العينة المدروسة (39 سنة)، على التوالي بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل عند محطة أيت تمليل وحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) عند محطة تمسماط، حيث أن 15 سنة فقط هي التي فاقت المعدل البيسنوي للسلسلة الإحصائية. في المقابل، 25 من أصل 39 سنة هي سنوات "عجز مائي". عرف الصبيب السنوي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) تغايرية وتباين قويين بين عالية الحوض وسافلته وعلى المستوى الزمني من سنة لأخرى، حيث سجل الصبيب تفاوتا كبيرا في القيم القصوى، مما يدل على أن الحوض مرّ بسنوات الوفرة المائية والعجز المائي.

على مستوى النتائج، يُعد الحوض الفرعي لواد أيت تمليل الأكثر مردودية من حيث الموارد المائية، حيث بلغ الصبيب النوعي 7,6 لتر/ث/كلم^2، بصفيحة مائية بلغت 238 ملم. وانطلاقا من السلسلة الإحصائية المدروسة (1978 – 2016) سنشرع في دراسة مدققة للصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) وتحديد تغايرية المعدل السنوي، بمقارنة قيم الصبيب الدنيا والعليا بالمعدل البيسنوي للسلسلة الإحصائية.

جدول 38: خصائص الصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والحوض الفرعي لواد أيت تمليل (1978 – 2016)

الحوض النهري	الحوض الفرعي لواد أيت تمليل			حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)		
المحطة	أيت تمليل			تمسماط		
المساحة (كلم^2)	531			1307		
المعدل السنوي	الصبيب الأدنى	المعدل البيسنوي	الصبيب الأعلى	الصبيب الأدنى	المعدل البيسنوي	الصبيب الأعلى
السنوات	1984	1978 -2016	1988	1983	1978 -2016	1996
الصبيب (م^3/ث)	1,2	4,1	8,4	2,9	8,9	22,8
الصفيحة المائية (ملم)	68	238	490	69	212	542
الصبيب النوعي (لتر/ث/كلم^2)	2,2	7,6	15,8	2,2	6,8	17,4

تميزت سنتي **1983 و1984**، على التوالي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والحوض الفرعي لواد أيت تمليل، بأدنى صبيب سنوي خلال السلسلة الإحصائية المدروسة، بمعدل سنوي بلغ بالسافلة 2,9 م^3/ث وبلغ بالعالية 1,2 م^3/ث. أما بالنسبة للسنة الأكثر رطوبة فقد تميزت سنة 1996 بصبيب مهم بلغ 22,8 م^3/ث بسافلة الحوض، وقد سجلت سنة 1988 أكبر صبيب بمعدل بلغ 8,4 م^3/ث بعالية الحوض.

من الواضح أن هناك تباينا كبيرا (جدول 38)، بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، بين القيمة الدنيا والقيمة العليا للصبيب، وهذا يؤكد التغايرية القوية التي يعرفها الحوض، والمتميز بتساقطات مطرية وثلجية مهمة تساهم في تغذية المجرى المائي. بالإضافة إلى أن الحوض الفرعي لواد أيت تمليل يتميز بصبيب نوعي مهم 7,6 لتر/ث/كلم^2، وهذا راجع لكون عالية الحوض تتميز بتكوينات قوية إلى متوسطة النفاذية (التكوينات الكلسية المنكسرة)، التي تساهم في تغذية المجرى المائي على طول السنة.

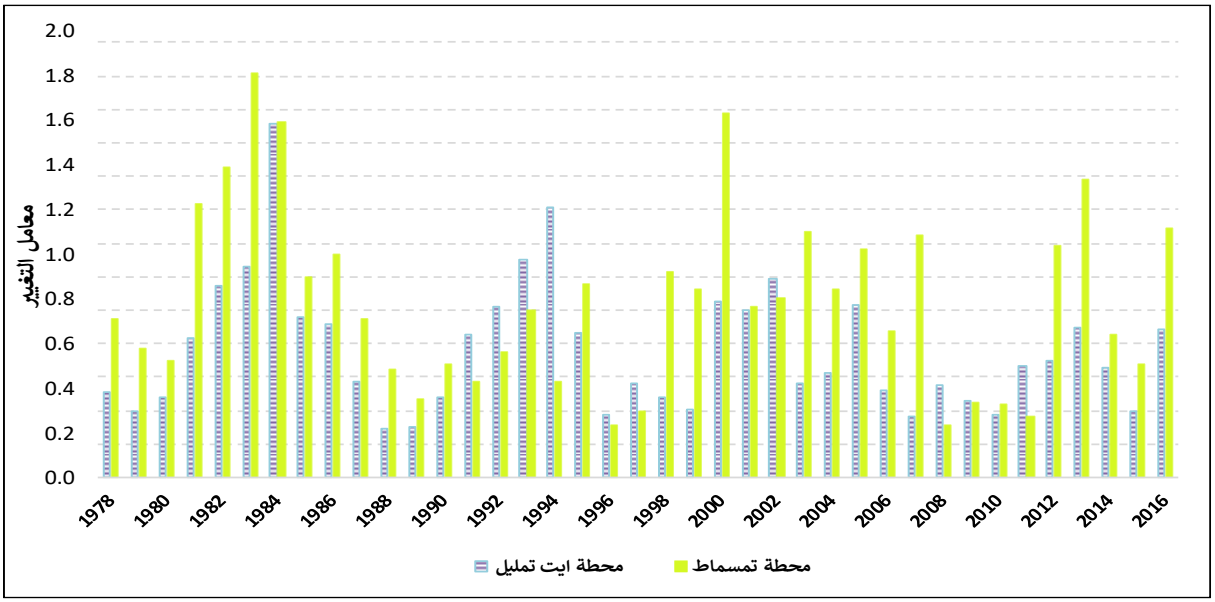
2. معامل تغيير الصبيب

يعكس معامل التغيير Coefficient de Variation (CV) التشتت النسبي للمعدلات السنوية للصبيب (Villeneuve, 1971)، ويمكن التعبير عليه من خلال الصيغة رقم 6.2:

$$CV = \frac{\sigma_f}{Q_0} \qquad 6.2$$

حيث σ_f الانحراف المعياري للصبيب السنوي، في علاقته بالمعدل البيسنوي للصبيب Q_0 خلال السلسة المدروسة (مبيان 57).

مبيان 57: معامل تغيير الصبيب السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016).



يأخذ معامل التغيير أقصى قيمة له عند السنوات التي تعرف قيما ضعيفة للصبيب، والعكس صحيح. اعتمادا على معطيات الصبيب السنوي التي توفرها محطتي الدراسة نهدف من خلال هذه المعالجة إلى إبراز التغايرية السنوية للصبيب خلال الفترة الزمنية (1978 – 2016).

بلغ معدل معامل التغيير CV=0,6 بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل عند محطة أيت تمليل، و CV=0,8 بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) عند محطة تمسماط خلال السلسلة الإحصائية المدروسة، وهذا يدل على قوة التغيير بالحوض المدروس:

- **الحوض الفرعي لواد أيت تمليل**: سجل أعلى قيمة لمعامل التغيير 1,6 بسنة **1984**، والتي توافق السنة ذات الصبيب الأدنى خلال السلسلة الإحصائية، وأدنى قيمة لمعامل التغيير 0,22 بسنة 1988 وتوافق السنة المتميزة بأعلى صبيب سنوي (8,4 م^3/ث).
- **حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)**: بلغت أعلى قيمة لمعامل التغيير1,8 بسنة **1983**، وهي نفس السنة التي سجلت أدنى صبيب بالمحطة (2,9 م^3/ث)، حيث تم اعتبارها كسنة مرجعية بالنسبة للسنوات الجافة، أما أدنى قيمة فقد سجلت 0,2 بسنة **1996** والتي تطابق نفس السنة التي سجلت أعلى صبيب حيث بلغ 22,8 م^3/ث.

على العموم، فمعامل التغيير عرف تغايرية مهمة، مما يدل على توالي فترات جافة وأخرى رطبة، وقد سجل قيما مرتفعة حيث فاقت في بعض الأحيان 1 بالنسبة لمحطتي الدراسة، وهذا ينطبق على الفترة الممتدة من 1981-1986 والسنوات 2000 و 2003 و 2005 و2007 و2013 ، التي تميزت بعجز مائي، مما سيكون له تأثير على الموارد المائية بالحوض (Alexandre, 1996).

3. التغايرية الزمنية والمجالية للصبيب

يسمح لنا عرض التغايرية الزمنية للصبيب أو للتساقطات المطرية باعتماد مؤشر (Nicholson, 1994) وطريقة HANNING ، استنادا إلى المعطيات الهيدرومترية أو المطرية لفترة زمنية ممتدة، بتسليط الضوء على النزعات الهيدرولوجية أو المناخية والتمييز بين الفترات الجافة والرطبة (Soro et al., 2011).

سنعمل خلال هذه المرحلة على دراسة تغيرات الصبيب خلال السلسلة المدروسة باعتماد هذه الطريقة، والهدف من ذلك هو تحديد فترات الفائض وفترات العجز (Ghadbane et *al*, 2021).

- مؤشر (Nicholson, 1994)

يتم التعبير عن مؤشر (Nicholson, 1994)الذي يتم حسابه لكل سنة بالمعادلة 6.3:

$$I_i = (X_i - X_m)/\alpha \qquad 6.3$$

X_i : معدل الصبيب في السنة (م^3/ث)؛

X_m : معدل الصبيب البيسنوي خلال السلسلة الإحصائية (1978-2016)؛

α: الانحراف المعياري للصبيب خلال فترة الدراسة.

- مُرَشح الترددات المختزلة ل HANNING بالرتبة 2:

ويسمى أيضا المعدل المتحرك المرجح، والذي يسمح بالتخفيف من التغايرية الموسمية خلال السلسلة الزمنية. وللقيام بذلك، يتم موازنة الصبيب من خلال المعادلة التالية:

$$x_{(t)} = 0{,}06x_{(t-2)} + 0{,}25x_{(t-1)} + 0{,}38x_{(t)} + 0{,}25x_{(t+1)} + 0{,}06x_{(t+2)} \qquad 6.4$$

حيث أن: $3 \leq t \leq n-2$

يتم الحصول على المعدل المرجح لصبيب الحدين الأولين [X_1 و X_2)] والحدين الأخيرين [X_{n-1} و X_n)] على التوالي من خلال المعادلات التالية:

$$x_{(1)} = 0{,}54x_{(1)} + 0{,}46x_{(2)} \qquad 6.5$$

$$x_{(2)} = 0{,}25x_{(1)} + 0{,}50x_{(2)} + 0{,}25x_{(3)} \qquad 6.6$$

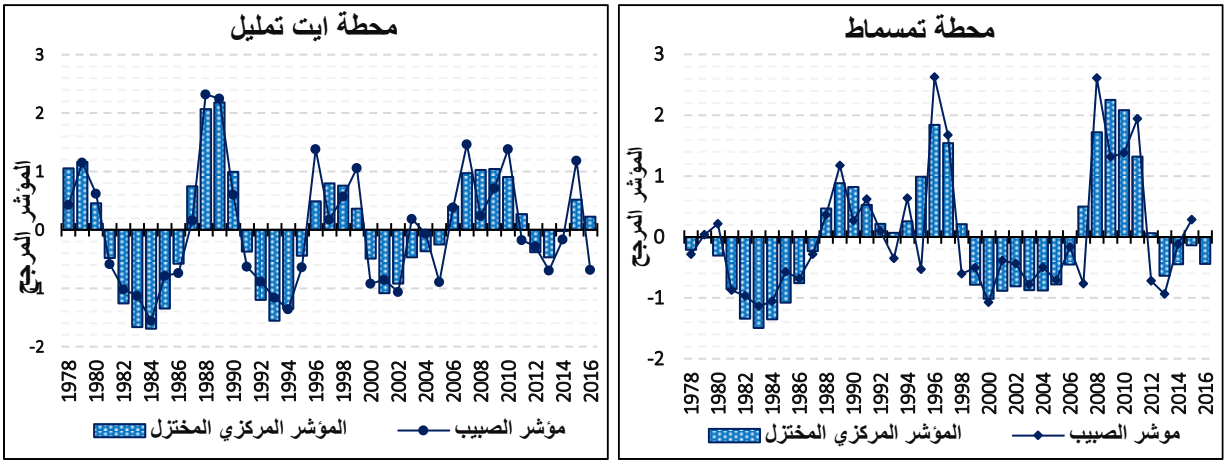
$$x_{(n-1)} = 0{,}25x_{(n-2)} + 0{,}50x_{(n-1)} + 0{,}25x_{(n)} \qquad 6.7$$

$$x_{(n)} = 0{,}54x_{(n)} + 0{,}46x_{(n-1)} \qquad 6.8$$

يتم حساب المؤشرات المركزية المختزلة للصبيب السنوي المرجح، التي تم الحصول عليها، لتمييز فترات عجز الصبيب وفترات الفائض بشكل أفضل (Ghadbane et *al*, 2021).

إن التغيرات في الأنظمة الهيدرولوجية التي تتجسد في نزعات الزيادة والعجز تدعمها دراسات إحصائية للكشف عن نقط التحول أو الانكسار (Boukrim et al.2011). تحدد اختبارات التحول هاته السنوات المحورية لتغير المناخ وتدعم المؤشرات المائية.

مبيان 58: التغايرية البيسنوية للصبيب باعتماد المؤشر المركزي المختزل بمحطتي أيت تمليل وتمسماط



تتميز التغايرية السنوية للصبيب، بحوضي الدراسة، بتوالي فترات رطبة وأخرى جافة متغيرة المدة (مبيان 58)، ونجد اختلافا طفيفا بين عالية الحوض (محطة أيت تمليل) وسافلته (محطة تمسماط) في مدة هاته الفترات وفي وتيرة تغايرية الصبيب، والتي كانت مهمة نوعا ما بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل وهو ما يوضحه مؤشر الصبيب. أوضح المؤشر المركزي المختزل أن الفترة الممتدة بين 1978 و1987 عرفت عجزا كبيرا في الصبيب، بلغت أقصاها خلال سنة **1983 و1984** على التوالي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) والحوض الفرعي لواد أيت تمليل، كما سبقت الإشارة لذلك في تحليل التغيرات السنوية للصبيب.

4. تردد وتوزيع الصبيب السنوي

نظرا للأهمية التي تكتسيها دراسة توزيع وتردد قيم الصبيب، في تحديد خصائص تكرار القيم خلال السلسلة الإحصائية، تم الاعتماد على قانون Ln Normale، والذي يعتبر من بين القوانين الذي أعطانا نتائج مرضية خلال الاختبارات التي تم تطبيقها على العينة المدروسة.

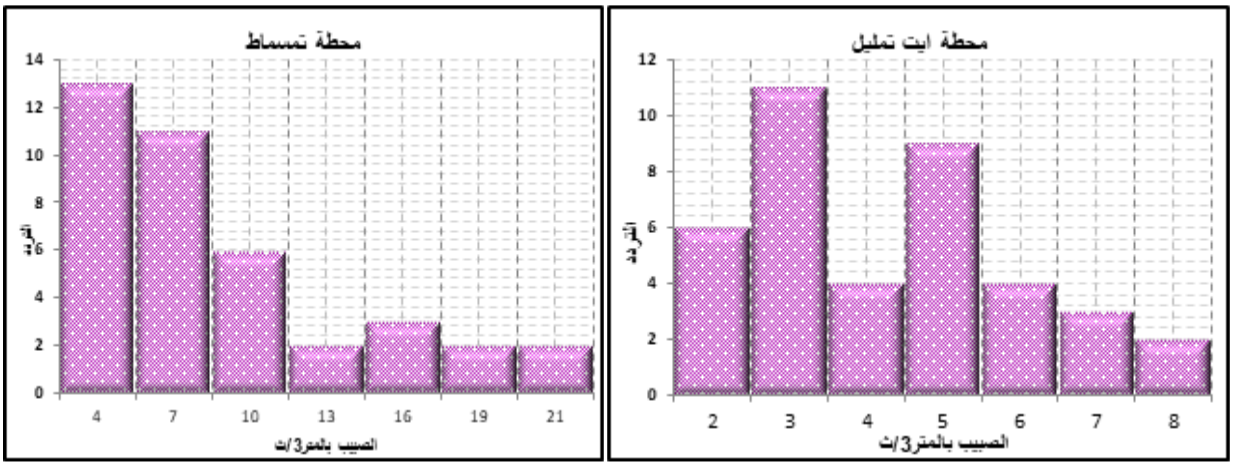
1.4. تطبيق قانون Ln Normale على الصبيب السنوي

نقصد بتردد الصبيب السنوي تكرار كمية الصبيب في سنوات محددة، ويتم استخراجها اعتمادا على مجموعة من القوانين والتي سبق أن تطرقنا لها في محور التساقطات المطرية. وفيما يلي نتائج تطبيق قانون Ln Normale على الصبيب السنوي بمحطتي الدراسة (مبيان 59):

الحوض الفرعي لواد أيت تمليل على مستوى محطة أيت تمليل: اتخذت قيم التردد شكلا تناقصيا، حيث سجلت قيم الصبيب الدنيا ترددا مهما، فيما سجلت القيم العليا منه ترددا ضعيفا تراوحت بين سنتين وأربع سنوات لقيم الصبيب الأكثر من 5 م^3/ث. ويوضح التوزيع بالنسبة للحوض أن أعلى تردد وصل 11 مرة (سنة) بالنسبة لقيمة الصبيب 3 م^3/ث، ثم 9 مرات بالنسبة للقيمة 5 م^3/ث، هذه القيمة الأخيرة هي التي تمثل المعدل العام للسلسلة الإحصائية المدروسة.

حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) على مستوى محطة تمسماط: تعتبر معدلات الصبيب بين 4 م^3/ث و 10 م^3/ث الأكثر ترددا بسافلة الحوض، أما باقي قيم الصبيب المسجلة فقد ترددت بشكل متساوٍ، باستثناء قيم الصبيب 16 م^3/ث التي ترددت ثلاث مرات خلال السلسلة الإحصائية.

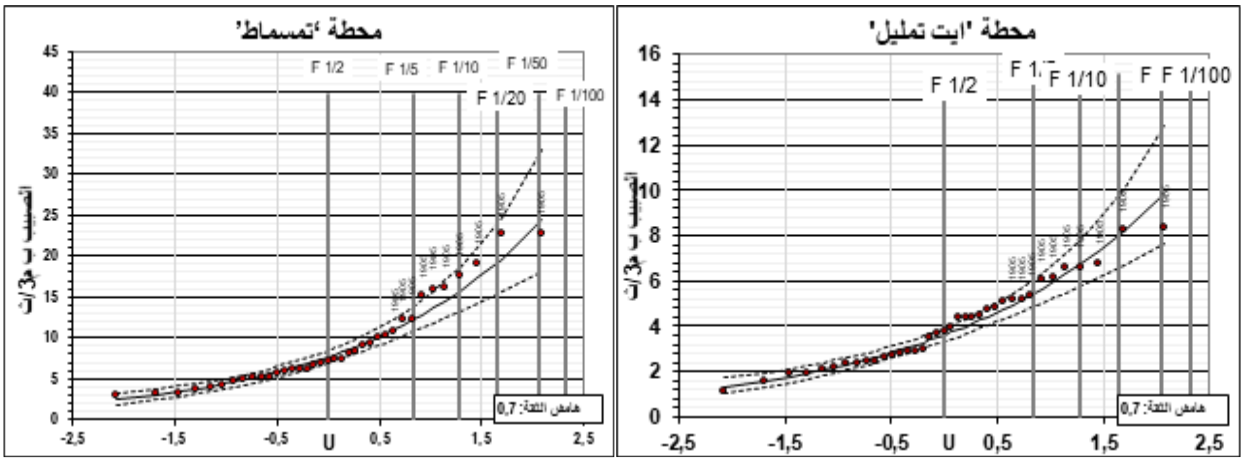
مبيان 59: ترددات الصبيب السنوي بمحطي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016)



تُساهم معدلات الصبيب في علاقتها مع باقي العوامل الطبيعية في تحديد حالة وقوة السلوك الهيدرولوجي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). كما أن القيم الأكثر ترددا هي الأقرب من المعدل السنوي للعينة المدروسة لمحطتي الدراسة. ولكي نفهم أكثر هذا التوزيع سنعمل على تعديل الصبيب السنوي حسب قانون Ln Normale، وهذه العملية مكملة للمرحلة السابقة المتعلقة بتردد الصبيب، والغاية من ذلك هو تصنيف وتوزيع القيم خلال السنوات الجافة والرطبة، مع إمكانية استخلاص السنوات الاستثنائية سواء السنوات الرطبة أو الجافة.

أظهر التعديل الإحصائي لقيم الصبيب أنها تتوزع بشكل مترابط مع المنحنى (مبيان 60)، كما نلاحظ تباين العينة خلال الفترة المدروسة. وأغلب النقط تتركز أساسا بين 0,5 و 0,5- ، وتتموضع السنوات الحدية من السلسلة الإحصائية في طرفي المنحنى. وبالنسبة للسنوات التي عرفت عجزا في الصبيب بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل فنجد 1984، 1994، 1993، 1983 و2002، أما حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) فيتعلق الأمر بالسنوات 1983، 2000، 1984، 1982، و2013. كما تميزت السلسلة المدروسة بسنوات سجل خلالها الصبيب مستويات قياسية ويتعلق الأمر بسنة 1988، 1989 و2007 بالنسبة لعالية الحوض، والسنوات 1996، 2008 و2011 بالنسبة لسافلة الحوض.

مبيان 60: توزيع الصبيب السنوية بمحطتي تمسماط وأيت تمليل حسب قانون (Ln Normale) (1978 – 2016)



نستنتج، من خلال تحليل نتائج التوزيع، أن السلوك الهيدرولوجي يختلف بين عالية الحوض وسافلته، خصوصا فيما يتعلق بالقيم الحدية للصبيب، فمثلا سنة 2007 تميزت بعجز مائي بسافلة الحوض، هي نفسها شكلت فائضا بالنسبة لعاليته.

2.4. حساب فترات الرجوع للصبيب السنوية

نقصد بفترات الرجوع تكرار صبيب معين في مدة معينة، فبعد دراسة وتحليل المعطيات الهيدرولوجية لحوضي الدراسة حسب قانون (Ln Normale) حاولنا حساب الترددات السنوية للسلسلة الإحصائية المدروسة، والتي أظهرت قيما ومؤشرات مهمة تساعد في كيفية تدبير الموارد المائية وأشكال التهيئة، وهذا ما يوضحه الجدول 39.

جدول 39: فترات رجوع الصبيب السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016)

الترددات	1/2	1/5	1/10	1/20	1/50	1/100
فترات الرجوع	سنتان	5 سنوات	10 سنة	20 سنة	50 سنة	100 سنة
محطة أيت تمليل (م^3/ث)	4	5,5	6,1	6,5	7	8,5
محطة تمسماط (م^3/ث)	9	12,9	14,6	15,6	16,4	20,3

يقترب معدل السلسلة الإحصائية المدروسة بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل من القيمة 4 م^3/ث على مستوى والتي تمثل التردد ½، وقد تضمنت العينة ترددات للقيم الرطبة 1/10 خلال السنوات 1999 و1979 و1996، فيما سجلت أعلى صبيب بمعدل 8,4 م^3/ث على تردد 1/100 والتي ظهرت خلال السلسلة الإحصائية مرتين الأولى سنة 1988 والثانية سنة 1989.

بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) يظهر المعدل السنوي للسلسلة الإحصائية (1978 – 2016) ، كل سنتين بقيمة 9 م^3/ث على مستوى محطة تمسماط، أما أعلى قيمة عرفتها السلسلة فقد بلغت 22,8 م^3/ث سنة 1996 والتي تظهر مرة كل 100 سنة.

على العموم، تضمنت السلسلة الإحصائية المدروسة، الممتدة على مدى 39 سنة، قيما مهمة للصبيب السنوي والتي يمكن أن تتردد مرة في كل 50 سنة أو 100 سنة. وما تم استنتاجه هو أن القيم المُمثلة بالتردد ½ هي التي تشكل الصبيب النمطي بالحوض والقريبة من المعدل السنوي للمحطتين. وأكيد أن المعدلات السنوية للصبيب تحجب بعض التفاصيل الشهرية، لذا من المهم التدقيق أكثر في تحليل هذه المعطيات من خلال دراسة على المستوى الشهري.

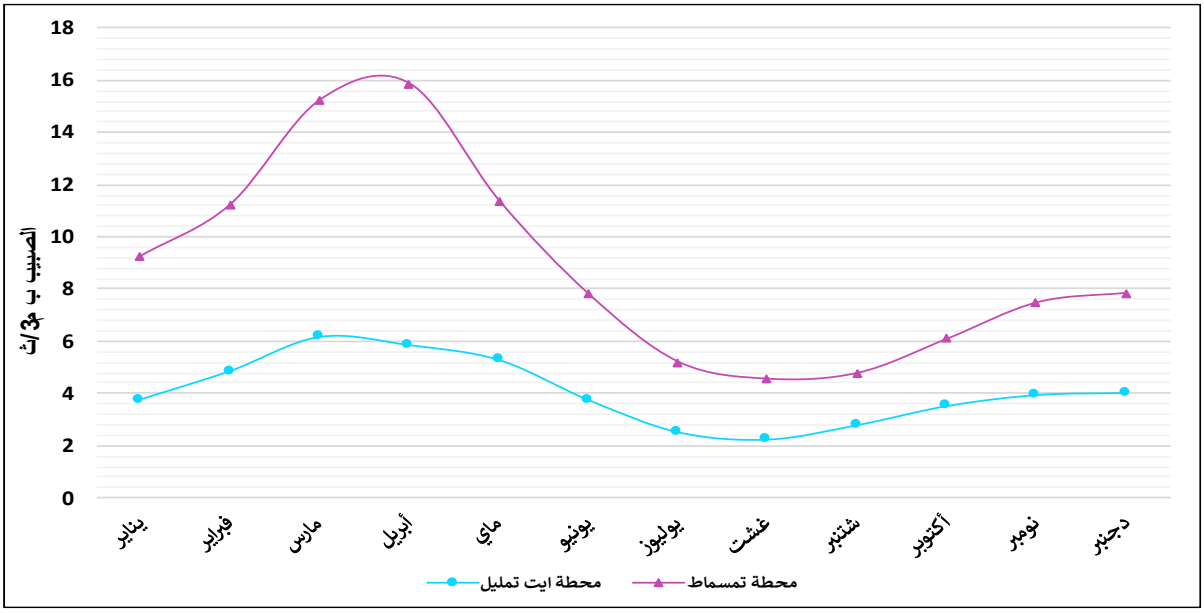
II. دراسة تغايرية الصبيب على المستوى الشهري

سيتم، في هذه المرحلة، دراسة وتحليل الصبيب الشهري بالاعتماد على المعطيات الشهرية للسلسلة الإحصائية، والهدف الأساس هو تحديد نظام الجريان بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، فضلا عن التباينات الداخلية في الحوض. وقد بلغ المعدل السنوي للصبيب خلال السلسلة المدروسة على مستوى محطة أيت تمليل 4,8 م^3/ث بصبيب نوعي بلغ 9,1 ل/ث/كلم^2 بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل. أما على مستوى محطة تمسماط فقد سجلت 9 م^3/ث، بصبيب نوعي 6,9 ل/ث/كلم^2 بالنسبة لحوض تساوت عالية سد مولاي يوسف. لذا وجب التدقيق أكثر في المعطيات الشهرية حتى يتسنى لنا فهم السلوك الهيدرولوجي بالحوض.

1. التغايرية الشهرية لمعدلات الصبيب

نعبر عن ذلك بمعدل صبيب كل شهر داخل السلسلة الإحصائية المدروسة (1978 – 2016) على مستوى محطتي الدراسة، ونهدف من خلاله إلى إبراز الأشهر التي تعرف وفرة في الصبيب وتلك التي تعرف عجزا فيه، والتي يمكن أن تؤثر سلبا على الجريان السطحي وتعبئة الموارد المائية بالحوض (مبيان 61).

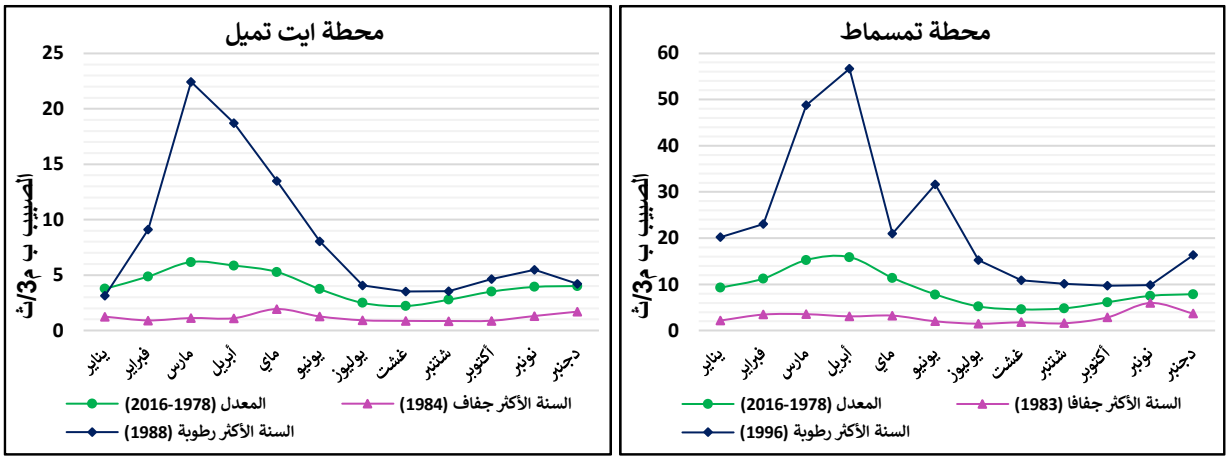
مبيان 61: معدل الصبيب الشهري بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016)



ترتبط التغيرات الشهرية للصبيب بالتغايرية الكمية للتساقطات المطرية وللتبخر-النتح بالإضافة إلى خصائص النفاذية بالحوض تبعا لنوع الصخارة. وقد سُجل، بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، أعلى معدل للصبيب (6,1 م^3/ث) في شهر مارس وأدناه (2,2 م^3/ث) في شهر غشت. فيما سُجل، بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، أعلى معدل (16 م^3/ث) في شهر أبريل وأدناه (4,6 م^3/ث) في شهر غشت كذلك. يتضح أن الصبيب يعرف قيما مهمة خلال الفترة الممتدة بين شهري نونبر وماي، حيث أن هذه الفترة تتميز بموارد مائية مهمة. غير أن الملاحظة المهمة التي سجلناها، من خلال تحليل النتائج، هو أن معدل الصبيب الشهري بلغ دروته خلال شهري مارس وأبريل، اللذان يتميزان بانخفاض نسبي في التساقطات المطرية، مما يجعلنا نطرح التساؤل عن مدى مساهمة التساقطات الثلجية والفرشة المائية في الجريان السطحي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)؟

عرفت السلسلة المدروسة توالي فترات جافة وأخرى رطبة، ومن خلال دراسة تغايرية الصبيب على المستوى السنوي، وتحليل معطيات النتائج باعتماد مؤشر التغيير ومؤشر (Nicholson, 1994) تبين أن سنتي 1983 و1984 سجلتا عجزا هيدرولوجيا كبيرا، على التوالي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) والحوض الفرعي ايت تميل، رغم أن مجال الدراسة عرف جفافا مناخيا مفرطا سنة 2001. كما تم تسجيل صبيب مهم في سنتي 1996 و1988 على التوالي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) والحوض الفرعي لواد أيت تمليل.

مبيان 62: نظام الجريان للسنوات الحدية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط



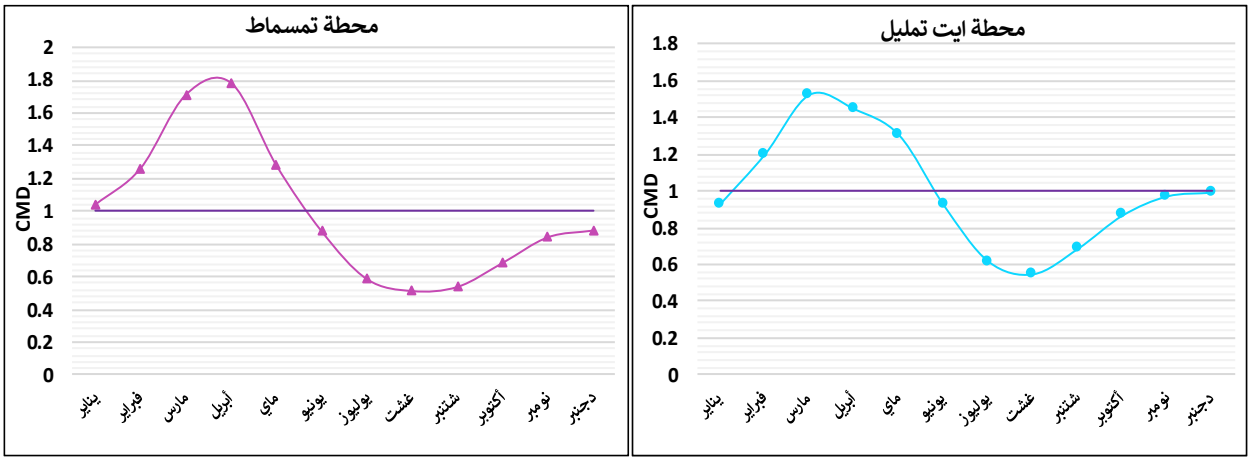
لا يختلف نظام الجريان للسنوات الرطبة عن الملاحظ خلال السلسلة الإحصائية المدروسة (مبيان 62)، إذ أن الصبيب عرف قيما مهمة خلال شهري مارس وأبريل. وقد بلغ الانحراف المعياري 3,1 م^3/ث بين معدل الصبيب لسنة 1988 ومعدل السلسلة الإحصائية على مستوى محطة أيت تمليل، بانحراف مهم خلال شهر مارس حيث سجل 11,5 م^3/ث. أما بمحطة تمسماط فقد سجل الانحراف المعياري 9,9 م^3/ث بين معدل الصبيب لسنة 1996 ومعدل السلسلة الإحصائية، وقد بلغ أقصاه في شهر أبريل بتسجيله 28,9 م^3/ث، وهذا يبين أهمية الموارد المائية التي سُجلت خلال هذه السنة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والحوض الفرعي لواد أيت تمليل. أما بالنسبة للسنوات الجافة، فقد تميز نظام الجريان بشبه استقرارا طول السنة، مع ارتفاع طفيف في منسوب الصبيب خلال شهر ماي بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل وشهر نونبر بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف). وقد بلغ الانحراف المعياري، على مستوى محطة أيت تمليل، بين معدل الصبيب لسنة 1984 ومعدل السلسلة الإحصائية 1,2 م^3/ث، أما على مستوى محطة تمسماط فقد بلغ الانحراف المعياري بين معدل الصبيب لسنة 1983 ومعدل السلسلة الإحصائية 2,9 م^3/ث، الشيء الذي يدل أن سافلة الحوض سجلت عجزا مائيا كبيرا خلال هذه السنة مقارنة مع عالية الحوض.

2. المعامل الشهري للصبيب

لفهم أكثر لخصائص التوزيع الشهري للصبيب، سيتم حساب المعامل الشهري للصبيب (CMD) Coefficient Mensuel de Débit ، وهو حاصل قسمة معدل الصبيب الشهري على معدل الصبيب السنوي للسلسلة الإحصائية (Module Interannuel)، والذي سيساعدنا على فهم أكثر للنظام الهيدرولوجي بالحوض المدروس، وبالتالي تقسيم سنة إلى فترة نزول الصبيب وفترة صعود الصبيب (Bouanani, 2009).

$$\text{CMD} = \frac{\text{المعدل الشهري للصبيب}}{\text{معدل الصبيب السنوي}}$$

مبيان 63: نظام الجريان بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) انطلاقا من المعامل الشهري للصبيب (1978 – 2016)



يُظهر تحليل النتائج فترتين مختلفتين للنظام الهيدرولوجي، فترة تتميز بوفرة الموارد المائية وأخرى تتميز بندرتها، غير أن هناك اختلاف في النظام الهيدرولوجي بين عالية الحوض وسافلته، وهذا ما سيتم إبرازه:

- **فترة صعود الصبيب: Hautes Eaux**
  - الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: تمتد فترة الوفرة فيه على طول 5 أشهر (من شهر دجنبر إلى شهر ماي) باستثناء شهر يناير، الذي يلاحظ خلاله انخفاض في كمية الصبيب، وبالتالي فالمنحنى يضم منوالين الأول في شهر مارس والثاني في شهر دجنبر. ويفسر ذلك بعامل الارتفاع حيث أن درجات الحرارة المنخفضة تساهم في إبقاء التساقطات الثلجية في حالتها الصلبة وهي خاصية النظام الهيدرولوجي الثلجي المطري. وقد سُجل أعلى

معامل للصبيب في فصلي مارس وأبريل، وهذا يؤكد أن التساقطات الثلجية تساهم في تغذية المجرى المائي الرئيسي خلال فصل الربيع.

- حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): تمتد فترة الوفرة فيه لمدة 5 أشهر كذلك (من شهر يناير إلى غاية شهر ماي) وقد بلغ أعلى معامل شهري للصبيب، في شهري مارس وأبريل كذلك، كما هو الحال بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل.

- **فترة نزول الصبيب Basses Eaux**

- الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: تمتد فترة نزول الصبيب فيه على طول 7 أشهر المتبقية من السنة والتي تتميز بمعامل صبيب شهري ضعيف، يصل أداه في شهر غشت ليبدأ في الصعود تدريجيا ابتداء من شهر شتنبر.
- حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): تميز بفترة ندرة في الموارد المائية طويلة، والتي امتدت لمدة سبعة أشهر (من شهر يونيو إلى غاية شهر شتنبر) وقد سجلت معامل صبيب ضعيف تحت المعدل، بلغ أدناه شهر غشت.

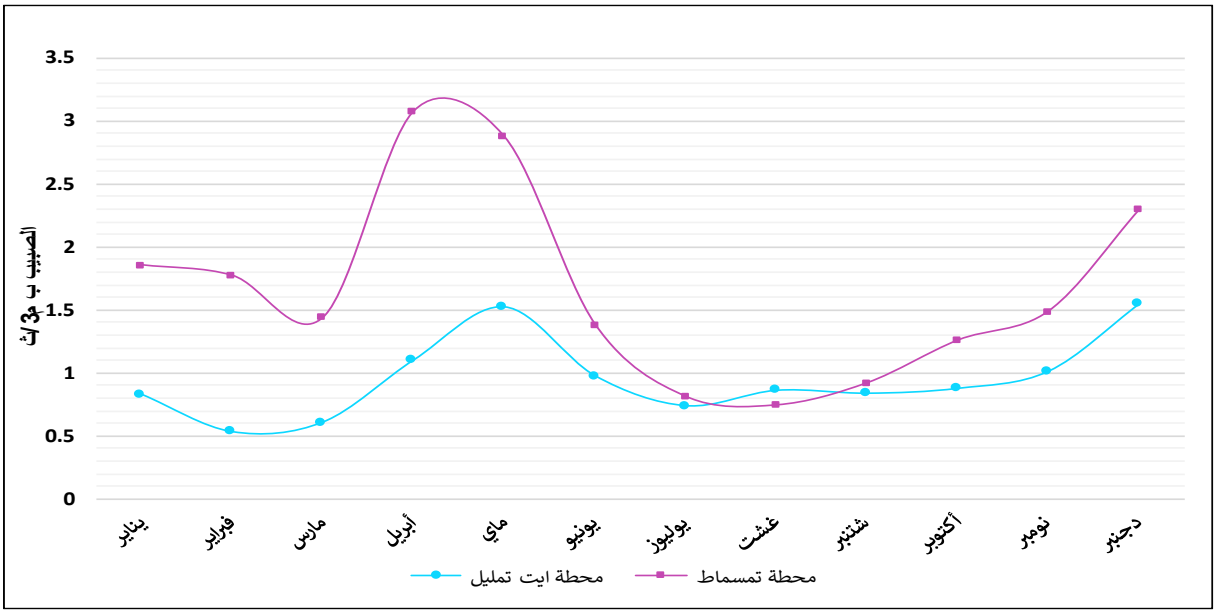
نستنتج مما سبق أن هناك تباينا واختلافا في النظام الهيدرولوجي على المستوى الزمني والمجالي. على المستوى الزمني؛ عرفت فترات، خلال السنة، ارتفاع منسوب الصبيب وفترات تميزت بضعفه مما سيكون له تأثير على توافر الموارد المائية والأنشطة الفلاحية بالحوض وكذلك على مستويات ملء السد. أما على المستوى المجالي فهناك اختلاف في النظام الهيدرولوجي بين عالية الحوض وسافلته، من حيث الأشهر التي تميزت بفترة صعود الصبيب (Bouanani,2009).

3. استخلاص الصبيب الشهري الأدنى

لجأنا إلى تحديد الصبيب الشهري الأدنى خلال السلسلة المدروسة، وذلك بهدف معرفة السلوك الهيدرولوجي خلال فترات العجز المائي، والذي يمكن أن يكون ناتجا عن ظاهرة الجفاف المناخي أو الهيدرولوجي.

تُظهر النتائج (مبيان 64) تشابها في النظام الهيدرولوجي بالنسبة لقيم الصبيب الدنيا بحوضي الدراسة، غير أنه ما يثير الانتباه هو أن الحوض الفرعي لواد أيت تمليل على مستوى محطة أيت تمليل سجلت أدنى قيم للصبيب خلال الأشهر الباردة (يناير، فبراير، مارس) وقد بلغت أدناها في شهر فبراير بمعدل 0,5 م^3/ث، ويمكن تفسير ذلك بانخفاض درجات الحرارة المميزة لمنطقة الدراسة والتي تؤخر عملية ذوبان الثلوج.

مبيان 64: الصبيب الشهري الأدنى بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016)



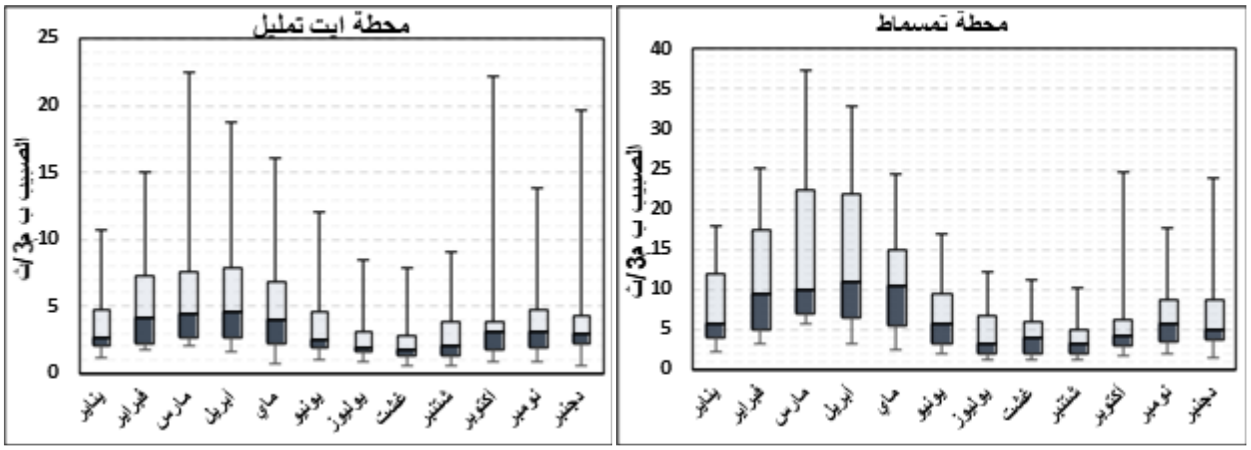
عرف حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) أدنى قيم الصبيب خلال أشهر الصيف (يوليوز وغشت وشتنبر)، وقد بلغت أدناها في شهر غشت بمعدل 0.7 م^3/ث على مستوى محطة تمسماط، وقد كانت هذه القيمة أعلى من القيمة المسجلة بسافلة الحوض، إذ يمكن تفسير ذلك بالأنشطة البشرية المرتبطة بجلب مياه السقي خصوصا خلال فترات الشح المائي. تميز كذلك الحوض بانخفاض نسبي في قيم الصبيب الدنيا خلال الأشهر الباردة (يناير، فبراير، مارس)، وهذا أمر طبيعي لكون سافلة الحوض تتأثر بالعوامل الطبيعية المميزة للعالية.

ما يمكن استنتاجه من تحليل القيم الدنيا للصبيب بالحوض، هو أن فترات العجز المائي لا تقتصر فقط على فترات الصيف المتميز بقلة التساقطات المطرية، بل يمكن أن نرصدها حتى في الفصل البارد، وهي إحدى مميزات المناخ الجبلي المتميز بالتساقطات الثلجية خلال فصل الشتاء.

4. المعدلات الشهرية للصبيب باعتماد مخطط الصندوق

يعتبر مخطط الصندوق طريقة سريعة لضبط الملامح الأساسية لسلسلة إحصائية. هذه الطريقة تلخص فقط عددًا قليلاً من المؤشرات لموضع الخاصية المدروسة (القيمة الدنيا للصبيب، الُربيع الأدنى Q1، الوسيط Q2، الرُبيع الأعلى Q3، والقيمة القصوى للصبيب). ويستخدم الرسم البياني بشكل أساسي لمقارنة نفس السمة في مجموعتين بأحجام مختلفة (David, 2003). سنعمل على تمثيل المعدلات الشهرية للصبيب باعتماد مخطط الصندوق وطرفيه، وذلك بهدف إبراز تغايرية القيم الحدية والوسيطة خلال نفس الشهر على مدى السلسلة الإحصائية المدروسة.

مبيان 65: المخطط الصندوق لمعدلات الصبيب الشهري بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



يُظهر التمثيل البياني (مبيان 65)، باعتماد المخطط الصندوق، المسافات المختلفة بين القيم الدنيا والعليا لمعدلات الصبيب الشهري، من جهة، والرُبيع الأدنى والأعلى من جهة أخرى، وهذا يعكس درجة التشتت في العينة الإحصائية.

عرف المدى الربيعي (الفرق بين الربيع الأعلى $Q_{0,25}$ والربيع الأدنى $Q_{0,75}$) بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، قيما كبيرة خلال الأشهر الشتوية، والذي بلغ أقصاه خلال شهري مارس وأبريل ب 15 م^3/ث على مستوى محطة تمسماط، وقد تقلص خلال الفترة الصيفية الممتدة بين شهر يونيو إلى غاية شهر أكتوبر، والذي بلغ أدناه خلال شهر أكتوبر ب 3 م^3/ث. وتمثل معدلات الصبيب الشهري الفئة الواقعة بين الربيعين 50% من العينة الإحصائية. كما يوضح المخطط أن معدلات الصبيب الشهري بين الوسيط والرُبيع الأعلى أكثر تباعدا وانتشارا من التي تقع بين الوسيط والرُبيع الأدنى، والمعدلات الأكبر من الرُبيع الأعلى أكثر تباعدا وانتشارا.

عرف المدى الربيعي بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، تباينا أقل مقارنة بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، حيث لم يتجاوز 5 م^3/ث بمحطة أيت تمليل كأقصى قيمة في شهر أبريل. غير أن درجة التشتت كانت أكثر حدة بهذه المحطة، وهذا ما يدل على تباعد وانتشار المعدلات الأكبر من الرُبيع الأعلى.

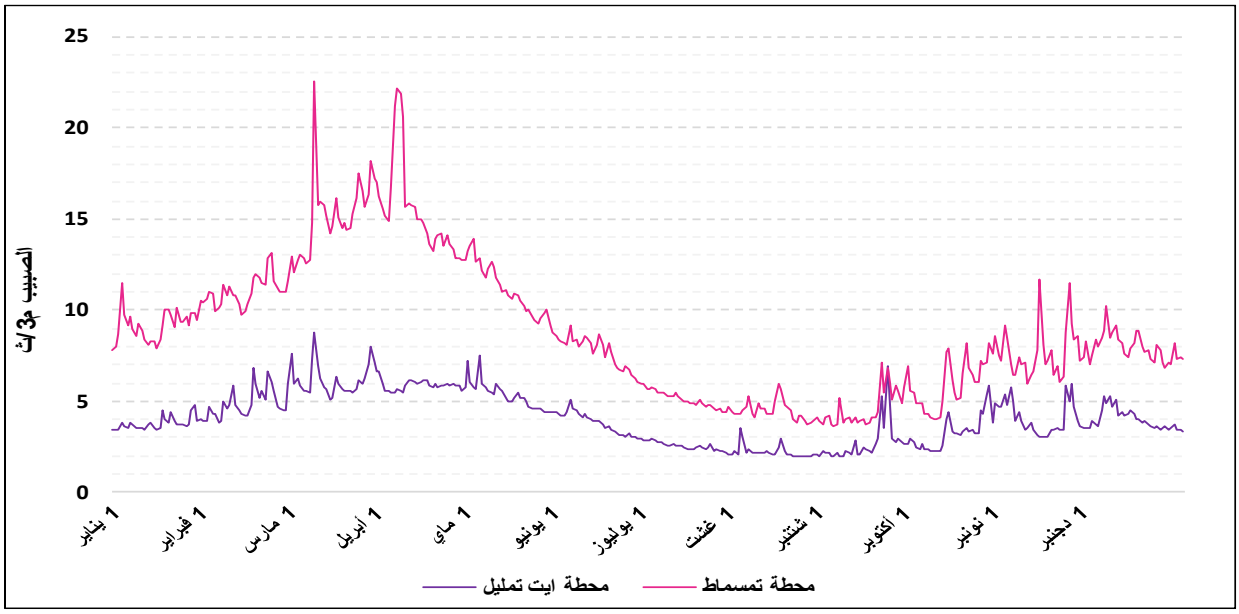
III.دراسة تغايرية الصبيب على المستوى اليومي

لفهم أكثر لتغيرات الصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، سيتم دراسة خصائص الصبيب اليومي لما يمثله من أهمية بالغة في الدراسات الهيدرولوجية. والهدف الأساس من هذه المرحلة هو أخذ فكرة عن تغيرات الصبيب اليومي بالحوض قبل معالجة إحدى الظواهر الحدية (El Ghachi, 2007) ، ويتعلق الأمر بدراسة الشح المائي موضوع الدراسة. وسنعتمد في هذه الدراسة على المعطيات اليومية للصبيب بمحطتي أيت تمليل وتمسماط، خلال المدة الزمنية (1978 – 2016).

1. التغايرية اليومية لمعدلات الصبيب

ونقصد به معدل الصبيب اليومي خلال 365 يوم للسلسلة الإحصائية (1978 – 2016)، والذي يتم حسابه انطلاقا من نفس اليوم خلال 39 سنة. الهدف من استخراج المعدل اليومي هو إبراز التغايرية اليومية للصبيب في علاقته بالنظام الهيدرولوجي وموسمية الجريان بحوضي الدراسة.

مبيان 66: معدل الصبيب اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016)



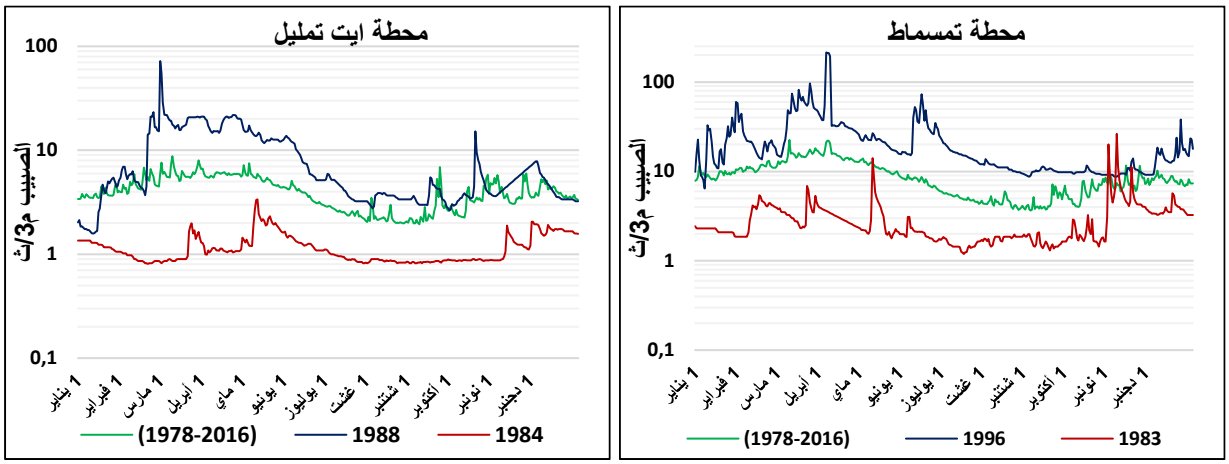
تبرز لنا النتائج (مبيان 66) تغايرية متفاوتة في حدتها بين حوضي الدراسة في معدل الصبيب اليومي. حيث تميزت بتذبذب واضح، خصوصا خلال الفترة الممتدة بين شهري شتنبر وأبريل، وهي نفسها الفترة التي عرفت صعودا تدريجيا في المعدلات، وقد بلغت أقصاها في منتصف شهر أبريل بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) بمعدل 22,3 م^3/ث عند محطة تمسماط، وفي نهاية شهر أبريل بالنسبة للحوض الفرعي بمعدل بلغ 8,9 م^3/ث عند محطة أيت تمليل. ليبدأ بعد ذلك الصبيب اليومي في النزول التدريجي. فيما سُجلت أدنى معدلاته في نهاية شهر غشت وبداية شهر شتنبر بمحطتي الدراسة. كما عرف الصبيب بحوضي الدراسة بعض التذبذب خلال الفترات الصيفية (شهري غشت وشتنبر)، والتي يمكن تفسيرها بالتساقطات الرعدية خلال هذه الفترة، ما ينتج عنه ارتفاع مستويات الصبيب خلال فترات قصيرة (بضعة أيام).

ما يمكن استنتاجه من تحليل النتائج، أن سافلة الحوض عرفت تغيرات قوية في معدلات الصبيب اليومي مقارنة بعاليته، وأن المعدلات العليا للصبيب اليومي سُجلت في الفترة ما بين فبراير وأبريل.

بالإضافة لدراسة تغيرات الصبيب اليومي على مدى 365 يوم، من المهم مقارنة هذه التغيرات بالسنوات الحدية (السنة الهيدرولوجية الجافة والرطبة) لكل محطة (مبيان 67)، والتي سبق استخراجها ودراستها على المستوى السنوي والشهري. ويتعلق الأمر بالسنتين الهيدرولوجيتين الجافتين 1983 و1984 ثم السنتين الهيدرولوجيتين الرطبتين 1996 و1988 على التوالي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) والحوض الفرعي لواد أيت تمليل.

عرف الصبيب تغيرات قوية خلال السنوات الرطبة، وقد بلغ خلال شهري مارس وأبريل بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) قيما تجاوزت 60 م^3/ث عند محطة تمسماط، ونظرا للتساقطات المطرية المهمة التي عرفتها سنة 1996 فإن منسوب الصبيب تجاوز 10 م^3/ث حتى في الأشهر الصيفية، كما تميزت بارتفاع مهم في مستويات الصبيب، وذلك راجع للتساقطات الرعدية التي تميز الحوض. أما بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل فقد عرفت الفترة الممتدة بين أواخر شهر فبراير إلى غاية شهر ماي بمنسوب صبيب على مستوى محطة أيت تمليل مدعوم بالتساقطات الثلجية التي تميز عالية الحوض. سجل الصبيب، خلال السنوات الجافة، تغايرية ضعيفة بحوضي الدراسة. وعرف عالية الحوض عجزا كبيرا خلال شهر مارس والفترة الممتدة بين شهري يوليوز ونونبر (1984) بمنسوب صبيب أقل من 1 م^3/ث. فيما سجل الصبيب بسافلة الحوض عجزا واضحا خلال نفس الفترة من سنة 1983 بمنسوب صبيب أقل من 2 م^3/ث عند محطة تمسماط.

مبيان 67: الصبيب اليومي للسنوات الحدية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)

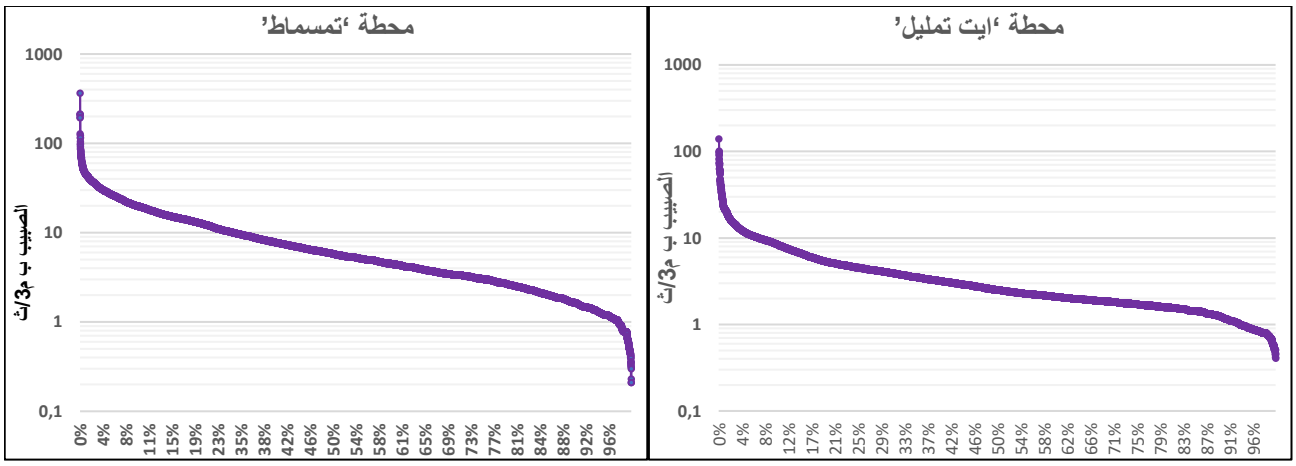


تأثر المخزون الباطني للفرشة المائية بالحوض بشكل كبير على إثر الجفاف المناخي الذي عرفته سنوات بداية الثمانينيات، حيث بلغ ذروة هذا العجز سنتي 1983 و1984، مما أثر بشكل كبير على منسوب الصبيب بالحوض النهري. ورغم هذا العجز فالمجرى المائي لحوضي الدراسة لم يبلغا مستوى التجفيف، وهذا راجع للتغذية الجوفية المهمة حتى مع توالي سنوات الجفاف، وهذا ما يميز المجرى المائي بجريانه الدائم.

2. تحليل الصبيب اليومي المصنف

من أجل فهم تغيرات الصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، سنعمل على تصنيف المعدلات اليومية للصبيب بمحطتي الدراسة المسجلة خلال الفترة الممتدة من 1978 إلى 2016، حيث سيتم تمثيل الصبيب اليومي على مستوى محور الأراتيب في علاقته بالنسب المئوية على مستوى محور الأفاصيل، التي تعكس عدد الأيام خلال 39 سنة للسلسلة الإحصائية (Gailliez, 2013) . الهدف من هذه المعالجة هو إبراز جميع قيم الصبيب اليومي المسجل خلال السلسلة المدروسة من خلال نظرة شمولية لمستويات الصبيب.

مبيان 68: الصبيب اليومي المصنف بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016)



الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: بلغت أقصى قيمة للصبيب اليومي بتاريخ 10 مارس 1990، إذ تم تسجيل 139 م^3/ث على مستوى محطة أيت تمليل، الذي يمثل ضِعف المعدل السنوي للسلسلة الإحصائية ب 34 مرة، أما أدنى قيمة فقد سُجلت بتاريخ 4 شتنبر 2010 بمعدل 0,41 م^3/ث. وقد بلغ الانحراف المعياري للصبيب اليومي بهذه المحطة 2,8 م^3/ث. وحسب المبيان 68 فإن 71 % من المعدلات اليومية للصبيب المسجلة بالمحطة أقل من المعدل السنوي (4,1 م^3/ث) للسلسلة المدروسة.

حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): سُجل أعلى صبيب يومي بمعدل 365 م^3/ث على مستوى محطة تمسماط بتاريخ 10 مارس 1990، الذي يمثل ضعف المعدل السنوي للسلسلة الإحصائية ب 40 مرة، أما أدني قيمة سُجلت بنفس المحطة فقد بلغت 0,21 م^3/ث بتاريخ 19 شتنبر 2014، وقد بلغ الانحراف المعياري 6,8 م^3/ث، وهذا يوضح شدة تغير الصبيب بين القيم الدنيا والعليا مقارنة مع محطة أيت تمليل. وانطلاقا من المنحنى يتبين أن 64% من قيم الصبيب اليومي أقل من المعدل السنوي (9 م^3/ث) للسلسة المدروسة.

نظرا لكون محطتي الدراسة تقعان في نفس المجرى المائي فإنهما سجلتا أقصى معدل للصبيب اليومي في نفس التاريخ، ونستنتج من خلال تحليل المعطيات، أن أغلب قيم الصبيب الدنيا سجلت بكلتا المحطتين في شهر غشت وبداية شهر شتنبر.

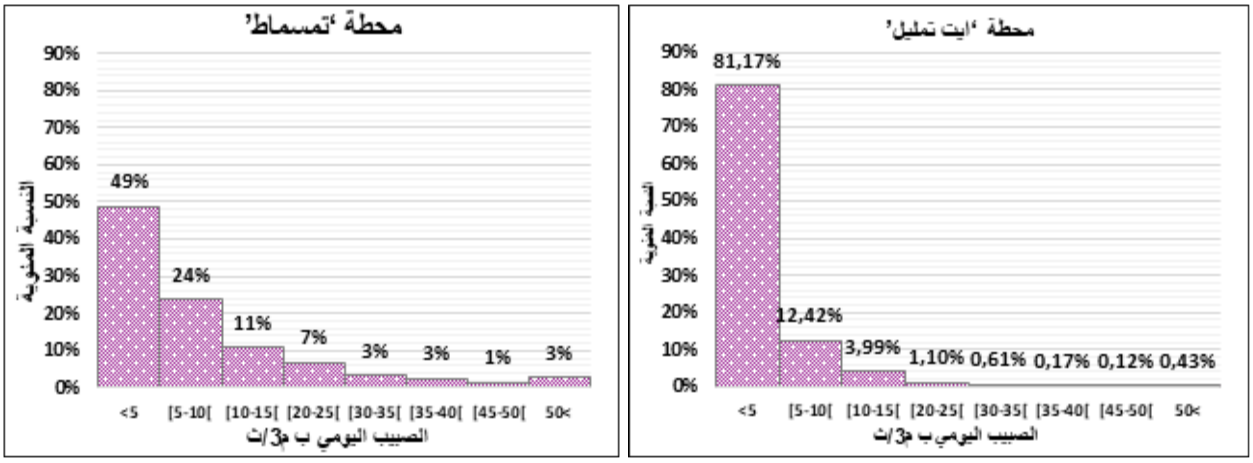
3. التردد اليومي لقيم الصبيب

انطلاقا من تفييء قيم الصبيب اليومي المسجلة بمحطتي أيت تمليل وتمسماط خلال 39 سنة المدروسة، سنعمل على إبراز القيم الأكثر ترددا، والتي تمثل فعلا الموارد المائية بالحوض.

يبرز المبيان 69 تباينا واضحا في تردد قيم الصبيب اليومي بين عالية الحوض وسافلته. بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل، فقد حظيت قيم الصبيب الأقل من 5 م^3/ث بحصة كبيرة بنسبة 81,1% على مستوى محطة أيت تمليل، فيما مثلت القيم المنتمية للفئة]5-10] م^3/ث فقط 12,4 %، أما باقي القيم فلم تتجاوز 7 % من مجموع قيم الصبيب المسجلة خلال المدة المدروسة. وبالتالي فإن معدل السلسلة الإحصائية الذي بلغ 4,1 م^3/ث ينتمي إلى الفئة الأولى الأقل من 5 م^3/ث.

يختلف توزيع الصبيب اليومي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) عن العالية، حيث تمثل القيم الأقل من 5 م^3/ث 48,7 % وهي الأكثر ترددا، تليها قيم الصبيب ضمن الفئة]5-10] م^3/ث بنسبة 23,8 %، أما بالنسبة للقيم التي تفوق 10 م^3/ث فقط سجلت 27,6 % وهي نسبة مهمة لا يستهان بها، ستساهم بنسبة من الموارد المائية الإضافية للحوض.

مبيان 69: تردد قيم الصبيب اليومي حسب المجالات بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)

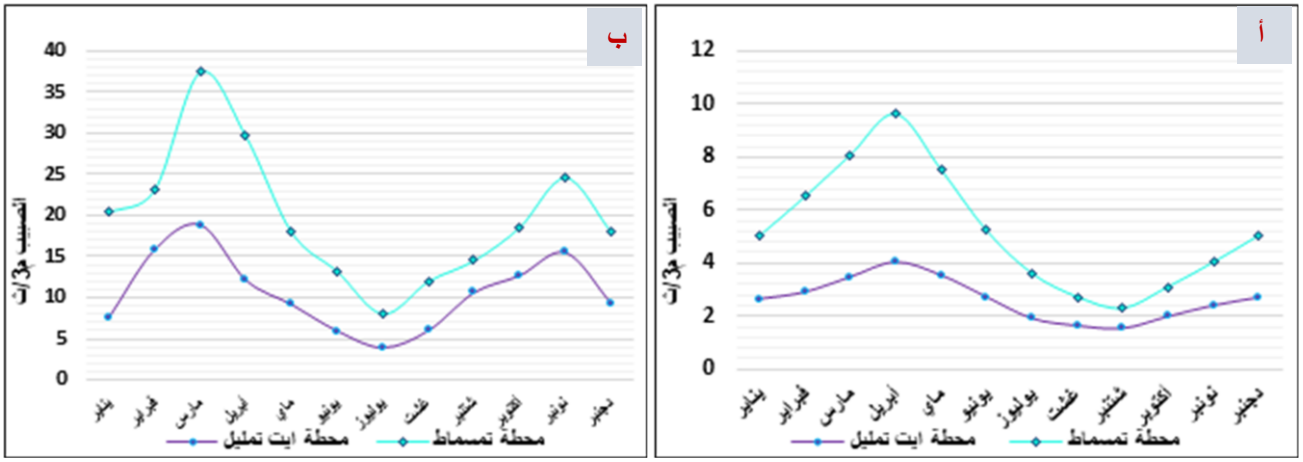


من خلال النتائج نستنتج أن حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) يتميز بتوزيع منطقي لقيم الصبيب، عكس الحوض الفرعي لواد أيت تمليل الذي تمثل فيه معدلات الصبيب الأقل من 5 م^3/ث نسبة كبيرة من مجموع الترددات. غير أن هذه القيم الدنيا الأكثر ظهورا بمحطتي الدراسة هي ما يهمنا، خصوصا ونحن في صدد دراسة الشح المائي، الذي يمكن استخلاصه ودراسته انطلاقا من المعدلات الدنيا للصبيب.

4. المعدلات اليومية القصوى للصبيب

يتم استخلاص المعدلات القصوى للصبيب اليومي انطلاقا من حساب معدل القيم الحدية للصبيب (العليا والدنيا) لجميع الأشهر خلال السلسلة الإحصائية، والهدف من ذلك هو معرفة الفترات من السنة التي تتميز بصبيب مهم والفترات التي تعرف صبيبا ضعيفا.

مبيان 70: المعدلات القصوى للصبيب اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016): أ) معدل الصبيب اليومي الأدنى، ب) معدل الصبيب اليومي الأعلى.



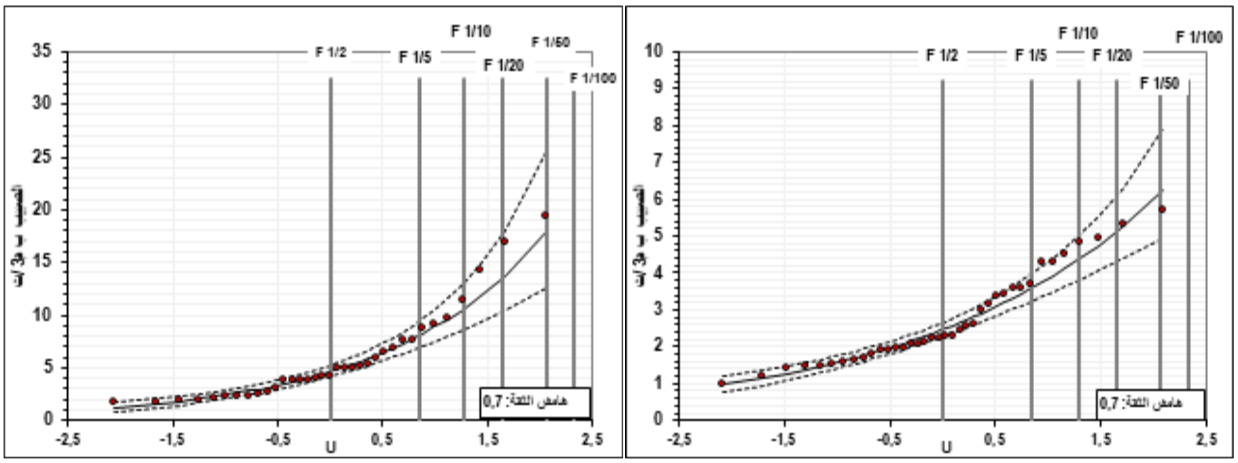
عرف المعدلات اليومية للصبيب الأعلى قيما مهمة خلال شهر مارس بحوضي الدراسة، وقد بلغت 38,4 م^3/ث بمحطة تمسماط و19,1 م^3/ث بمحطة أيت تمليل، بينما سجلت المعدلات اليومية للصبيب الأدنى قيما مهمة خلال شهر أبريل، وتوافق هذه الفترة ذوبان الثلوج، بالإضافة إلى مخزون الفرشة المائية التي تلعب دورا مهما في تغذية المجرى الرئيسي خلال هذه الفترة، حيث تساهم هذه العوامل في ارتفاع منسوب الصبيب بالحوض. وسُجلت أدنى مستويات الصبيب خلال الأشهر الصيفية، وبالتحديد في شهر شتنبر، إذ تم تسجيل 2,5 م^3/ث بمحطة تمسماط و 1,6 م^3/ث بمحطة أيت تمليل.

5. توزيع المعدلات الدنيا للصبيب اليومي

بما أننا بصدد دراسة أحد الأحداث القصوى، المتعلقة بالشح المائي، سنعمل على دراسة توزيع وتردد المعدلات الدنيا للصبيب اليومي، والهدف من ذلك هو تحديد خصائص تكرارها خلال السلسلة الإحصائية المدروسة. وقد تم الاعتماد في ذلك على قانون Ln Normale الذي سبق تجريبه في الاختبارات السابقة على العينة المدروسة، حيث يتوافق مع الخصائص الطبيعية للمجال المدروس.

على مستوى نتائج التعديل الإحصائي (مبيان 71)، تبين المعدلات الدنيا للصبيب اليومي توزيعا جيدا حول المنحنى. كما أن أغلب النقط تتركز أساسا بين الترددين 1/5 في اتجاه الرطوبة والجفاف، غير أن هناك تباعد بين القيم القصوى في طرفي المنحنى. ورغم أن محطتي الدراسة توجدان على نفس المجرى المائي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، فإنه يُلاحظ تباين زمني في توزيع العينة خلال السلسلة الزمنية المدروسة، خصوصا القيم الدنيا من الصبيب، والتي سجلت أدنى المعدلات خلال السنوات 1983 و2012 و1999 و2014.... بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف). وسُجلت أدنى المعدلات، بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، في السنوات 1994 و1984 و2003 و1985. يعود هذا التباين إلى الاختلاف في السلوك الهيدرولوجي للحوض بين العالية والسافلة، كما يمكن للتدخل البشري أن يكون له دور كبير في التأثير على كمية الصبيب بسافلة الحوض خصوصا في السنوات الجافة.

مبيان 71: تطبيق قانون Ln Normale على المعدلات الدنيا للصبيب اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016)



سجل معدل الصبيب اليومي الأدنى بحوض الدراسة 2,7 م^3/ث بمحطة أيت تمليل و 5,8 م^3/ث بمحطة تمسماط (جدول 40)، وهو نصف المعدل السنوي للسلسلة الإحصائية. كما يتبين أهمية الصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) والتي سجلت أعلى قيمة للمعدلات الدنيا للصبيب اليومي حيث بلغ 19,3 م^3/ث سنة 2011 والموافقة للتردد 1/100، وهي نفس السنة التي سجلت أعلى معدل سنوي للصبيب إذ بلغ 26 م^3/ث.

جدول 40: فترات رجوع المعدلات الدنيا للصبيب اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016)

الترددات	1/2	1/5	1/10	1/20	1/50
فترات الرجوع	سنتين	5 سنوات	10 سنة	20 سنة	50 سنة
محطة أيت تمليل (م^3/ث)	2,7	3,5	3,9	4,2	4,3
محطة تمسماط (م^3/ث)	5,8	8,7	9,9	10,7	11,3

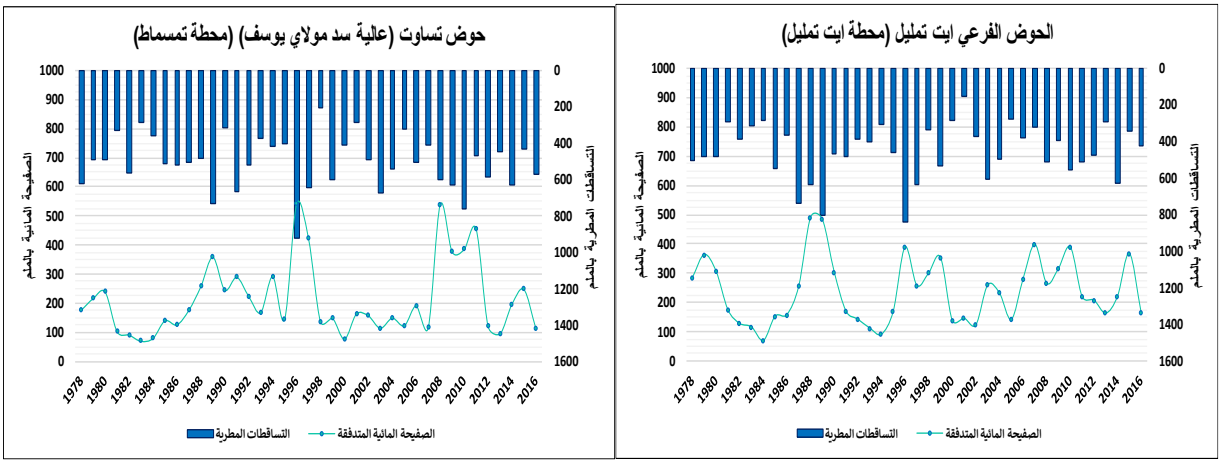
IV. علاقة التساقطات المطرية بالصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978 – 2016)

بعد دراسة توزيع التساقطات المطرية وتغيرات الصبيب بالحوض، سنتجه إلى تقييم العلاقة بينهما، والتي تعتبر معقدة التفسير، غير أنها يمكن أن تعطينا نظرة شاملة. والهدف من ذلك هو تحديد الجزء من التساقطات المطرية الذي يساهم في الجريان وأيضا مقاربة كمية التبخر-النتح الفعلي (ETR) من خلال عجز الجريان. ويمكن كذلك من حساب حاصل الجريان السنوي Q/P وعجز الجريان.

1. العلاقة بين التساقطات المطرية والصفيحة المائية المتدفقة على المستوى السنوي للصبيب

بعد عملية تحويل الصبيب إلى صفيحة مائية (Lame d'eau) بالميليمتر على مستوى حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والحوض الفرعي لواد أيت تمليل، سنعمل على تمثيلها في علاقتها بالتساقطات المطرية. وسنعتمد في ذلك على معطيات التساقطات المطرية والصبيب المقيسة بمحطتي أيت تمليل وتمسماط خلال فترة التقاطع بين السلسلتين، والتي توافق الفترة الممتدة على طول (1978 – 2016).

مبيان 72: العلاقة بين التساقطات المطرية والصفيحة المتدفقة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978 – 2016)



يوضح المبيان 72 اختلافا وتباينا في الصفيحة المائية المتدفقة بين أحواض الدراسة، في علاقتها بالتساقطات المطرية خلال السلسلة الإحصائية المدروسة :

- **الحوض الفرعي لواد أيت تمليل**: تميز بجريان مهم مقارنة بالتساقطات المطرية التي يستقبلها الحوض، وقد سجل هذا الحوض معدلا لصفيحة مائية بلغت 238 ملم، وهذا واضح من خلال القيم التي يوضحها المبيان 72، والمتراوحة بين أعلى قيمة تم تسجيلها سنة 1988 بمعدل 490 ملم وأدنى قيمة تم تسجيلها سنة 1984 بمعدل 68 ملم.
- **حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف):** يقدر معدل الصفيحة المائية المتدفقة بمجمل الحوض ب212 ملم، وقد سجلت أعلى قيمة 542 ملم سنة 1996 والتي تقابل معدل التساقطات المطرية التي سجلت 811 ملم، وهي أعلى قيمة خلال السلسلة، أما أدنى قيمة سجلت 69 ملم سنة 1983 والتي تقابل معدل التساقطات المطرية 294 ملم، وهي ليست أدنى قيمة خلال السلسلة، ويمكن تفسير هذا التفاوت في القيم الدنيا بين التساقطات المطرية والصبيب بحالة المخزون المائي خلال السنوات السابقة، فمثلا سنة 1983 تميزت بتساقطات مطرية ضعيفة خلال السلسلة الإحصائية، غير أنها كانت مسبوقة بثلاث سنوات سُجلت خلالهما تساقطات مطرية ضعيفة أيضا، حيث كان لها تأثير واضح على حالة ملء المخزون (Saidi,1995).

ومع ذلك، فإن العلاقة السببية ليست قوية. فقيم الصفيحة المائية المتدفقة ليست مترابطة بشكل جيد مع قيم التساقطات المطرية، لأن هناك عوامل ومتغيرات أخرى تتدخل في عملية الجريان؛ على سبيل المثال طبيعة التساقطات الصلبة والسائلة التي تميز عالية الحوض، بالإضافة إلى شدة التساقطات المطرية والتبخر-النتح والتساقطات المطرية والصبيب للسنوات السابقة قوة الانحدار وطبيعة الركيزة الصخرية... هذه العوامل تؤثر في طبيعة الجريان بالحوض.

2. حاصل وعجز الجريان السنوي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978 – 2016):

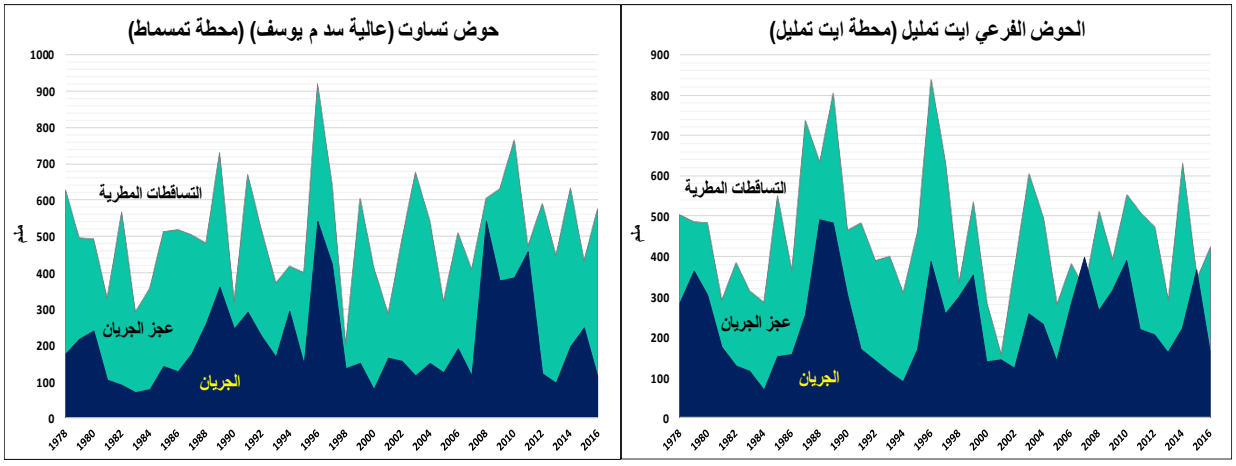
يمكن تعريف "عجز الجريان بالحوض النهري بالفرق بين التساقطات المطرية P والصفيحة المائية المتدفقة Q ويتم التعبير عنه بالميلمتر، والتي يفترض أن تكون موزعة بشكل متساوٍ على الحوض بأكمله" (Coutagne,1935).

جدول 41: معدل معامل الجريان بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

	الحوض الفرعي لواد أيت تمليل	حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)
التساقطات المطرية (ملم)	460	511
الصفيحة المائية (ملم)	240	215
عجز الجريان (ملم)	220	296
حاصل الجريان (%)	52	42

تتجه حوالي 52 % من التساقطات المطرية نحو الجريان بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، بينما 42 % منها فقط بالحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، وهذا يوضح أهمية الموارد المائية بالحوض ككل، وبالحوض الفرعي لواد أيت تمليل على الخصوص، رغم تميزه بتساقطات مطرية أقل من سافلة الحوض.

مبيان 73: عجز الجريان بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

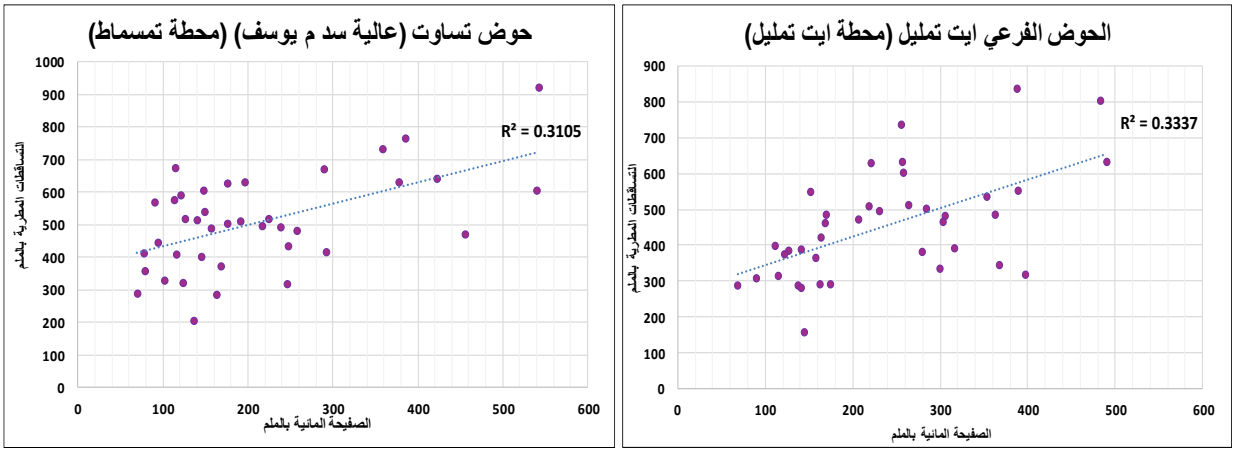


يختلف عجز الجريان بين مجمل حوض الدراسة وعاليته، كما أنه كلما زادت كمية التساقطات المطرية كلما قلت قيمة العجز بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) والحوض الفرعي لواد أيت تمليل. ومن وجهة نظر هيدرولوجية فإن عجز الجريان DE=P-E يمثل إجمالا المخزون الجوفي وكمية التبخر-النتح الفعلي ETR (Coutagne,1935). ورغم أن مجال الدراسة يتميز بكميات مهمة من التبخر-النتح فإن حاصل الجريان يُظهر أهمية كبيرة من الموارد المائية بحوضي الدراسة. وهذا راجع إلى نوع الصخارة المتميزة بنفاذيتها القوية، التي تساهم في تغذية المجرى المائي خلال فترات الشح المائي.

3. علاقة الترابط الخطي بين التساقطات المطرية والصبيب على المستوى السنوي

تم تحديد العلاقة بين التساقطات المطرية والصبيب على المستوى السنوي بالاعتماد على طريقة الترابط الخطي. وقد جُربت هذه الطريقة في المجالات المحيطية من طرف (Coutagne, 1948) والتي أعطت نتائج جيدة.

مبيان 74: الترابط الخطي السنوي للتساقطات المطرية والصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) (1978 – 2016)

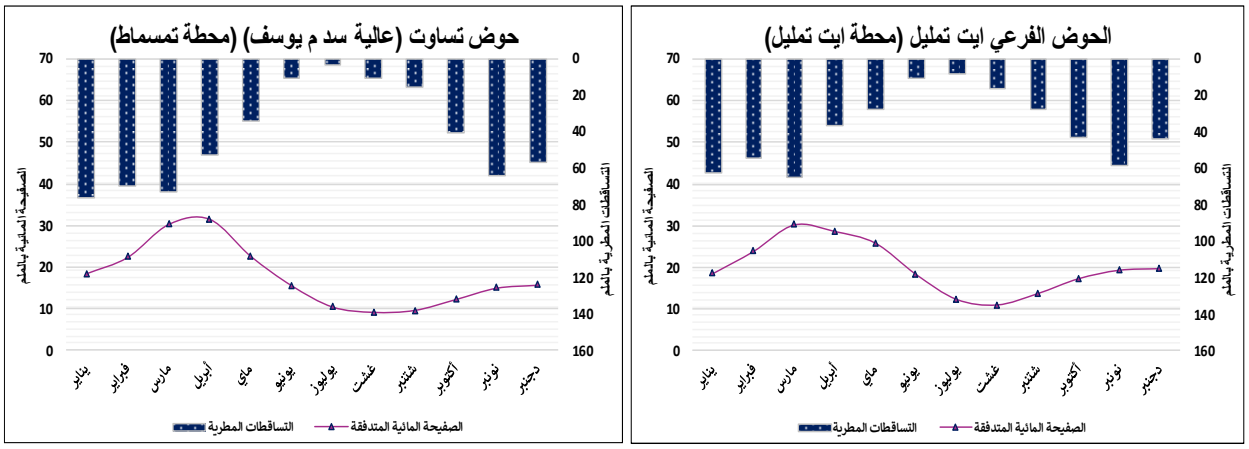


يُظهر الترابط الخطي ضعف العلاقة بين التساقطات المطرية والصبيب بحوض الدراسة (مبيان 74). والتي بلغت بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) 31%، أما بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل فقد بلغت 33%. تؤكد نتائج العلاقة أن التساقطات المطرية التي يستقبلها الحوض خلال السنة لا تتجه كلها مباشرة إلى الجريان السطحي، لكون الحوض يتميز بتكوينات قوية النفاذية، تتيح إمكانية تغذية المخزون الجوفي للحوض، ما يفسر اضطراب العلاقة بين التساقطات المطرية والصبيب.

4. العلاقة بين التساقطات المطرية والصبيب على المستوى الشهري

تفيدنا دراسة العلاقة بين التساقطات المطرية الشهرية والصبيب، في تدقيق وفهم أكثر للنظام الهيدرولوجي داخل الحوض المدروس (El Ghachi, 2007). لذا سنعمل على تحديد الأشهر التي تستقبل تساقطات مطرية مهمة وربطها بالأشهر التي تميزت بصبيب مهم. والهدف من ذلك هو فهم العلاقة بين نظامي التساقطات المطرية والصبيب. ويمكن تمثيل هذه العلاقة من خلال المبيان 75:

مبيان 75: العلاقة الشهرية بين التساقطات المطرية والصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) (1978 – 2016)



تُظهر النتائج علاقة ترابط واضحة بين كمية التساقطات المطرية وكمية الصفيحة المتدفقة بالنسبة لأحواض الدراسة، حيث تميزت الأشهر التي عرفت تساقطات مطرية مهمة بصبيب مهم، والعكس صحيح، والملاحظة المهمة التي يجب الإشارة إليها هو أن الصفيحة المائية بلغت دروتها خلال فصل الربيع حيث سُجلت أعلى قيمة 32 ملم في شهر أبريل بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، و30 ملم بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل بشهر مارس، رغم تراجع كمية التساقطات المطرية، وهذا يدل على أن التساقطات الثلجية تساهم بشكل مهم في تغذية المجرى المائي الرئيسي لتساوت.

كما تميزت فترة الصيف بصفيحة مائية لا بأس بها، بلغت أدناها في شهر غشت حيث سجلت 9,1 ملم بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) و10,8 ملم بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل رغم ندرة التساقطات المطرية التي لم تتعد 15 ملم، مما يوضح أهمية الخزانات الجوفية التي تساهم بنسبة مهمة في تغذية المجرى الرئيسي، إلى جانب التساقطات المطرية الرعدية التي يتميز بها الحوض نظرا للخصوصية الجبلية المميزة مجال الدراسة.

إن دراسة العلاقة بين التساقطات المطرية والصبيب على المستوى الشهري هي مسألة مهمة، خصوصا ونحن في صدد دراسة أحد الأحداث الحدية، والتي وضحت لنا بشكل جلي، أن هناك مخزون مائي مهم يتم ادخاره على شكل تساقطات ثلجية في المرتفعات خلال فصل الشتاء ليساهم بجزء من الصبيب في فصل الربيع وبداية فصل الصيف، وجزء آخر يخزن بين مسام الصخور ذات النفاذية المهمة، ليساهم خلال فترات الصيف في الجريان السطحي على شكل صبيب متأخر (Débit retardé)، وهنا تظهر العلاقة المعقدة بين التساقطات المطرية والصبيب، التي تتدخل فيها عدة عوامل ومتغيرات تساهم بشكل مباشر أو غير مباشر في عملية الجريان.

خلاصة

تعرف معدلات الصبيب تغايرية قوية من سنة لأخرى مع توالي فترات الوفرة والعجز. كما أنها تتباين على المستوى المجالي؛ حيث يتميز الحوض الفرعي لواد أيت تمليل (عالية الحوض) بصفيحة مائية مهمة، تمثل 52% من الواردات المطرية. تشكل عالية الحوض المزود الأساسي للمجرى المائي لواد تساوت (عالية سد م يوسف)، حتى مع توالي فترات الجفاف، نظرا لأهمية التغذية الجوفية بالعالية. وحسب المعالجة الإحصائية فحوضي الدراسة عرفا جفافا هيدرولوجيا حادا خلال السنوات 1982- 1983- 1984- 1993-1994- 2000-2002، إلا أنها لم تصل إلى حد تجفيف المجرى المائي.

إن العجز المائي الذي شهدته هذه السنوات سيكون له وقع كبير على الحياة الاقتصادية والاجتماعية لساكنة الحوض، علما أن أزيد من 80 % يزاولون الفلاحة، وأغلبهم من صغار المزارعين ممن لا يتوفرون على التقنيات الحديثة (عمل ميداني، 2017). كما أن سنوات الجفاف كان لها تأثيرا على الميزانية المائية للسدود (أشهبون، 2016) بما فيهم سد مولاي يوسف، مما سيكون له وقع على الرهانات الاقتصادية والفلاحية بسافلة السد.

خاتمـــــة الفصل السادس:

أوضحت الدراسة الهيدرولوجية أن نظام الجريان لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) يخضع لخصائص المناخ شبه الجاف، المتميز بتساقطات مطرية معتدلة وكميات التبخر-النتح مهمة، تحت تأثير مزدوج: العامل الطبيعي (التساقطات المطرية والثلجية ودور الركيزة الصخرية) والعامل البشري (جلب المياه). يتغير هذان العاملان حسب المقياس الزمني، مما يؤثر على أنماط الجريان بالحوض.

الحوض مجهز بمحطتين لقياس الصبيب، محطة تمسماط بالسافلة تمثل مجمل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) بلغ فيها معدل الصبيب 8,9 م^3/ث خلال السلسلة الإحصائية المدروسة (1978 – 2016)، والمتميز بصخور متوسطة النفاذية. وتمثل محطة أيت تمليل عالية الحوض، حيث بلغ فيها الصبيب 4,1 م^3/ث خلال نفس السلسلة الإحصائية، يتميز هذا الحوض بتكوينات قوية النفاذية (الصخور الكلسية المنكسرة) تساهم في الإمدادات المائية خلال فترات الصيف.

أما بالنسبة للسنوات الحدية لحوضي الدراسة، فقد سجلت سنتي 1988 و1996 موارد مائية مهمة على التوالي بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل وحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، بصبيب نوعي تجاوز 15 لتر/ث/كلم^2 بحوضي الدراسة. في المقابل سجلت سنتي 1984 و1983 عجزا مائيا كبيرا بلغ 2,2 لتر/ث/كلم^2. وبالتالي فدراسة السنوات الحدية أظهر بشكل جلي التغيرات المهمة للصبيب في علاقتها بالتغايرية المناخية وتوالي السنوات الجافة والرطبة.

تمتد فترة الوفرة، على المستوى الشهري، على طول 5 أشهر باستثناء شهر يناير بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل، الذي يلاحظ خلاله انخفاض طفيف في الصبيب، ويفسر ذلك بعامل الارتفاع حيث درجات الحرارة المنخفضة تساهم في إبقاء التساقطات الثلجية في حالتها الصلبة وهي خاصية النظام الهيدرولوجي الثلجي المطري.

نظرا للعوامل المناخية والركيزة الجيولوجية لحوض الدراسة، فإن الفترة الصيفية تشكل الظروف المواتية لتردد صبيب الشح الذي هو موضوع الدراسة، ويمكن أن يزداد حدته مع التأثير البشري، والمتمثل في استغلال مياه المجرى المائي في الأنشطة الفلاحية من خلال جلبها عبر شبكة السواقي المشيدة على ضفاف الواد وروافده.

خـــــاتمة القسم الثاني

يلعب السياق المناخي دورا مهما في فهم الاشتغال الهيدرولوجي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). وقد تطلبت الدراسة الهيدرومناخية عملية تحضير أولية للمعطيات الخام لقاعدة البيانات، والتي واكتبتها مرحلة نقد ومجانسة المعطيات ثم ملء الفراغات التي شابت العينة المدروسة. وبعد انتقاء محطات الدراسة، التي تبين تمثيلها لخصوصيات الحوض بالاعتماد على مؤشرات وشروط للاختيار، عملنا على دراسة هيدرومناخية، باعتبار المناخ يتدخل ويؤثر بشكل مباشر وغير مباشر في الجريان السطحي:

الدراسة المناخية: أبرزت دراسة التساقطات المطرية بالحوض، خلال 39 سنة، عن تغايرية قوية من سنة لأخرى واختلاف مجالي بين عالية الحوض وسافلته، وقد بلغ معدل السلسلة الإحصائية 458 ملم بمحطة أيت تمليل 514 ملم بمحطة تمسماط. حيث أظهر التشخيص، بالاعتماد على المؤشر القياسي للتساقطات المطرية SPI، أن المدة المدروسة تميزت بفترات عرفت جفافا مناخيا مفرطا، سجل خلالها المؤشر أقل من 2- حسب تصنيف McKee (et al, 1993). وقد بينت دراسة النظام المطري على المستوى الشهري عن أهمية التساقطات المطرية خلال الفترة الممتدة بين شهر نونبر وأبريل. فيما عرفت كميات التبخر-النتح المحتمل، خلال المدة المدروسة (1986 - 2016)، تباينا زمنيا مع نزعة نحو الارتفاع خلال العشر سنوات الأخيرة، حيث سجلت معدلات مهمة فاقت المعدل السنوي للسلسلة الإحصائية. وكشفت الميزانية المائية أن الحوض يتميز بوفرة مائية ممتدة على طول خمسة أشهر من السنة، هي المسؤولة عن تزويد الحوض بالموارد المائية السطحية منها والجوفية على الخصوص، باعتبار الخصوصية الصخارية ذات النفاذية المهمة للحوض.

الدراسة الهيدرولوجية: تختلف المردودية من حيث الموارد المائية بين عالية الحوض وسافلته، حيث بلغت الصفيحة المائية بحوض تساوت عالية سد مولاي يوسف 215 ملم (42% من الواردات المطرية)، وبلغت بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل 240 ملم (52% من الواردات المطرية)، مما يبين أهمية الموارد المائية بعالية الحوض. فيما أظهر نظام الجريان أن فترة صعود الصبيب (Hautes Eaux) تمتد على طول خمسة أشهر (من شهر يناير إلى غاية شهر ماي)، وهذه النتيجة تتطابق مع نتائج الميزانية المائية.

تبقى العلاقة بين التساقطات المطرية والصبيب معقدة جدا، باعتبار تداخل العوامل الطبيعية والبشرية التي توثر بشكل مباشر وغير مباشر في الجريان السطحي. كما أن جزء مهم من التساقطات المطرية يتجه نحو الفرشة المائية ليشكل مدخرا لتزويد المجاري المائية خلال الفترات الجافة من السنة. هذا بالإضافة إلى الموارد المائية المحولة عبر الأحواض الهيدروجيولوجية المجاورة، خصوصا وأننا بصدد دراسة حوض نهري ينتمي إلى الأطلس الكبير الأوسط المتميز بالتكوينات الكلسية المنكسرة التي تتسم بقوة النفاذية.

القسم الثالث:

التحليل الإحصائي للشح والنضوب المائي وتحديد العتبات بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016)

الفصل السابع:

تحديد واستخلاص صبيب الشح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (2016 - 1978)

الفصل الثامن:

تحديد عتبات ظهور الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

الفصل التاسع:

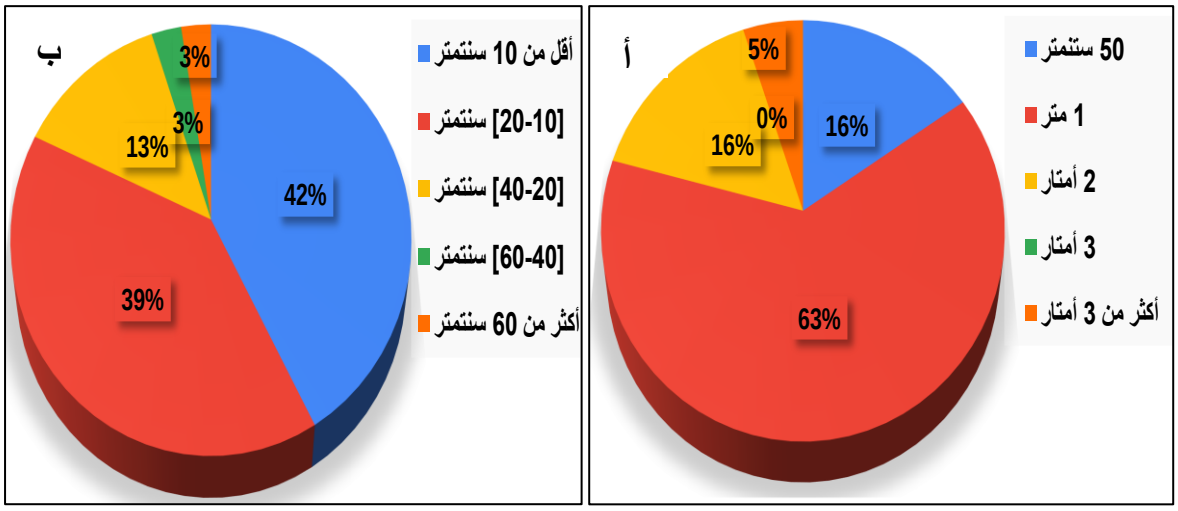
النضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)(1978-2016)

مقدمـــة القسم الثالث

تختلف مستويات الشح المائي عن فترات نزول الصبيب العادية، ويتم تحليلها في سياق أنظمة المجاري المائية الدائمة أو الموسمية، من خلال مدتها وتكرارها. وتعتبر فترات نزول الصبيب «basses eaux» فترات عادية وموسمية ومنتظمة على المستوى السنوي. تشكل فترات الشح المائي، ذات المدة المتغيرة، ولكن الأقصر دائمًا، حدث غير منتظم ذا تردد أقل. وبالتالي، تختلف فترات نزول الصبيب وفترات الشح المائي في القيم الفعالة لصبيب المجرى المائي. حيث يُفرض حد بين الحدتين الهيدرولوجيين صعوبة من تحديده بينهما. وبالتالي، يمكن فهم الشح المائي من خلال قيم إحصائية أو متغيرة مختلفة. يعد الاستخدام المتزامن لعدة طرق للتعبير العددي أمرًا ضروريًا لتحديد الجوانب المختلفة لمستويات صبيب الشح: الشدة، المدة، الأحداث المتطرفة، التطور والتردد. كما تعتبر دراسة خصائص فترات النضوب المائي جزءً لا يتجزأ من أحداث الشح المائي، ومرحلة أساسية في فهم وتيرة تفريغ الطبقات الجوفية.

قبل الخوض في هذه الدراسة سيتم تقديم بعض النتائج التي تم التوصل إليها خلال الاستطلاعات الميدانية التي تم إنجازها، فغالبية المستَجوبين لم يتمكنوا من التعرف على "صبيب الشح"، لذا تم تقريب مفهومه ارتباطا بمستوى ارتفاع مياه المجرى المائي، وعرضه خلال السنة.

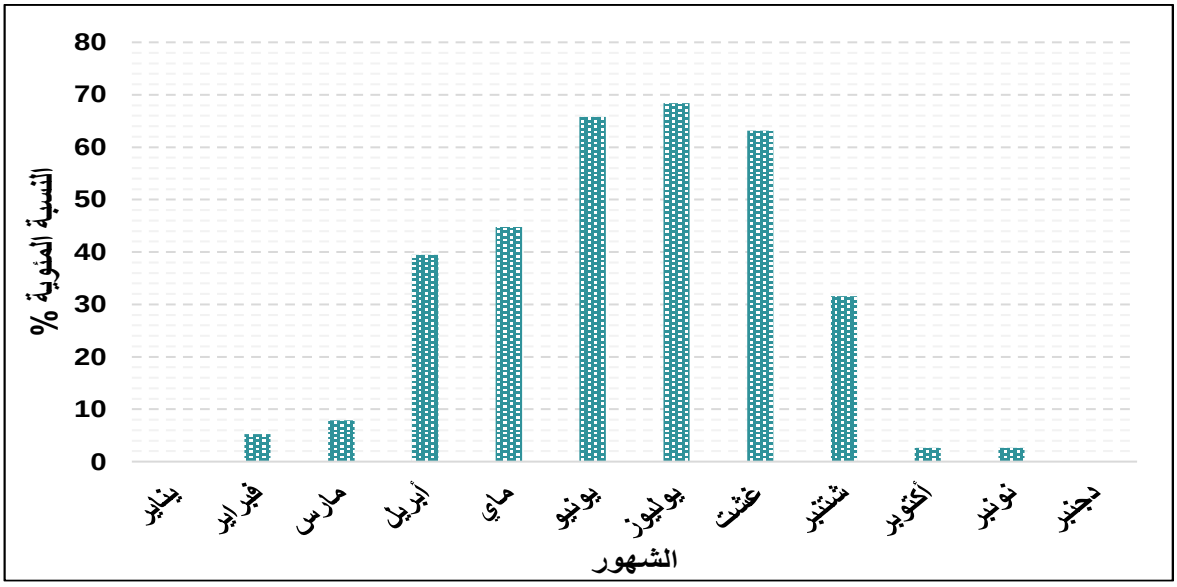
مبيان 76: عرض (أ) وارتفاع (ب) الواد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



وحيث أن أدنى مستويات الواد تتردد خلال فترات نزول الصبيب، فإن 81% من المستجوَبين أكدوا أنه لا يتجاوز ارتفاعه 20 سنتمتراً خلال هذه الفترات. كما أن عرضه لا يتجاوز المتر الواحد حسب تصريح 79% من الساكنة.

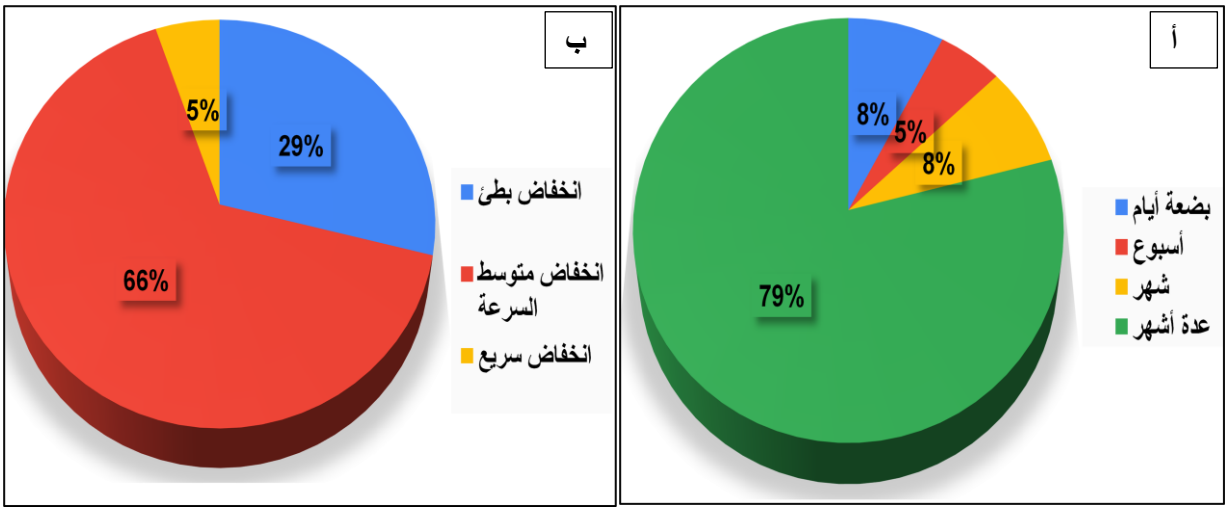
تتردد هذه الوضعية (مبيان 77)، بشكل أكبر، خلال شهور يونيو ويوليوز وغشت (حسب 75% من العينة المستجوبة)، وقد أكد جلهم أن ندرة التساقطات المطرية، خلال هذه الفترة، هي السبب الرئيسي في تراجع مستويات الصبيب، مما يبين وعي الساكنة بشكل كبير بتأثير العوامل المناخية على وفرة أو شح الموارد المائية. وقد فسر بعض المستجوبين هذه الوضعية، بالإضافة إلى تأثير التساقطات المطرية، بارتفاع معدلات الحرارة وجلب المياه من المجرى المائي بشكل مهم، مما يساهم في تفاقم الوضعية. وارتباطا بالظروف المناخية، عبر 79% من العينة المستجوبة أن هذه الوضعية تستمر لعدة أشهر.

مبيان 77: فترات تردد الشح المائي خلال السنة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



وبما أن الشح المائي حدث مرتبط أساسا بالتغذية الجوفية، فقد تم استفسار الساكنة عن وثير تناقص مستويات واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، فكانت إجابة 95% أنها تتم بوثير متوسطة إلى بطيئة السرعة (مبيان 78). ولفهم أكثر هذه الوضعية تم الاستفسار عن عدد العيون والمنابع بالمنطقة وعن أسمائهم، فكانت اجاباتهم تدل عن وفرتها بكثرة، وفي بعض الأحيان يتعذر عنهم تعدادها، حيث أكد بعضهم أنها تفوق 20 منبعا في مناطق معينة، واكتفى آخرون بالإجابة ب"عديدة".

مبيان 78: مدة الشح المائي(أ) ووتيرة تناقص الصبيب (ب) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



تدل تصريحات الساكنة على الانخفاض المهم لمستويات الصبيب طول فترات هذه الوضعية بالحوض المدروس، وفي نفس الوقت على أهمية التغذية الباطنية للمجرى المائي خلال فترات نزول الصبيب. وهو ما سيتم دراسته وتحليله بطريقة إحصائية والتأكد من المعطيات المحصل عليها من الميدان انطلاقا من المعطيات المعالجة باعتماد مؤشرات ومعايير محددة.

على مستوى الدراسة الإحصائية، سيتم اعتماد المتغيرات الهيدرولوجية، كما تمت الإشارة لذلك في الفصل الثالث: معدل الصبيب الشهري الأدنى، معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم متتالية والمؤشرات المستخلصة انطلاقا من منحنى الصبيب اليومي المصنف، والتي تجعل من الممكن تحديد شدة الحدث وإجراء مقارنات بين المجاري المائية في نفس المجال المناخي المائي.

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد الطرق الإحصائية التي تسمح باستخلاص وتحليل فترات الشح المائي والعمل على مقارنة النتائج المستخلصة، وذلك من أجل استخلاص العتبات التي تعبر عن مستويات صبيب الشح (المدة والحجم والشدة) حسب الخصوصيات المناخية التي تطبع مجال الدراسة.

الفصل السابع: يُخصص لتمييز واستخلاص صبيب الشح باعتماد مؤشرات حسب مستويات زمنية مختلفة. سيتم استخدام المتغيرات الأكثر صلة كمعايير مرجعية يتم من خلالها إجراء تحليل تلك الخصائص.

الفصل الثامن: خلاله سيتم مقارنة مؤشرات صبيب الشح المستخلصة عن طريق المتغيرات المدروسة. والغاية من هذه المقارنة هو تحديد عتبة ظهور فترات الشح المائي الملائمة للخصوصيات المناخية والهيدرولوجية للحوض المدروس.

الفصل التاسع: استخلاص وتحليل خصائص النضوب المائي باعتماد قوانين أساسية وتبرير استخدامها. وذلك بهدف تحديد التغيرات الزمنية والمجالية لمعاملات النضوب المائي واستنتاج معامل وحيد يدل على خصوصية تفريغ الفرشة المائية ومدى مساهمته في تغذية الجريان السطحي للحوض خلال فترات الشح المائي.

إن تحديد خصائص ومستويات صبيب الشح يمكن أن يساعد بشكل كبير في تدبير الأزمات المرتبطة بندرة الموارد المائية، والتي تمكن، من طبيعة الحال، من إجراء التدابير التنظيمية، من خلال تحديد الأولويات في استخدام الماء والحفاظ على البيئة المائية. إن هذه الإجراءات التنظيمية، التي تستند على دراسات علمية، لم نجد لها نصا قانونيا واضحا في إطار التنظيمات والقوانين المتعلقة بالماء على الصعيد الوطني. وهو ما نسعى إليه من خلال هذه الدراسة.

الفصل السابع: تحديد واستخلاص صبيب الشح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978 - 2016)

مقــدمة الفصل السابع

خلال هذا الفصل سيتم تحديد واستخلاص صبيب الشح الهيدرولوجي على أساس المؤشرات المستخلصة من معطيات الصبيب، وذلك باعتماد ثلاث طرق: إما تطبيق فرز على سلسلة الصبيب اليومي ثم حساب معدلها المتحرك على مدى أيام محددة، أو الاشتغال على معدلات الصبيب الشهري الأدنى، أو من خلال استخراج مؤشرات من منحنى الصبيب اليومي المصنف.

وسنعمل على تقديم مختلف المتغيرات التي تصف خصائص صبيب الشح، بتطبيق إجراءات المعلوميات التي تسمح باستخلاص هذه المؤشرات من سجلات الصبيب اليومي واختبارها على حوضي الدراسة، من خلال إجراء معالجة إحصائية سيتم تطبيقها على المؤشرات، بغرض إنتاج أدوات بيانية لتسهيل تفسير النتائج.

وسنمر خلال هذا الفصل على أربعة محاور أساسية هي كالتالي:

المحور 13: استخلاص معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA)، وإجراء معالجة إحصائية باعتماد مجموعة من الأدوات الإحصائية (طريقة CUSUM، تردد الظهور، التعديل الإحصائي...)

المحور 14: استخلاص تحليل معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم (VCN_d)، حيث أن اعتماد تقويم زمني على المستوى اليومي يأتي لتدقيق الدراسة حول الشح المائي. وسنلجأ أيضا إلى عدة أدوات إحصائية في التحليل. ثم مقارنة تغيرات معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم متتالية (VCN_d).

المحور 15: استخلاص وتحليل مؤشرات صبيب الشح الناتجة عن منحنى الصبيب اليومي المصنف، الذي يعكس احتمالية بلوغ الصبيب لعتبة معينة أو تجاوزها، ثم مقارنة النتائج بالنسبة للمؤشرات المستخلصة بالنسبة للطرق الثلاثة.

المحور 16: تعتبر هذه المؤشرات الثلاث التي سيتم دراستها الأكثر اعتمادا في تحديد خصائص صبيب الشح، لذا سيتم تسليط الضوء عليها من خلال مقارنة بعضها ببعض باعتماد أدوات إحصائية (معامل الترابط، اختبار التباين...).

وبالتالي، فإن الهدف من هذا الفصل هو تحديد المؤشرات التي تبدو مناسبة لخصائص صبيب الشح على النحو المحدد في التعريفات المقدمة، حيث يجب مراعاة في اختيارها الجوانب المشار إليها في التعريفات المذكورة في الفصل الثالث.

ويرافق اختيار هذه المؤشرات الهيدرولوجية انعكاسًا على متغيرات التساقطات المطرية المرتبطة بالشح المائي، إذ يبقى الغرض من ذلك هو اختيار المتغيرات السائدة للشح المائي وربطها بالمعطيات المسجلة قبل هذه الفترات، ونخص بالذكر فترات إعادة ملء الخزانات الجوفية.

المحور 13: تحديد واستخلاص صبيب الشح باعتماد معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016)

يعتبر اختيار المعايير المعتمدة لدراسة خصائص صبيب الشح متنوعة جدا، إذ ترتكز على خصائص الحوض النهري بشكل أساسي، وتقدير الباحث، وكذلك الأهداف المرجوة من الدراسة.

ولتحديد خصائص صبيب الشح على المستوى الشهري نميز المتغيرات المستخرجة من خلال معيار التقويم الزمني الثابت، وعلى رأسها معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA).

I. تعريف ومنهجية العمل

1. تعريف معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA)

قبل الشروع في الدراسة لابد من تذكير بتعريف معدل الصبيب الشهري الأدنى المستخرجة على أساس التقويم الزمني الثابت، حيث يمثل هذا المعدل قيمة الصبيب الشهري المنخفض الذي بلغها المجرى المائي في سنة معينة. وقد تم تأليف الاختصار QMNA من التعبير débit (**Q**uantité) (Q) **M**ensuel (M) mi**N**imal (N) **A**nnuel de fréquence sèche (A)، حيث يتم حساب التردد انطلاقا من فترات مختلفة (سنتين، 5 سنوات...). ويسمح هذا المتغير إحصائيًا بتقدير أصغر صبيب لمجرى مائي خلال فترة معينة.

إن أكثر الترددات شيوعا لمعدل الصبيب الشهري الأدنى هو 5 سنوات ($QMNA_5$) (احتمال 1/5 أن لا يتم تجاوزه في سنة معينة)، وهو ما يتوافق مع صبيب ذي احتمال عدم الظهور أكثر من مرة واحدة في 5 سنوات.

ويشكل معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/5 قيمة رسمية تم تحديدها بموجب قانون الماء 3 يناير 1992 بفرنسا لحساب قدرة التفريغ وكمية جلب المياه من المجاري المائية، وهو صبيب إحصائي يعطي معلومات عن شدة الشح المائي.

وقد تم اختيار معدل الصبيب الشهري الأدنى في الأصل لمناسبته، ولأنه سهل الاستخراج من قواعد البيانات الهيدرولوجية، غير أنه مع التطور المعلوماتي الذي ساهم في تخزين عدد هائل من المعطيات المعلوماتية، أصبح من السهل استخراج قيم ومتغيرات أخرى. ورغم أن معدل الصبيب الشهري الأدنى قيمة سهلة في الاستخلاص، فإنه يظل أقل تمثيلا للشح المائي، كونها تخضع لتقويم زمني محدد، ولأنه يمكن ملاحظته خلال فترة متداخلة بين شهرين متتاليين، مما يؤدي إلى المبالغة في تقدير حجم الصبيب من خلال معدل الصبيب الشهري الأدنى. ومن جهة أخرى أثبتت الدراسات السابقة أنه من المناسب الاعتماد على خطوة زمنية أقل لإعطاء وصف دقيق للشح المائي في الأنهار المدروسة، والحد كذلك من تأثير التساقطات المطرية (Lang. 2007).

2. الإطار المنهجي لدراسة معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA)

سيتم الاعتماد في دراسة معدل الصبيب الشهري الأدنى على المعطيات الهيدرومترية، المحصل عليها من طرف وكالة الحوض المائي لأم الربيع، والمتعلقة بمعطيات الصبيب على المستوى الشهري لمحطتي أيت تمليل وتمسماط، حيث لاتتجاوز السلسلة الإحصائية لمحطة تمسماط 8 % والتي تم ملؤها بالاعتماد على النمذجة الهيدرولوجية باعتماد الأنموذج GR2M.

وسنستند في تحليل ومعالجة معدل الصبيب الشهري الأدنى على مجموعة من العمليات الإحصائية، والتي نلخصها من خلال الخطوات التالية:

- استخلاص معدل الصبيب الشهري الأدنى ودراسة التغيرات على المستوى السنوي، مع إبراز السنوات المرجعية (الجافة والرطبة) التي تم تحديدها في الدراسة الهيدرولوجية؛
- دراسة النزعات الجافة والرطبة باعتماد طريقة CUSUM وذلك بهدف رصد التباين الداخلي للمعطيات ومدى تجانسها؛

- إبراز تردد ظهور معدلات الصبيب الشهري الأدنى حسب شهور السنة بعالية الحوض وسافلته، والذي من شأنه تميز الأحداث والظواهر الهيدرولوجية بالحوض؛
- تعديل معدلات الصبيب الشهري الأدنى بهدف تحديد ترددات الفترات الجافة، التي من خلالها يتم حساب مؤشرات صبيب الشح.

تعتبر دراسة الشح المائي على المستوى الشهري مدخلا أساسيا لفهم الاشتغال الهيدرولوجي للحوض في فترات نزول الصبيب، وبالتالي محاولة توصيف شدة الشح المائي من أجل تحديد الأحداث الهيدرولوجية الاستثنائية.

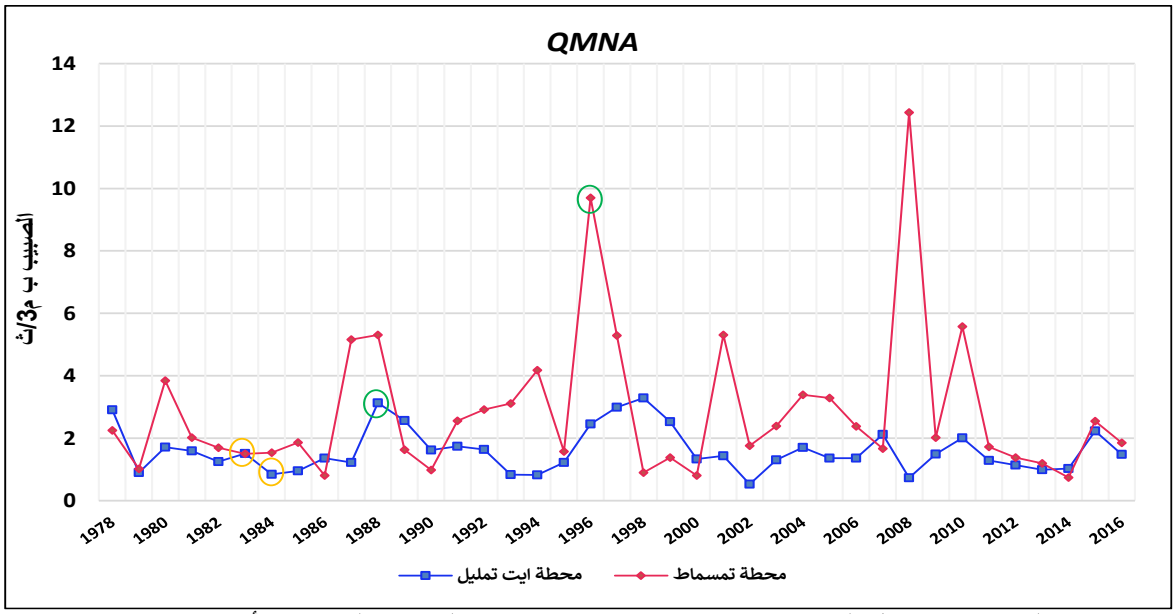
II. نتائج استخلاص وتحليل معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA)

كما سبقت الإشارة، فإن معدل الصبيب الشهري الأدنى، يتم حسابه انطلاقا من قيم الصبيب الشهري. وانطلاقا من معدل الصبيب الشهري الأدنى التي سيتم استخلاصها في كل سنة، سنعمل على إجراء معالجة إحصائية لرصد التغيرات البيسنوية واستخراج مؤشرات الصبيب بحوضي الدراسة.

1. تغيرات وتوزيع معدلات الصبيب الشهري الأدنى: QMNA

تم استخراج معدل الصبيب الأدنى (QMNA) انطلاقا من السلسلة الإحصائية (1978 - 2016) لمحطتي أيت تمليل وتمسماط.

مبيان 79: تغايرية معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) بمحطتي تمسماط وأيت تمليل (1978 - 2016).



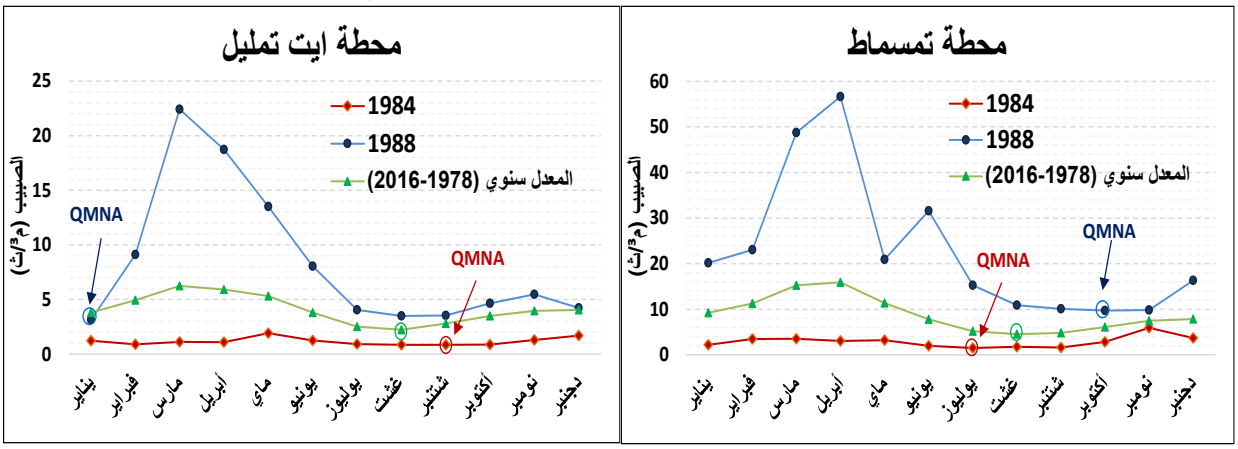
توضح النتائج، من خلال المبيان 79، تغايرية قوية في معدلات الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) وخاصة بمحطة تمسماط خلال الفترة المدروسة، حيث سجلت هذه المعدلات، في بعض السنوات، قيما فاقت المعدل البيسنوى للسلسلة الإحصائية، ويتعلق الأمر بسنتي (1996) و (2008).

وقد سجل المعدل السنوي بنفس المحطة 2,9 م^3/ث خلال الفترة (1978 - 2016)، بانحراف معياري بلغ 1,67 م^3/ث ، حيث سُجلت تغايرية أقل حدة بمحطة أيت تمليل، وهذا ما يوضحه الانحراف المعياري الذي بلغ 0,6 م^3/ث، فيما وصل المعدل السنوي خلال نفس الفترة إلى 1,6 م^3/ث.

ويمكن ربط هذا الاختلاف في تغايرية الصبيب الشهري الأدنى بين محطتي الدراسة باختلاف التشكيلات الصخارية داخل حوض الدراسة، إذ تتميز العالية بتكوينات كلسية منكسرة ذات النفاذية المهمة، تساهم في التخفيف من عدوانية السلوك الهيدرولوجي.

وقد تبين من خلال دراسة تغايرية الصبيب على المستوى السنوي، وتحليل معطيات النتائج باعتماد بعض المؤشرات الإحصائية أن سنتي 1983 و1984 عرفتا عجزا هيدرولوجيا كبيرا على التوالي بحوض تساوت (عالية سد م يوسف و الحوض الفرعي لواد أيت تمليل)، كما تم تسجيل صبيب مهم سنتي 1996 و1988 على التوالي بحوضي الدراسة.

مبيان 80: مقارنة معدلات الصبيب الشهري الأدنى للسنوات المرجعية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط



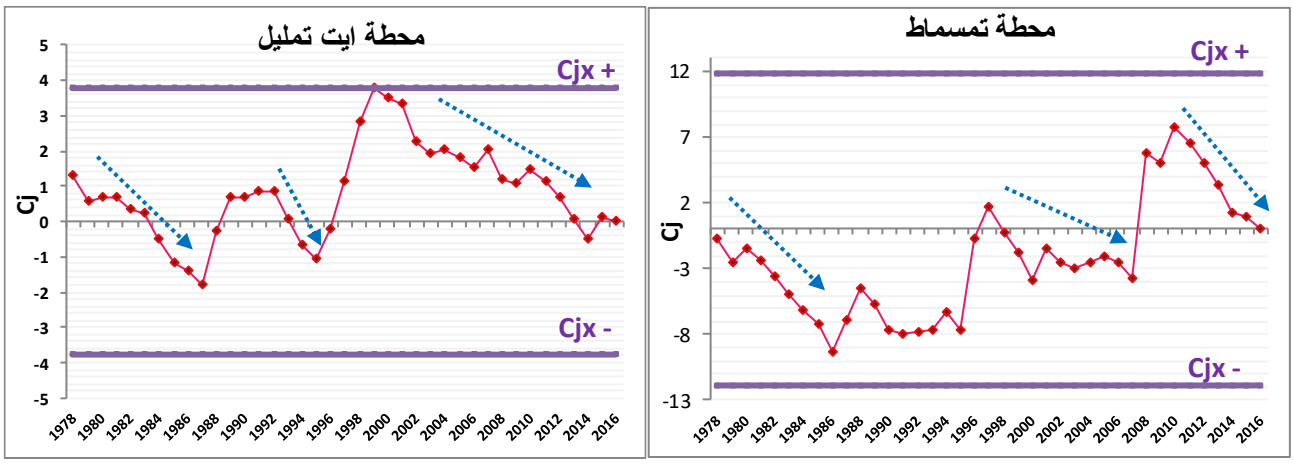
عرف معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA)، خلال السنوات المرجعية الرطبة، قيما مرتفعة بلغت 3,1 م³/ث و 9,7 م³/ث على التوالي بمحطتي أيت تمليل (1988) وتمسماط (1996)، إلا أنها ليست القيم الأعلى للصبيب الشهري الأدنى بالسلسلة الإحصائية. أما بالنسبة للسنوات المرجعية الجافة، فقد سجلت معدلات الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) قيما ضعيفة 1,5 م³/ث و0,8 م³/ث على التوالي بمحطتي تمسماط (1983) وأيت تمليل (1984)، وهما كذلك ليستا القيم الدنيا للصبيب الشهري الأدنى بالسلسلة المدروسة.

2. تحليل معدل الصبيب الشهري الأدنى باعتماد طريقة CUSUM

تمكننا طريقة CUSUM (François, Gille et Zumstein 1993) من الكشف عن التباين الداخلي ومدى تجانس المعطيات داخل السلسلة الإحصائية المدروسة، اعتمادا على تحديد هامش الثقة (Cjx). وبذلك تمكننا من تسليط الضوء على طفرات المعدل واقتراح التقسيم إلى سلاسل جافة ورطب (أنظر الفصل الرابع).

نجد تمايزا واضحا في منحنى CUSUM بين محطتي الدراسة، لذا من الضروري التمييز بين الاختلافات ذات الصلة بالعامل المناخي وتلك المرتبطة بالعوامل البشرية.

مبيان 81: الصبيب شهري الأدنى (QMNA) باعتماد طريقة CUSUM



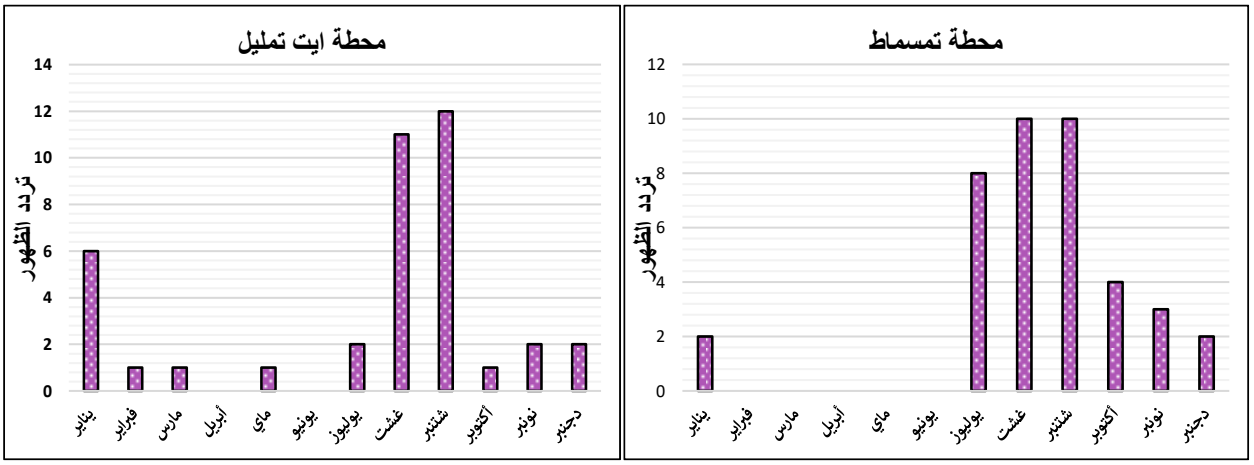
ويظهر من خلال المبيان 81 أن الفترة الممتدة بين (1978 – 1986) عرفت جفافا مفرطا، وهذا ما تمت ملاحظته خلال الدراسة المناخية، حيث يتضح أن هناك تفاوتا بارزا في باقي فترات السلسلة الإحصائية، فمثلا محطة

أيت تمليل سجل منحنى CUSUM جفافا خلال الفترة الممتدة بين (2000- 2016) رغم أن الفترة الممتدة بين 2008 و2011 تميزت بتساقطات مطرية مهمة، وبالتالي يمكن تفسير هذا الاختلاف في النتائج بين بمحطتي الدراسة إلى العامل البشري، من خلال تحويل المياه إلى المجالات الفلاحية، والتي تزداد حدة خلال الفترات الجافة من السنة.

3. تردد ظهور الصبيب الشهري الأدنى QMNA

يختلف النظام الهيدرولوجي من حوض لآخر، وبالتالي فإن تردد ظهور الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) يختلف حسب الفصول وحسب الخصائص المناخية والطبيعية للحوض، وهذا ما سيتم توضيحه من خلال المبيان 82 .

مبيان 82: تردد ظهور الصبيب الشهري الأدنى QMNA



الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: يتميز بنظام هيدرولوجي معقد يتمثل في ظهور منوالين (أنظر الفصل السادس)، حيث تمتد فترة نزول الصبيب مدة سبعة أشهر، من شهر يونيو إلى نونبر، بالإضافة إلى شهر يناير. وبالتالي نميز بين حاليتين لتردد معدلات الصبيب الشهري الأدنى (QMNA): الحالة الأولى ظهور معدلات الصبيب الشهري الأدنى خلال فترات نزول الصبيب، وهي حالة طبيعية، والأكثر ترددا بالحوض الفرعي، فيما توافق الحالة الثانية تردد ظهور معدلات الصبيب الشهري الأدنى خلال الفترات المعروفة بصعود الصبيب (من شهر فبراير إلى شهر ماي بالإضافة إلى دجنبر)، حيث يصبح نزول مستويات الصبيب في هذه الحالة ظاهرة، وهي الأقل ترددا بالحوض الفرعي المدروس.

حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): يتركز ظهور معدلات الصبيب الشهري الأدنى أساسا من شهر يوليوز إلى شهر دجنبر، وهو حدث طبيعي يتزامن مع فترة نزول الصبيب، غير أن ظهورها خلال فترات صعود الصبيب أقل ترددا، وقد اقتصرت فقط على شهر يناير بترددين.

إن ظهور الشح المائي بشكل عام في فترات الصيف والخريف أو حتى فصل الشتاء قد يعود إلى عوامل مسؤولة عن نشأته خلال المواسم السابقة، وهذا ما يفسر صعوبة تحديد عوامل ظهوره وشدته.

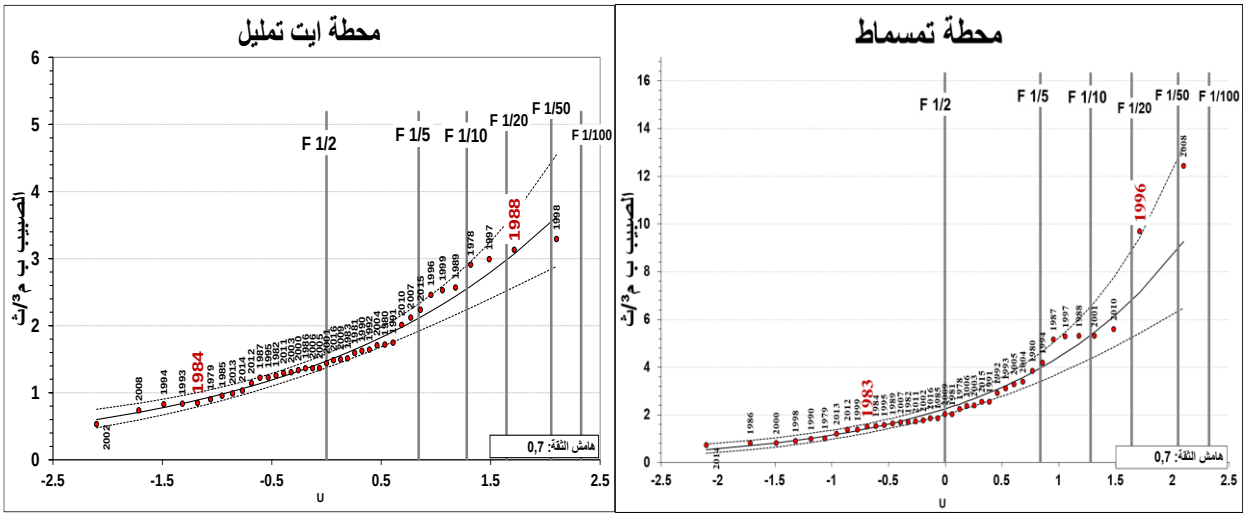
4. تحليل تردد الصبيب الشهري الأدنى (QMNA)

إن المعالجة الإحصائية لسلسلة تتشكل من عدة سنوات من القياسات تجعل من الممكن حساب تردد الشح المائي، حيث يتم تعديل معدلات الصبيب الشهري الأدنى (QMNA)، المفرزة بمحطتي أيت تمليل وتمسماط خلال السلسلة الإحصائية (1978 - 2016)، حسب قانون Ln-Normale (Garcia, 2016) ; (Vogel et Kroll, 1991).

بشكل عام، تكون فترات الرجوع الأكثر أهمية قصيرة المدة في حالة الشح المائي، حيث أن جل الدراسات التي اطلعنا عليها لم تكن لمؤشراته التي تمت دراستها فترة عودة تزيد عن 10 سنوات (Gailliez, 2013). ففي الكيبيك تم الاعتماد على $\mathbf{Q_{30.5}}$ في دراسة الشح المائي الذي يوفق معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما بفترة

رجوع 5 سنوات (Hamza, 1999). فيما تم في فرنسا الاعتماد على **$VCN_{(1,2)}$** من طرف IRSTEA الذي يوافق الصبيب اليومي الأدنى لفترة الرجوع سنتين (Galéa et *al*, 1999).

مبيان 83: تعديل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) بمحطتي تمسماط وأيت تمليل(1978 - 2016).



يُظهر تعديل معدلات الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) توزيعا جيدا حول المنحنى (مبيان 83)، خصوصا فيما يتعلق بالقيم الدنيا التي سجلت ترددا أقل من 1/5، فيما عرفت القيم التي فاقت التردد 1/5 تباعدا بالنسبة لكلتي محطتي الدراسة. ويتعلق الأمر ببعض السنوات الرطبة التي تميزت بصبيب مهم (1996، 2010...). أما بالنسبة للسنوات التي سجلت أدنى معدلات الصبيب الشهري الأدنى بالنسبة لمحطة تمسماط فيتعلق الأمر بـ 2014 و1986 و2000، أما بالنسبة للسنة المرجعية الجافة 1984 التي عرفت جفافا هيدرولوجيا مفرطا فقد سجل معدل ذات تردد 1/5.

وبالنسبة لمحطة أيت تمليل، فقد سُجل أدنى المعدلات خلال سنة 2002 و2008 و1994، في حين سجلت السنة المرجعية الجافة معدلا ذا تردد 1/10، حيث يُعزى هذا الاختلاف بين محطتي الدراسة، رغم وجودهما على نفس المجرى الرئيسي، إلى تباين الخصائص الطبيعية والصخارية على الخصوص، بالإضافة إلى التأثير البشري (El Ghachi, 2008).

ويظهر معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) بالنسبة لمحطتي الدراسة على التردد 1/2 (جدول 42)، حيث سجل الصبيب النوعي بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل 2,83 ل/ث/كلم^2، أما حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) فسجلت 1,76 ل/ث/كلم^2، مما يوضح حدة الشح المائي المسجلة بسافلة الحوض مقارنة مع العالية.

جدول 42: تردد فترات رجوع معدل الصبيب الشهري الأدنى بمحطتي أيت تمليل وتمسماط.(1978 - 2016)

التردد		1/2	1/5	1/10
		QMNA (2)	QMNA (5)	QMNA (10)
محطة أيت تمليل	(م^3/ث)	1,50	1,03	0,85
	ل/ث/كلم^2	2,83	1,94	1,60
محطة تمسماط	(م^3/ث)	2,30	1,30	0,96
	ل/ث/كلم^2	1,76	0,99	0,73

على العموم، فإن السلسلة الإحصائية التي نحن بصدد دراستها والتي تمتد على طول 39 سنة، تتضمن قيم متفاوتة لمعدل الصبيب الشهري الأدنى. وما يمكن استنتاجه أن القيم التي تمثل التردد ½ هي التي تشكل معدل الصبيب الشهري الأدنى الأكثر ظهورا بالحوض.

كما يمكن القول إن عالية الحوض (الحوض الفرعي لواد أيت تمليل) أكثر إنتاجية من السافلة، وهذا ما تبينه القيم المهمة للصبيب النوعي بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، الذي يتميز بركيزة صخرية قوية النفاذية تساهم، من خلال المياه الجوفية، في تغذية المجرى المائي على طول السنة.

خلاصــة

من خلال مؤشرات صبيب الشح، التي تم استخراجها انطلاقا من الدراسة الإحصائية حسب قانون Ln-Normale، يتبين أن الصبيب النوعي للترددات الجافة، كيفما كانت فترات الرجوع، ضعيفة بحوض تساوت (عالية حوض م يوسف) عند محطة تمسماط مقارنة بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل محطة أيت تمليل (عالية الحوض). كما أنه سجل نسبة أقل من عدد أيام الشح المائي.

ويمكن تفسير ذلك بتظافر العوامل الطبيعية البشرية، حيث أن عالية الحوض غنية بالمنابع والعيون التي تغذي المجرى المائي، بالإضافة إلى قلة التأثير البشري على الموارد المائية نظرا لوعورة التضاريس وقلة الكثافة السكانية.

المحور 14: تحديد واستخلاص صبيب الشح باعتماد معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016)

بالإضافة إلى تحديد خصائص صبيب الشح على المستوى الشهري، يمكن اعتماد تقويم زمني يومي لتدقيق دراستنا حول هذا الحدث الهيدرولوجي، لذا سيتم اعتماد معدل الصبيب الأدنى على مدى d يوم متتالية لتحديد خصائص وشدة الشح المائي بحوضي الدراسة.

I. تعريف ومنهجية العمل.

1. تعريف معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d).

كما سبقت الإشارة في الفصل الثالث، فإن معدل الصبيب الأدنى على مدى فترة d يشكل أحد المحددات الأكثر اعتمادا لتحديد خصائص صبيب الشح. ويرمز إليه في فرنسا ب VCN_d (Volume Consécutif Minimal pour d jours) عندما يتعلق الأمر بالمعدل المتحرك للصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم متتالية. وتأخذ عادة المدة d، في الدراسات، القيم 1، 7، 10 أو 30 يوم. ومع ذلك، يمكن في بعض الأحيان استخدام فترات أطول لوصف مدة فترة نزول الصبيب على المدى الطويل (d=90 إلى غاية d=284 يوم (McMahon et Meine, 1986) (Midgley et al, 1994).ويجب أن تكون المدة الأنسب لحساب VCN_d مرتبطة بالتعريف المنسوب إلى الشح المائي، ولكن أيضاً إلى طابع التأثير البشري، بشكل أو بآخر، على المجرى المائي(Lang, 2007) .

في إطار الأبحاث المختلفة، يتم تشكيل سلاسل الحد السنوي الأدنى لمعدلات الصبيب اليومي على شكل معدلات سنوية يطلق عليها اختصارا MAM_d (Mean Annuel d-day Minimum flow) (Shreiber et Demuth, 1997). وغالبا ما يتم دمج هذه السلاسل المستخرجة في إجراء تحليل التردد بهدف تقدير فترات الرجوع اعتمادا على قوانين إحصائية معدلة. ولازال تحديد قانون التوزيع النظري، المناسب لوصف تردد صبيب الشح وطريقة تعديله، موضوع نقاش عدد من الأبحاث، والتي أوضحت من خلال استنتاجاتها المختلفة صعوبة تحديد هذه القوانين بطريقة موحدة وشاملة.

ويشير (Gustard et al, 1989) إلى أن اختيار توزيع مناسب ذو أهمية محدودة نسبيا، نظرا لأن فترات الرجوع المحصل عليها في الحالات المثلى تكون منخفضة نسبيا (أقل من 50 سنة) بالمقارنة بطول السلسلة المتاحة.

2. الإطار المنهجي لدراسة معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d)

سنعتمد في دراسة معدل الصبيب الأدنى على مدى فترة d (VCN_d) على معطيات الصبيب اليومي لمحطتي الدراسة أيت تمليل وتمسماط، خلال الفترة الزمنية (1978-2016)، كما سنعتمد في دراسة هذا المتغير على مجموعة من العمليات الإحصائية، والتي نلخصها من خلال الخطوات التالية:

- استخلاص معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى فترة d (VCN_d) ودراسة التغيرات على المستوى السنوي، مع إبراز السنوات المرجعية (الجافة والرطبة) التي تم تحديدها في الدراسة الهيدرولوجية؛
- تعديل معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم بهدف تحديد ترددات الفترات الجافة، التي من خلالها يتم حساب مؤشرات صبيب الشح.
- مقارنة تغيرات معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) ومعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما (VCN_{30})، لكونهما يتميزان بنفس المدة الزمنية.

وتعتبر دراسة الشح المائي على المستوى اليومي خطوة مكملة للدراسة الشهري، والتي يمكن أن تمنح تفسيرات عن التساؤلات المطروحة فيما يتعلق بشدته، خصوصا ونحن بصدد دراسة حوض نهري جبلي، ينتمي إلى المجال شبه الجاف والمتميز بتساقطات مطرية غير منتظمة تغيب لفترات طويلة خصوصا خلال السنوات الجافة.

II. نتائج استخلاص وتحليل معدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d)

يتم استخلاص معدل الصبيب الشهري الأدنى، انطلاقا من قيم الصبيب اليومي من خلال حساب المعدل المتحرك للصبيب على مدة d يوم تتراوح بين يوم واحد و90 يوما.

ومن خلال هذه المتغيرات المستخرجة خلال كل سنة سيتم إجراء دراسة إحصائية من أجل استنتاج مؤشرات صبيب الشح وخصوصياتها بالحوض المدروس وتميزها عن فترات نزل الصبيب.

1. استخلاص معدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d)

يعتبر معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم (VCN_d) أكثر دقة، لأن قيم الصبيب يتم استخلاصها سنويا في علاقتها بمدة زمنية يتم تحديدها. ويتم حسابi عن طريق المعدل المتحرك لمعدل الصبيب اليومي على مدى d من الأيام المتتالية، وهو معدل الصبيب الأدنى حسب المدة المحددة.

يبين الجدول 43 نتائج استخلاص معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم (VCN_d) تقارب في القيم المستخلصة بين المعدلات خصوصا فيما يتعلق ب معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 1 و 3 و 5 و10 و 15 و 20 و 30 يوم، وهذا يوضح يبين شبه استقرار الصبيب خلال هذه المدد، الشيء الذي يعكس نضوب الصبيب بشكل بطئ، ويمكن ربط ذلك بخصوصيات الجريان.

أما على المستوى البيسنوي فهناك تباين بين القيم من سنة لأخرى، حيث سجلت بعض السنوات صبيب شح منخفض جدا كسنة 2002 و2014 بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) عند محطة تمسماط.

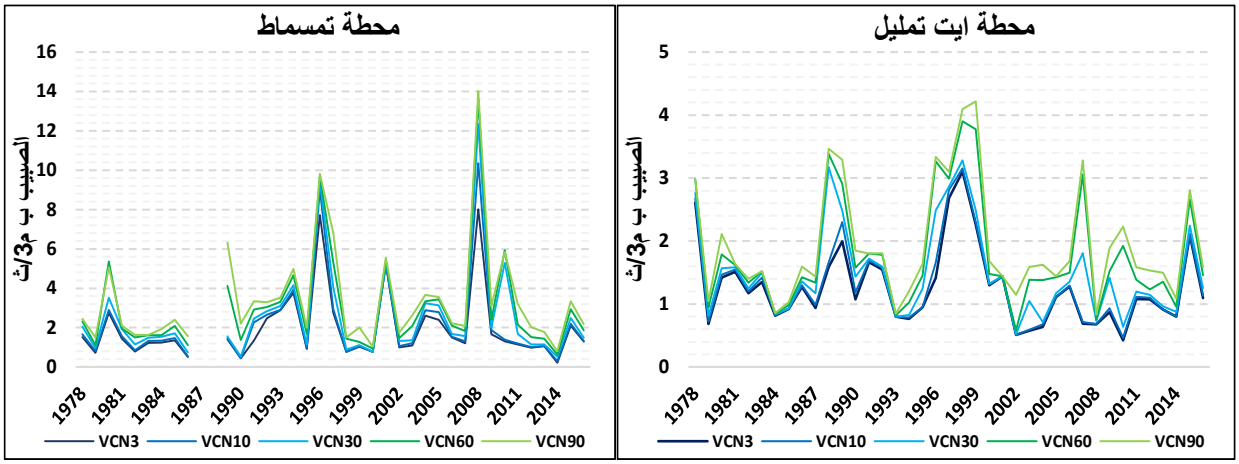
جدول 43: معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCNd) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط(2016 - 1978)

محطة أيت تمليل									محطة تمسماط									
VCN 90	VCN 60	VCN 30	VCN 20	VCN 15	VCN 10	VCN 5	VCN 3	VCN 1	VCN 90	VCN 60	VCN 30	VCN 20	VCN 15	VCN 10	VCN 5	VCN 3	VCN 1	التاريخ
2,98	2,98	2,76	2,70	2,69	2,68	2,64	2,61	2,59	2,45	2,32	2,06	1,93	1,80	1,66	1,55	1,52	1,46	1978
1,04	0,95	0,81	0,77	0,75	0,73	0,70	0,68	0,68	1,51	1,11	0,97	0,89	0,86	0,82	0,74	0,73	0,73	1979
2,11	1,79	1,57	1,52	1,50	1,47	1,44	1,42	1,42	5,07	5,36	3,52	3,13	3,01	2,90	2,81	2,76	2,74	1980
1,63	1,62	1,58	1,56	1,56	1,55	1,52	1,51	1,50	2,11	1,96	1,93	1,73	1,64	1,58	1,44	1,44	1,44	1981
1,40	1,34	1,25	1,21	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,64	1,50	1,14	1,03	0,98	0,86	0,79	0,79	0,76	1982
1,52	1,52	1,50	1,43	1,42	1,42	1,37	1,35	1,35	1,63	1,62	1,49	1,39	1,37	1,33	1,23	1,22	1,19	1983
0,86	0,85	0,83	0,83	0,83	0,83	0,82	0,82	0,81	1,92	1,62	1,54	1,48	1,43	1,35	1,25	1,24	1,24	1984
1,03	0,99	0,93	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,90	2,40	2,09	1,72	1,60	1,53	1,47	1,40	1,36	1,26	1985
1,59	1,43	1,36	1,32	1,31	1,30	1,28	1,27	1,26	1,57	1,12	0,73	0,60	0,57	0,55	0,53	0,51	0,51	1986
1,44	1,34	1,17	1,05	1,02	0,99	0,96	0,94	0,92										1987
3,46	3,38	3,17	2,30	1,79	1,67	1,61	1,59	1,58										1988
3,29	2,91	2,49	2,36	2,34	2,30	2,11	2,00	1,91	6,31	4,12	1,55	1,49	1,47	1,46	1,44	1,41	1,38	1989
1,85	1,58	1,44	1,34	1,27	1,19	1,10	1,08	1,04	1,74	1,48	1,33	1,16	1,09	1,06	1,06	1,00	0,78	1990
1,80	1,80	1,72	1,71	1,70	1,69	1,68	1,67	1,64	3,33	2,92	2,46	2,45	2,45	2,27	1,69	1,34	1,24	1991
1,81	1,78	1,59	1,59	1,59	1,58	1,55	1,55	1,55	3,30	3,05	2,84	2,71	2,69	2,66	2,58	2,48	2,46	1992
0,84	0,82	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	3,53	3,31	3,10	2,99	2,96	2,91	2,88	2,88	2,88	1993
1,20	1,02	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,77	0,76	4,98	4,66	4,16	4,07	4,00	3,92	3,79	3,76	3,75	1994
1,63	1,45	1,24	1,10	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	1,99	1,69	1,13	1,03	1,00	0,96	0,92	0,92	0,92	1995
3,34	3,27	2,49	1,88	1,88	1,66	1,44	1,41	1,37	9,81	9,71	9,42	9,16	9,08	9,02	8,88	7,71	6,45	1996
3,10	2,99	2,86	2,83	2,83	2,81	2,73	2,68	2,66	6,83	5,33	4,05	3,29	3,15	2,95	2,78	2,75	2,75	1997
4,09	3,90	3,28	3,20	3,19	3,15	3,12	3,10	3,10	1,50	1,44	0,89	0,81	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	1998
4,22	3,77	2,49	2,38	2,35	2,30	2,26	2,26	2,26	2,00	1,28	1,12	1,09	1,08	1,09	1,06	1,04	1,00	1999
1,68	1,48	1,33	1,33	1,32	1,32	1,30	1,30	1,30	1,03	0,93	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	2000
1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	5,56	5,43	5,31	5,27	5,25	5,23	5,21	5,21	5,20	2001
1,15	0,59	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	2,20	1,37	0,53	0,49	0,46	0,45	0,44	0,44	0,44	2002
1,59	1,38	1,05	0,74	0,63	0,59	0,59	0,58	0,57	2,62	2,09	1,35	1,26	1,25	1,21	1,15	1,10	1,06	2003
1,62	1,38	0,72	0,71	0,69	0,68	0,67	0,64	0,62	3,67	3,34	3,25	3,16	3,06	2,89	2,68	2,61	2,57	2004
1,44	1,42	1,17	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	3,56	3,44	3,13	3,07	2,97	2,79	2,49	2,40	2,31	2005
1,68	1,50	1,36	1,30	1,30	1,29	1,29	1,28	1,26	2,22	2,10	1,68	1,59	1,56	1,53	1,50	1,50	1,50	2006
3,28	3,06	1,81	0,83	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	2,09	1,83	1,57	1,47	1,38	1,31	1,26	1,21	1,20	2007
0,83	0,76	0,73	0,70	0,69	0,68	0,68	0,68	0,68	14,0	13,6	12,3	11,7	12,0	10,4	8,58	8,01	7,97	2008
1,89	1,52	1,41	1,15	1,09	0,93	0,88	0,87	0,85	3,09	2,39	1,99	1,97	1,97	1,89	1,74	1,67	1,53	2009
2,23	1,92	0,64	0,53	0,50	0,47	0,44	0,43	0,41	5,85	5,93	5,29	4,33	2,05	1,40	1,34	1,31	1,28	2010
1,58	1,38	1,20	1,16	1,16	1,12	1,08	1,08	1,08	3,20	2,16	1,68	1,22	1,20	1,19	1,16	1,14	1,12	2011
1,53	1,23	1,14	1,11	1,10	1,10	1,09	1,07	1,04	2,02	1,52	1,14	1,08	1,05	1,02	0,99	0,98	0,98	2012
1,50	1,35	0,96	0,94	0,93	0,91	0,91	0,91	0,91	1,79	1,44	1,15	1,13	1,08	1,07	1,06	1,06	1,04	2013
1,08	0,96	0,88	0,84	0,82	0,81	0,80	0,80	0,80	0,81	0,65	0,54	0,47	0,36	0,30	0,25	0,22	0,21	2014
2,81	2,66	2,24	2,18	2,16	2,12	2,09	2,09	2,09	3,34	2,94	2,49	2,24	2,23	2,20	2,16	2,10	2,06	2015
1,58	1,46	1,25	1,19	1,16	1,13	1,11	1,10	1,07	2,17	1,86	1,48	1,38	1,34	1,32	1,30	1,30	1,17	2016

2. التغايرية السنوية لمعدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d)

اعتبرت (Lang 2007) أن دراسة الشح المائي على المستوى الشهري يمكن أن يحجب وضعيات الشح المائي القصوى، لذا عملنا على مقارنة معدلات الصبيب الأدنى على مدى 3 و10 و30 و60 و90 يوما المستخلصة على مستوى محطتي أيت تمليل وتمسماط.

مبيان 84: تغيرات معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN) حسب المؤشرات المستخلصة بمحطتي أيت تمليل وتمسماط



تُظهر النتائج (مبيان 84) تباين طفيف بين معدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCNd) بالنسبة للفترات التي تساوي أو أقل من 30 يوما، والذي يظهر بشكل أكبر خلال السنوات الجافة، على سبيل المثال فمعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوم (VCN30) يتجاوز معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 10 يوم (VCN10) ب 11% بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) عند محطة تمسماط، وبـ 13% بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل عند محطة أيت تمليل.

ويظهر هذا الاختلاف بشكل واضح عند تسجيل قيم مرتفعة في السنوات الرطبة خصوصا بالنسبة لمعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 60 يوم (VCN_{60}) ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 90 يوم (VCN_{90})، وبشكل أكبر بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل.

على العموم هناك شبه استقرار للمعدلات خلال فترات الشح المائي، وتقارب القيم بين المتغيرات المختلفة خصوصا بالنسبة للفترات الأقل من 30 يوما.

ولتوضيح أكثر العلاقة بين مختلف متغيرات صبيب الشح سنعمل على دراسة الترابط الخطي بين سلسلة القيم المستخلصة لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم (VCN_d). يبين الجدول 44 النتائج المحصل عليها، حيث تُظهر دراسة العلاقة للمتغيرات قوة الترابط بين النتائج المستخلصة لمعدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d)، ويلاحظ ذلك من خلال معامل الترابط الخطي الذي سجل قيما تراوحت بين 72% و 99%.

وتظهر علاقة الترابط أكثر قوة بين متغيرات الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، حتى بين طرفي المعدلات (VCN_1, VCN_{90}). أما بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل فتظهر العلاقة أكثر قوة بين المتغيرات الأقل من معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما (VCN_{30})، وأقل قوة بين طرفيها.

جدول 44: الترابط الخطي بين معدلات الصبيب اليومي الأدنى VCN بمحطتي أيت تمليل وتمسماط

	المتغيرات	VCN 1	VCN 3	VCN 5	VCN 10	VCN 15	VCN 20	VCN 30	VCN 60	VCN 90
محطة أيت تمليل	VCN 1	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,88	0,76	0,72
	VCN 3		1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,89	0,76	0,73
	VCN 5			1,00	1,00	0,99	0,98	0,89	0,77	0,73
	VCN 10				1,00	1,00	0,99	0,90	0,79	0,75
	VCN 15					1,00	0,99	0,92	0,81	0,77
	VCN 20						1,00	0,95	0,84	0,80
	VCN 30							1,00	0,93	0,89
	VCN 60								1,00	0,99
	VCN 90									1,00
محطة تمسماط	VCN 1	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92	0,89
	VCN 3		1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92	0,89
	VCN 5			1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92	0,89
	VCN 10				1,00	1,00	0,98	0,96	0,94	0,91
	VCN 15					1,00	0,99	0,98	0,95	0,92
	VCN 20						1,00	1,00	0,97	0,94
	VCN 30							1,00	0,98	0,95
	VCN 60								1,00	0,99
	VCN 90									1,00

على العموم، تبقى علاقة الترابط بين المتغيرات جيدة، وهذا يفسر أن الشح المائي بمجال الدراسة يتميز بطول فترته خصوصا خلال الفصول الجافة من السنة (فصل الصيف)، وهي خاصية من خصائص المجالات شبه الجافة، التي تتميز بصبيب أدنى تمتد في بعض الأحيان لعدة شهور.

3. رتب الشح المائي حسب معدلات الصبيب اليومي الأدنى

يمكن فرز المتغيرات المختلفة التي تمثل معدلات صبيب الشح لتحديد السنوات الأكثر شدة. ولإنجاز ذلك نربط كل قيمة بالرتبة التي تمثلها خلال السلسلة المدروسة، وبالتالي فإنه عند تصنيف قيم صبيب الشح نلاحظ أن رتبة نفس السنة قد تختلف باختلاف المتغير المحدد، وهذا يعني أنه حسب المتغير المدروس قد يتغير التكرار التجريبي لحدوث الشح المائي.

ويمكن أن يكون التباين في رتب الشح المائي مرتبطا جزئيا بمسألة مدته، ويمكن للحدث أن يتميز بالشدة، ولكن لفترة قصيرة. وعلى العكس من ذلك، قد تكون معدلات صبيب الشح منخفضة ولكن لمدة أطول، وفي نهاية المطاف تكون أكثر شدة، وهذا ما تمت ملاحظته بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل، إذ تمثل سنتا 1993 و2008 نموذجا للشح المائي من حيث طول مدته وشدته، والتي تختلف مجاليا بين عالية الحوض وسافلته، بحيث تميزت السنوات و2014 و1990 و1986 بأدنى مستوياته بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، أما الحوض الفرعي لواد أيت تمليل بالعالية فقد عرف أدنى مستوياته سنة 2010 و2002 و2003.

ما يمكن استنتاجه من خلال النتائج التي تم التوصل إليها أن شدة ومدة الشح المائي ليست بالضرورة مرتبطة بالسنوات المرجعية (السنوات الجافة) التي تم تحديدها، حيث يظهر أن معدلات الصبيب اليومي الأدنى لسنة 1983 تموضعت بين العتبة 6 و16 بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) وبين العتبة 3 و11 في سنة 1984 بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل، حيث يمكن تفسير هذا التناقض بالتأثير البشري بالحوض عن طريق الاستغلال المفرط للموارد المائية.

جدول 45: رتب الشح المائي حسب معدلات الصبيب اليومي الأدنى بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 - 2016)

الرتبة 1 الرتبة 2 الرتبة 3

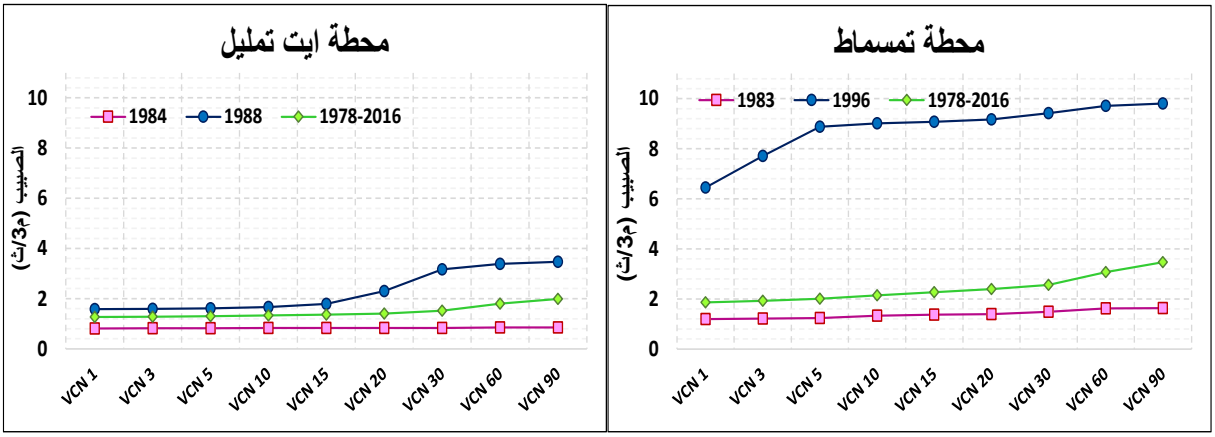
محطة أيت تمليل										محطة تمسماط										
VCN 90	VCN 60	VCN 30	VCN 20	VCN 15	VCN 10	VCN 5	VCN 3	VCN 1	QMNA	VCN 90	VCN 60	VCN 30	VCN 20	VCN 15	VCN 10	VCN 5	VCN 3	VCN 1	QMNA	التاريخ
32	33	36	37	37	37	37	37	37	36	20	22	24	23	23	24	24	25	24	22	1978
5	5	6	6	7	7	7	6	5	6	4	3	6	6	6	6	4	4	4	6	1979
29	28	27	28	28	28	28	28	28	28	31	33	31	30	31	31	32	32	31	31	1980
21	26	28	29	29	29	30	30	30	24	15	17	22	22	22	23	22	23	23	21	1981
9	10	18	21	21	22	22	22	22	13	7	10	10	7	7	7	7	7	5	15	1982
14	23	26	26	26	26	26	26	26	23	6	12	15	16	16	17	15	16	16	10	1983
3	4	8	10	11	11	11	11	11	5	10	13	16	18	18	18	16	17	18	11	1984
4	7	10	12	12	13	14	14	13	7	19	19	21	21	20	21	20	21	20	19	1985
19	17	22	23	24	24	23	23	23	17	5	4	3	3	3	3	3	3	3	2	1986
10	11	15	14	15	16	16	15	15	11											1987
37	37	38	34	32	32	32	32	32	38											1988
35	32	33	35	35	35	35	34	34	35	34	30	17	19	19	20	21	22	22	13	1989
27	25	24	25	22	21	19	18	17	25	17	6	1	2	2	2	2	2	2	5	1990
25	29	30	31	31	33	33	33	33	29	25	24	25	26	27	27	25	20	19	26	1991
26	27	29	30	30	30	31	31	31	26	24	26	27	27	28	28	29	29	29	27	1992
2	3	5	7	9	9	9	9	9	4	27	27	28	28	29	32	33	33	33	28	1993
8	8	7	8	8	8	8	8	8	3	30	31	33	33	34	34	34	34	34	32	1994
22	19	17	15	14	15	15	16	16	12	11	14	8	8	8	8	8	8	9	12	1995
36	36	34	32	33	31	27	27	27	33	36	36	36	36	36	36	37	36	36	36	1996
33	34	37	38	38	38	38	38	38	37	35	32	32	32	33	33	31	31	32	33	1997
38	39	39	39	39	39	39	39	39	39	3	8	5	5	5	4	5	5	6	4	1998
39	38	35	36	36	36	36	36	36	34	12	5	7	10	10	12	11	11	11	9	1999
23	21	20	24	25	25	25	25	25	16	8	9	12	12	12	10	12	10	8	17	2000
11	18	25	27	27	27	29	29	29	20	32	34	35	35	35	35	35	35	35	34	2001
7	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	4	4	4	5	6	6	7	3	2002
18	15	12	5	3	3	3	3	3	15	21	18	13	14	14	14	13	13	13	24	2003
20	13	3	4	4	4	4	4	4	27	29	28	30	31	32	30	30	30	30	30	2004
12	16	14	16	18	18	21	21	21	19	28	29	29	29	30	29	28	28	28	29	2005
24	22	21	22	23	23	24	24	24	18	18	20	20	20	21	22	23	24	25	23	2006
34	35	31	9	6	6	6	7	6	31	14	15	18	17	17	15	17	15	17	14	2007
1	2	4	3	5	5	5	5	7	2	37	37	37	37	37	37	36	37	37	37	2008
28	24	23	18	16	14	12	12	12	22	22	23	23	24	24	25	26	26	26	20	2009
30	30	2	2	1	1	1	1	1	30	33	35	34	34	25	19	19	19	21	35	2010
16	14	16	19	19	19	17	19	20	14	23	21	19	13	13	13	14	14	14	16	2011
15	9	13	17	17	17	18	17	18	10	13	11	9	9	9	9	9	9	10	8	2012
13	12	11	13	13	12	13	13	14	8	9	7	11	11	11	11	10	12	12	7	2013
6	6	9	11	10	10	10	10	10	9	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2014
31	31	32	33	34	34	34	35	35	32	26	25	26	25	26	26	27	27	27	25	2015
17	20	19	20	20	20	20	20	19	21	16	16	14	15	15	16	18	18	15	18	2016

4. مقارنة معدل الصبيب اليومي الأدنى للسنوات المرجعية والمعدل البيسنوي.

يمكننا المعدل البيسنوي لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى من إعطاء نظرة شاملة لهذا المتغير، ومقارنة القيم المحصل عليها على مدى d يوم ومقارنتها بالسنوات المرجعية (الجافة والرطبة) المستخلصة خلال الدراسة الهيدرولوجية، ثم استخلاص التباين على المستوى المجالي بين عالية الحوض وسافلته.

يبين المبيان 85 النتائج المحصل عليها.

مبيان 85: مقارنة معدل الصبيب اليومي الأدنى للسنوات المرجعية والمعدل البيسنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 - 2016)



بلغ الانحراف المعياري لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) 0,54 م^3/ث عند محطة تمسماط، أما بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل فقد بلغ 0,25 م^3/ث عند محطة أيت تمليل، مما يدل على تقارب المعدلات حيث لا نجد تفاوت كبير بين القيم، خصوصا بمحطة أيت تمليل. ولا يظهر الفارق واضحا إلا انطلاقا من معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 60 يوم (VCN_{60}) في كلتا محطتي الدراسة، وبالتالي فإن القيم المحصل عليها في علاقتها بمدة الشح المائي متقاربة جدافي حدود 30 يوما.

وبلغ الانحراف المعياري 0,7 م^3/ث بين معدلات الصبيب اليومي الأدنى VCN لسنة 1983 ومعدل VCN خلال السلسلة (1978-2016) بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، حيث كان الانحراف المعياري أكثر اتساعا بين لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى لسنة 1996 (3,4 م^3/ث)، في حين تميز الحوض الفرعي لواد أيت تمليل بانحراف معياري ضئيل مقارنة بالمعدل السنوي ل VCN لسنتي 1984 و1988 إذ بلغ على التوالي 0,4 م^3/ث و 0,7 م^3/ث. يبدأ هامش الفرق في الاتساع كلما زادت المدة (d) للشح المائي، وتزداد أكثر بالنسبة ل VCN60 و VCN90. أما بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل يبقى الفرق بين معدلات الصبيب اليومي الأدنى لسنة 2002 ومعدل السلسلة (1978-2016) شبه مستقر، ويتسع نسبيا عند معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 90 يوما VCN90.

ويعني هذا أن الصبيب يعرف استقرارا خلال فترات الشح المائي كلما زادت المدة (d)، وهذا راجع بطبيعة الحال إلى ضعف التغذية أو التزويد المائي، والتباعد الزمني بين فترات التساقطات المطرية.

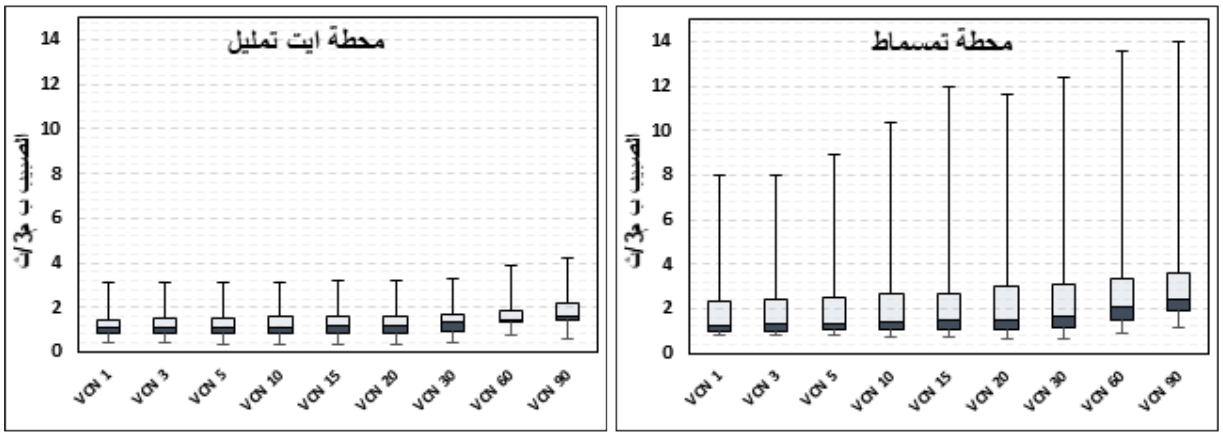
5. معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) باعتماد مخطط الصندوق.

يعطي المخطط الصندوق لمحة عامة للقيم الوسيطة والحدية لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى المستخلصة من السلسلة إحصائية: فهي طريقة لتمثيل القيم الإحصائية الخمس المحددة لمعطيات الصبيب الشهري (القيمة الدنيا للصبيب، الرُبيع الأدنى Q1، الوسيط Q2، الرُبيع الأعلى Q3، والقيمة القصوى للصبيب) (أنظر الفصل السادس). ويستخدم الرسم البياني بشكل أساسي لمقارنة نفس السمة في مجموعتين بأحجام مختلفة (David, 2003). يُظهر التمثيل البياني (مبيان 86) لمتغيرات صبيب الشح، باعتماد المخطط الصندوق، المسافات المختلفة بين القيم الدنيا والعليا من جهة، والرُبيع الأدنى والأعلى من جهة أخرى، وهذا يعكس درجة التشتت في العينة الإحصائية.

بالنسبة **لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)**، عرف المدى الربيعي (الفرق بين الربيع الأعلى $Q_{0,25}$ والربيع الأدنى $Q_{0,75}$) اتساعا كبيرا خصوصا بالنسبة للشح المائي الأكثر من 30 يوما، والذي سجل أقصاه عند معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوم (VCN_{30}) ب 1,96 م^3/ث عند محطة تمسماط. أما بالنسبة للشح المائي الأقل من 20 يوما، فقد تقلص المدى الربيعي، إلى أقل من 1,4 م^3/ث.

كما يوضح المخطط أن المعدلات المستخلصة بين الوسيط والرُبيع الأعلى أكثر تباعدا وانتشارا من تلك التي تقع بين الوسيط والرُبيع الأدنى. كما أن المعدلات الأكبر من الرُبيع الأعلى أكثر تباعدا وانتشارا من سواها الأقل، ويفسر ذلك بالسنوات الرطبة التي سجلت قيما مرتفعة للصبيب، كسنة 1996 التي سُجلت فيها معدلات الصبيب اليومي الأدنى أكثر من المعدل البيسنوي للسلسلة الإحصائية.

مبيان 86: المخطط الصندوق لمعدل الصبيب اليومي الأدنى (VCNd) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



بالنسبة **للحوض الفرعي أيت تمليل**، فقد كان المدى الربيعي أقل اتساعا مقارنة بالمعدلات المسجلة بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، حيث لم يتجاوز 0,7 م^3/ث عند محطة أيت تمليل كأقصى قيمة بالنسبة لمعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 90 يوم (VCN_{90}). غير أن درجة التشتت كانت أقل حدة بهذه المحطة، رغم تباعد المعدلات الأكبر من الرُبيع الأعلى.

6. دراسة تردد معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) حسب قانون Ln-Normale.

سنعمل خلال هذه المرحلة على حساب تردد الشح المائي من أجل استنتاج فترات رجوع VCN_d على مدى 3، 5، 10، 20 و30 ،60 ،90 يوم، حسب قانون Ln-Normale. وتعتبر هذه العملية مرحلة أساسية في تحديد شدة الشح المائي خلال السنوات الاستثنائية، ويتعلق الأمر هنا بالسنوات الجافة (El Ghachi,2010).

جدول 46: فترات الرجوع لمعدل الصبيب اليومي الأدنى (VCNd) بمحطتي تمسماط وأيت تمليل حسب قانون Ln-Normale

المدة d (اليوم)	محطة تمسماط			محطة أيت تمليل		
	معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم بتردد (T)			VCN(T, d)(م^3/ث)		
	2	5	10	2	5	10
	U_f					
	0	-0,84	-1,28	0	-0,84	-1,28
1	1,399	0,758	0,550	1,119	0,756	0,616
3	1,443	0,779	0,565	1,132	0,766	0,624
5	1,491	0,803	0,581	1,143	0,774	0,631
10	1,575	0,845	0,611	1,170	0,790	0,643
15	1,656	0,891	0,644	1,198	0,810	0,660
20	1,746	0,944	0,685	1,233	0,839	0,686
30	1,887	1,029	0,750	1,339	0,909	0,742
60	2,366	1,367	1,026	1,587	1,075	0,876
90	2,766	1,664	1,275	1,753	1,219	1,008

يتميز حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) بشبه استقرار ملحوظ في صبيب الشح على المستوى المجالي والزمني خلال السنوات الجافة (جدول 46). حيث أن هناك تقارب معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى

d يوم (VCN_d) بين عالية الحوض وسافلته خصوصا عند ترددات نقاط التجزيء الجافة، وهذا يؤكد على دور الفرشة الباطنية في تغذية المجرى المائي للحوض.

7. تردد معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) باعتماد طريقة صبيب-مدة- تردد (QdF)

يتماشى تطبيق طريقة صبيب-مدة-تردد (QdF) مع استنتاجات التحليل الإحصائي لمعدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d)، لأنه يستند في البداية إلى قانون Ln Normale بمتغيرين، خصوصا أن هذه الطريقة تقترح تحديد كمية صبيب النضوب المائي. وتم تطوير نموذج صبيب-مدة-تردد (QdF) المنجز من CEMAGREF في الأصل لتحليل أنظمة الامتطاحات. في الآونة الأخيرة (Galéa et al, 1999) اقتراح تطورات لهذه الطريقة لإمكانية دراسة خصائص صبيب الشح، حيث تكمن الميزة الرئيسية في أنها تسمح بوصف حالة الشح المائي مع مراعاة مدتها. وقد اقترحوا تطبيقها على معدلات الصبيب اليومي الأدنى VCN للمدد الزمنية 1 و3 و 5 و 10 و 15 و 20 و 30 و 60 و 90 يومًا.

في هذه الدراسة سنعمل على تطبيق طريقة صبيب-مدة-تردد (QdF) على معدلات الصبيب اليومي الأدنى من 1 إلى 90 يوم. الهدف من ذلك هو الوصول إلى نموذج يعتمد على قانون Ln Normale 2 الذي يسمح بتحديد نقاط التجزيء لأي فترة رجوع T وأي مدة d من 3 معلمات التي تصف نظام صبيب الشح حسب الصيغة 7.1:

$$VCNd(u_F) = e^{S_{di} \times u_F} \times e^{m_{di}} \qquad 7.1$$

m_{di} : متغير الموقع (المعدل اللوغاريتمي لمعدل الصبيب اليومي الأدنى خلال المدة di)؛

S_{di} : متغير المقياس (يتم حسابه حسب لوغاريتم معدل الصبيب اليومي الأدنى خلال المدة di)؛

u_F : المتغير الوسيط لغوس (Gauss) .

إذا أخدنا الصيغة 7.2:

$$VCN(d, u_F) = e^{S_c \times u_F} \times VCN(2,1) \times (a \times (d-1) + 1) \qquad 7.2$$

باعتماد المتغيرات التالية:

- **متغير الموقع:** معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى يوم واحد الذي يوافق فترة الرجوع لسنتين: VCN(1,2) الذي يجعل من الممكن إعطاء لكل منحنى صبيب-مدة-تردد أبعاد؛
- **متغير المقياس:** الانحراف المعياري الموحد S_c؛
- **المتغير « a »:** الذي يمَكن من جعل رابط بين جميع فترات لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى. وحسب (Galéa et al, 1999)، هذا المتغير يتوافق مع الانخفاض الخطي للصبيب خلال فترات الشح المائي. وبالتالي فإن هذه القيمة تتوافق مع معامل النضوب المائي.

تعتمد أصالة هذه الطريقة على حقيقة أنها تسمح باقتراح صياغة فريدة لحساب نقاط التجزيء (Quantiles) لجميع الفترات d: $VCN(d, u_F)$. للقيام بذلك، يعتمد النموذج على فرضيتين رئيسيتين وهما خاصية التقارب وتمثيل معدلات الصبيب اليومي الأدنى بدلالة الزمن d الذي يمكن تمثيله بمستقيم واحد.

1.7 التردد التجريبي ل $lnVCN_d$ حسب قانون ln Normale بمحطتي أيت تمليل وتمسماط

يتم تصنيف معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم VCN_d بترتيب تصاعدي، ويتم تعيين مؤشر التصنيف i لكل قيمة، وبالتالي تُعطى أدنى قيمة في المرتبة i = 1 وأعلى قيمة في المرتبة i = n (تتكون العين من n قيمة).

تظهر التوزيعات اللوغاريتمية لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى VCN_d الممثلة بمقاييس حسابية غوسية متوازية بالنسبة لبعضها البعض (مبيان 87)، باستثناء معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 60 و90 يوما (VCN_{60} ; VCN_{90})، إذا تم تحديد هذه الخاصية المسماة "خاصية التقارب" ، فمن الممكن تحديد ميل واحد يسمى

الانحراف المعياري الموحد (Sc). يتم حسابه على جميع المعدلات اللوغاريتمية للصبيب اليومي الأدنى (VCN) المقيسة: $LnVCNd - \overline{(LnVCNd)}$

يتم استنتاج التردد التجريبي F_i من المعادلة 7.3 (Lubes et al, 1994):

$$F_i = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \qquad 7.3$$

وبالتالي فحسب قيمة F_i يمكن الحديث على نقاط التجزيء الرطبة أو نقاط التجزيء الجافة.

نقاط التجزيء الرطبة: $0,5 < F_i$ $\quad u_F > 0$ $\quad T = \frac{1}{1-F_i}$

نقاط التجزيء الجافة: $0,5 > F_i$ $\quad u_F < 0$ $\quad T = \frac{1}{F_i}$

وبالتالي يتم قانون التوزيع النظري حسب المعادلة 7.4:

$$\ln\big(VC(T,d)\big) = m(d) + s(d).u_f \qquad 7.4$$

بحيث:

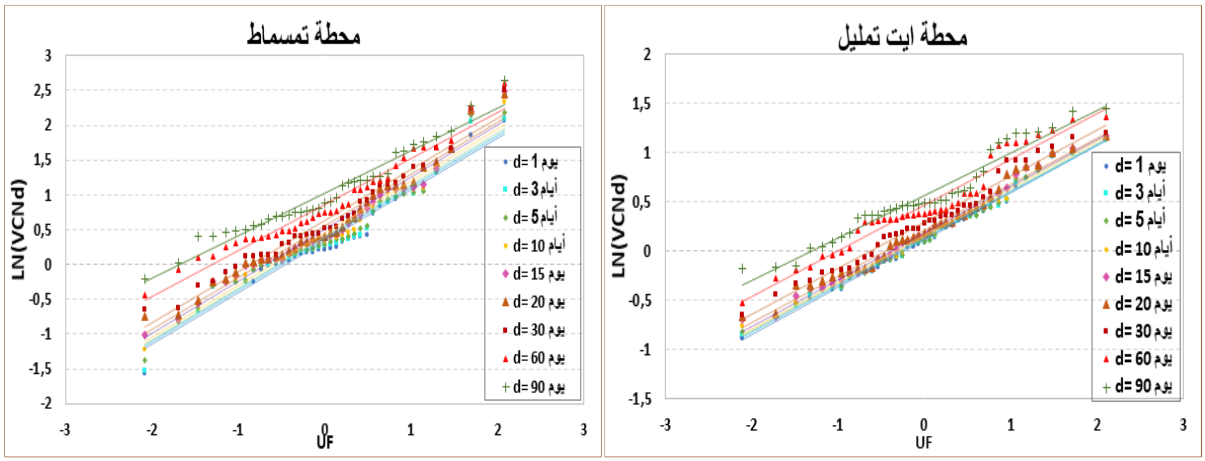
$m(d)$: المعدل اللوغاريتمي النيبيري للصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) المستخلصة؛

$s(d)$: الانحراف المعياري للوغاريتمات النيبيرية للصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) المستخلصة؛

u_F : المتغير الوسيط لغوس (Gauss) .

T : معدل فترات الرجوع.

مبيان 87: التعديل اللوغاريتمي لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى (LnVCNd) حسب قانون Ln Normale بمحطتي تمسماط وأيت تمليل.



يعد التمييز بين نقاط التجزيء الجافة والرطبة في فترة معيّنة للرجوع (T) (المتعلقة بـ U_F) شكلاً من الأشكال الملائمة لمدبري الأحواض المائية، وبالتالي يتم استنتاج نقاط التجزيء المقابل لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم بتردد (T) $VCN_d(T)$ من قانون التوزيع النظري السابق، مع قيمتي s (d) و m (d) في الجدول 47:

جدول 47: تعديل معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم (VCNd) انطلاقا من تردد صبيب الشح

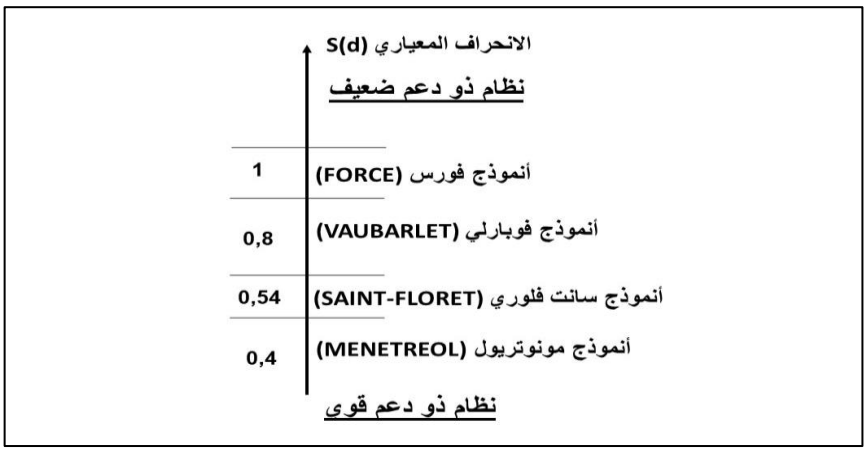
محطة أيت تمليل			محطة تمسماط		
التعديل حسب قانون Ln Normale			التعديل حسب قانون Ln Normale		
$m(d)$	$s(d)$	المدة d (اليوم)	$m(d)$	$s(d)$	المدة d (اليوم)
0,11	0,47	1	0,33	0,73	1
0,12	0,46	3	0,37	0,73	3
0,13	0,46	5	0,39	0,73	5
0,15	0,47	10	0,45	0,73	10
0,18	0,46	15	0,50	0,73	15
0,20	0,45	20	0,55	0,73	20
0,29	0,46	30	0,63	0,72	30
0,46	0,46	60	0,86	0,65	60
0,56	0,43	90	1,02	0,60	90

2.7 تصنيف نظام صبيب الشح بحوضي أيت تمليل وتساوت (عالية سد مولاي يوسف)

تتيح دراسة تردد صبيب الشح، بناء على ميل (الانحراف المعياري)، تعديل معدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) (d = 1 يوم، وهي المدة الأكثر فعالية لمعيار الصبيب)، من خلال تحديد أربع فئات تجريبية ذات الهامش المتغير، وتسمى أيضا العائلات أو الأنظمة الهيدرولوجية (Galéa et al, 1999). وبعبارة أخرى، فإن الانحراف المعياري للقانون المعدّل وفقًا لعينة الصبيب اليومي الأدنى يجعل من الممكن تحديد (معيار الاختيار) النظام الهيدرولوجي التمثيلي للحوض النهري التي تمت دراسته.

وفقًا لهذا المعيار، يمكننا إعطاء الاتجاه العام للنظام الهيدرولوجي للحوض النهري التابعة لكل نموذج هيدرولوجية (شكل 1).

شكل 1: تصنيف نظام صبيب الشح حسب (Galéa et al, 1999) بتصرف.



وبما أننا بصدد دراسة حوضين نهريين فقط: الحوض الفرعي لواد أيت تمليل عند محطة أيت تمليل وحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) عند محطة تمسماط، فإننا سنكتفي بالتفيئ حسب نظامين هيدرولوجيتين كما يلي:

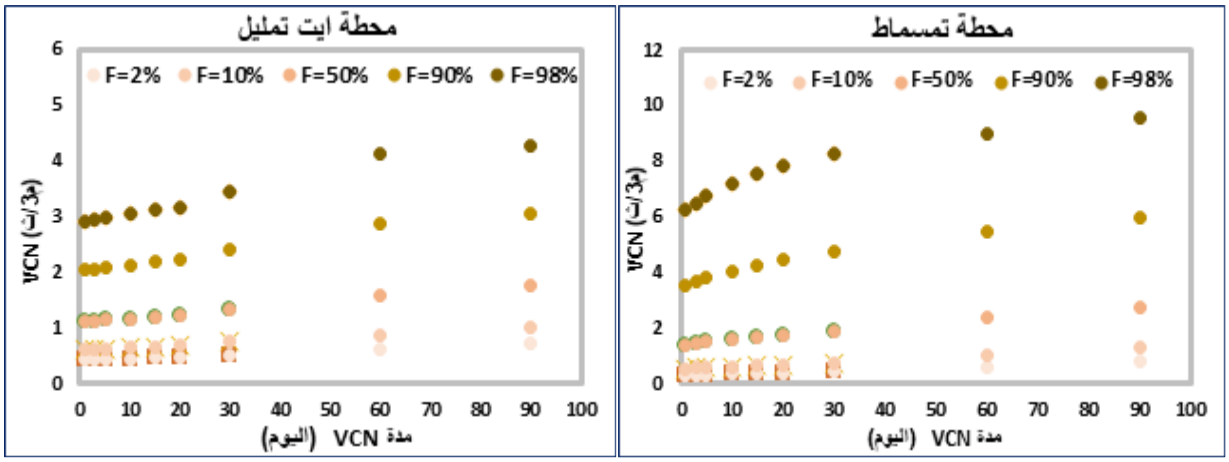
- النظام الهيدرولوجية ذو الانحراف المعياري ($s(d = 1j) \leq 0,54$): تمثل تمايز ضعيف (انحدار ضعيف) لنقاط التجزيء اليومي الجاف والرطب. ويطلق على نظام صبيب الشح هذا النظام المدعم، الذي ينطبق على الحوض الفرعي لواد أيت تمليل حيث أن $s(d=1) = 0,47$، وذلك لكون الحوض الفرعي يتشكل من تكوينات ذات النفاذية المهمة تغدي الفرشة المائية التي تدعم الجريان خلال فترات الشح المائي.

- النظام الهيدرولوجية ذو الانحراف المعياري (1≤ s(d=1j) <0,54) : فإن الانحدار قوي، بالتالي فنظام صبيب الشح يكون ضعيف الدعم. وهذا ينطبق على حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) حيث بلغ الانحراف s(d=1) = 0,73 ، لكون الحوض تتشكل غالبيته من تشكيلات صخارية متوسطة النفاذية.

3.7 التراجع النظري بين الفترات المختلفة لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d)

الفرضية الثانية، بالنسبة إلى u_F المثبتة، هي أن تباين القيم الطبيعية لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN) بدلالة الزمن d يمكن تمثيله بمستقيم واحد، مما يؤدي إلى توازي هذه الخطوط المختلفة من خلال القيم اللوغاريتمية.

مبيان 88: التحقق من التوازي بين منحنيات صبيب-مدة-تردد (QdF) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط

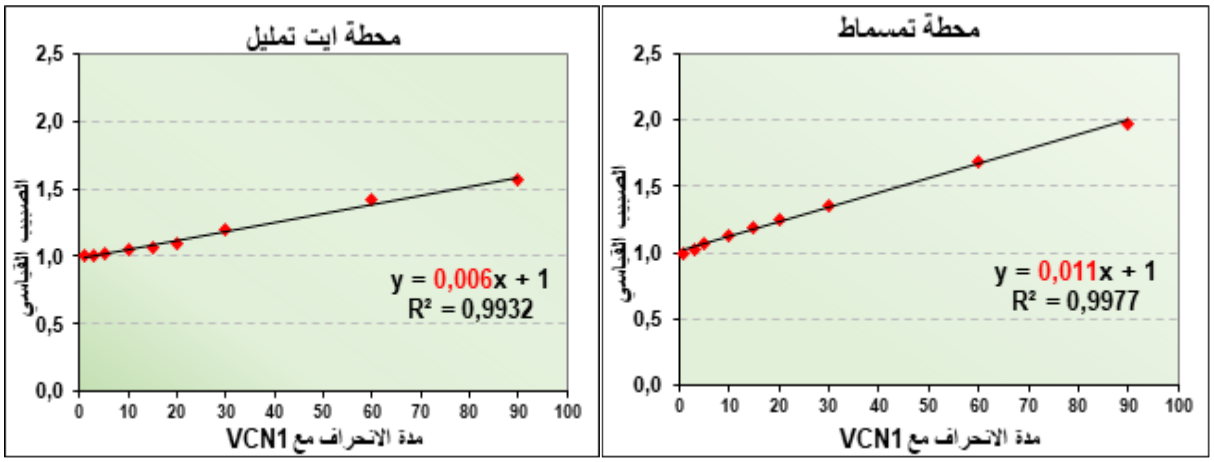


بالنسبة لمحطتي الدراسة تم تحقيق التوازي في القيم اللوغاريتمية بين منحنيات مختلف الفترات، غير أن حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) عرف تباعدا في قيم معدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) عند الترددين F=90% و F=98%.

4.7 تعديل معدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN) بدلالة المدة d

في مرحلة أخيرة يتم تجميع مختلف الفترات المستخلصة لاستنتاج معامل انحدار التراجع النظري لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d)، وبالتالي فإن هذه العملية تسمح برابط علاقة بين جميع قيمها. هذا المتغير يتوافق مع الانخفاض الخطي للصبيب خلال فترات الشح المائي.

مبيان 89: تعديل معدلات الصبيب اليومي الأدنى بدلالة المدة d بمحطتي أيت تمليل وتمسماط.



بلغ معامل الانحدار بمحطة تمسماط a=0,011 ، متوافقا مع الانحدار الخطي للصبيب خلال فترات الشح المائي.

وتؤكد هذه القيمة أن حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) يتميز بإفراغ سريع نظرا للطبيعة الصخارية ذات النفاذية الضعيفة. بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل فقد بلغ معامل الانحدار a=0,006، وهي قيمة ضعيفة بالمقارنة مع سابقتها، مما يدل على أن نظام الصبيب في عالية الحوض مدعم بجريان باطني على طول السنة.

خلاصـــة

تعتبر دراسة الشح المائي اعتمادا على تقويم زمني يومي أكثر دقة في توصيف نظام الجريان خلال هذه الفترات. وانطلاقا من التحليل الإحصائي لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم (VCN_{30}) تم التوصل إلى عدة نتائج، من أهمها:

- تباين ضعيف بين معدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) بالنسبة للمدد التي تساوي أو أقل من 30 يوما، وبروزه بشكل واضح بالنسبة لتلك التي تساوي أو تفوق 60 يوما؛
- يوضح المدى الربيعي تغايرية قوية لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، حيث بلغ 1,96 م^3/ث عند محطة تمسماط بالنسبة للمدة 30 يوما. على عكس الحوض الفرعي لواد أيت تمليل الذي تميز بتغايرية أقل بحيث لم يتجاوز 0,7 م^3/ث عند محطة أيت تمليل كأقصى قيمة بالنسبة لمعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 90 يوم (VCN_{90})؛
- يتميز الشح المائي بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل بنظام هيدرولوجي مدعم، وذلك راجع لأهمية التغذية الجوفية التي تغذي الجريان السطحي.

المحور 15: تحديد واستخلاص صبيب الشح باعتماد منحنى الصبيب اليومي المصنف بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016)

يُعتبر منحنى الصبيب اليومي المصنف شكلا آخر من أشكال التمثيل البياني لتوزيع معدلات الصبيب اليومي المستخدمة على نطاق واسع في الهيدرولوجيا (Lang, 2016). فبالإضافة إلى تحديده لخصوصيات الجريان في فترات الامتطاح، فإنه يمكننا كذلك من دراسة الصبيب في فترات الشح المائي، كما يعطينا فكرة على الجريان الباطني للحوض الهيدروجيولوجي.

واعتمادا على معطيات الصبيب اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط، سيتم تشكيل منحنى الصبيب اليومي المصنف من أجل القيام بتحليل ومعالجة إحصائية للمتغيرات المستخلصة منه، والهدف من ذلك تحديد خصائص صبيب الشح اعتمادا على مؤشرات، التي تعبر عن عتبات صبيب تعكس احتمالية التجاوز.

I. منهجية دراسة الشح المائي باعتماد منحنى الصبيب اليومي المصنف

1. تعريف منحنى الصبيب اليومي المصنف

كتذكير لمنحنى الصبيب اليومي المصنف، الذي تم تعريفه في الفصل الثالث، هو تمثيل تركيبي للنظام الهيدرولوجي، يعكس احتمالية بلوغ الصبيب لعتبة معينة أو تجاوزها (Catalogne, 2006). هذا الاحتمال يسمى أيضا التردد المتجاوز، حيث يشير المنحنى كنسبة مئوية إلى متى كان صبيب المجرى المائي مساوياً أو أكبر من قيمة معينة. يتم إنشاء منحنى الصبيب اليومي المصنف، في الغالب، بشكل لوغاريتمي عن طريق حساب مجموعة من النسب المئوية لعدد الأيام المسجلة للصبيب في المجرى المائي، حيث يكون أكبر من أو يساوي القيم التي تم اختيارها مسبقًا (Guide des pratiques hydrologiques, 1994).

وترتكز هذه المنحنيات في بعض الأحيان على الصبيب الأسبوعي أو الشهري لتبسيط عملية الحساب، ثم تشير المنحنيات التي تم الحصول عليها إلى نسب مئوية فقط من الأسابيع أو الأشهر. غير أن هذه المنحنيات أقل ميزة من منحنيات الصبيب اليومي.

يمكن إنشاء منحنى الصبيب اليومي المصنف لكل سنة من سنوات القياس (Gailliez, 2013)، إذ يتم الحصول على المنحنى طوال فترة السلسلة الإحصائية عن طريق حساب معدل الصبيب للمنحنيات السنوية n لكل تردد. ورغم أن الباحثين ينصحون باعتماد الطريقة الشاملة في حساب الترددات المتجاوزة، إلا أن هذه الطريقة ذات أهمية بالغة، حيث يمكن استخدامها في ظروف أخرى، لأنها تسمح بتصور هامش الارتياب حول معدلات صبيب الشح.

غالبًا ما يتم تعريف منحنى الصبيب اليومي المصنف من خلال عدد من القيم الخاصة تسمى "التدفقات المُميّزة" «Débits caractéristiques» للمجرى المائي:

- الصبيب المُميّز الأقصى (DCM): الصبيب الذي يتجاوز 10 أيام في السنة.
- الصبيب المُميّز للشح (DCE): يوافق الصبيب الذي يساوي أو يفوق 355 يوم في السنة.
- الصبيب المُميّز ل n شهر: يوافق الصبيب الذي يتجاوز n شهر من السنة.

وقد اعتمد مجموعة من الباحثين في أعمالهم، التي خصت بدراسة إحصائية لحجم وفترة العجز، على قيم منحنى الصبيب اليومي المصنف المقابلة لترددات مختلفة حسب أهداف الدراسة، حيث يعطي منحنى الصبيب اليومي المصنف نظرة موجزة للتغير الهيدرولوجي للحوض النهري، وتوفر معلومات أساسية لتدبير الموارد المائية (Dingman, 1978).

2. الإطار المنهجي لدراسة الشح المائي باعتماد منحنى الصبيب اليومي المصنف

يتشكل مؤشر الشح المائي من متغيرين اثنين؛ الصبيب والمدة (Q,d) اللذان يميزان عملية التدفق اليومي، حيث أن أحد المتغيرين ثابت والآخر يتغير بمرور الوقت، ويمكن تحديد الترددات المحتملة بتعديل القيم الملاحظة حسب قانون إحصائي (Abi-Zeid, 1997). وبالتالي، فإن عملية استخلاص مؤشرات الشح المائي باعتماد منحنى الصبيب

اليومي المصنف ترتكز على تثبيت متغير الصبيب لتحديد فترات الشح المائي التي تتغير مدتها مع مرور الوقت. وستتمحور دراستنا لمنحنى الصبيب المصنف، في هذا المحور، حول ما يلي:

- إنشاء منحنى الصبيب اليومي المصنف حسب طريقتين مختلفتين؛ الطريقة الشاملة على مدى سلسلة زمنية طويلة، ثم طريقة معدل المنحنيات السنوية؛
- استخلاص مؤشرات صبيب الشح باعتماد منحنيات الصبيب اليومي المصنف للطريقتين؛
- مقارنة الطريقتين، وذلك بهدف اختيار الأنسب لدراسة خصائص صبيب الشح.

وتجدر الإشارة إلى أن استخدام منحنى الصبيب اليومي المصنف يعطينا نظرة شاملة عن كل القيم المسجلة للصبيب بالحوض، كما يمكننا الجزء النهائي من المنحنى (الصبيب المنخفض) من تقريب خصائص صبيب الشح، ويمكننا أيضا من قيم الصبيب الجوفي.

II. نتائج استخلاص وتحليل الشح المائي باعتماد منحنى الصبيب اليومي المصنف

يمكن إجراء دراسة الشح المائي عن طريق وضع حد لمعدلات الصبيب. يتم استخدام القيم التي تقل عن هذه العتبات لوصف الشح المائي (Lang, 2007). يتم تحديد عتبات الصبيب، التي تسمى حدود الشح المائي، من خلال منحنى الصبيب اليومي المصنف.

نستخلص من هذا المنحنى مجموعة من المعدلات اليومية المُميّزة للصبيب المنخفض (Smakhtin 2001, Lang 2007, Gaillez 2013, Garcia 2016):

- **EA**: الشح المائي المطلق Etiage absolu (أو الحد الأدنى المطلق) ، الذي لا يمر بالضرورة من خلال منحنى الصبيب اليومي المصنف، ولكن يرتكز أساسا على معدلات الصبيب اليومي المتاحة، لأنها تمثل أدنى قيم الصبيب التي يعرفها المجرى المائي.
- **DCE**: الصبيب المُميّز للشح Débit Caractéristique d'Etiage (DCE): يوافق الصبيب الذي يساوي أو يفوق 355 يوم في السنة، أي حوالي 97٪ من مجموع القيم.
- $\mathbf{Q_{95}}$: الصبيب اليومي المصنف بنسبة 95%، وهو ما يقابل التجاوز الذي يقارب 347 يومًا في السنة.
- $\mathbf{Q_{90}}$: الصبيب اليومي المصنف بنسبة 90%، وهو ما يقابل التجاوز الذي يقارب 329 يومًا في السنة.
- $\mathbf{Q_{80}}$: الصبيب اليومي المصنف بنسبة 80%، وهو ما يقابل التجاوز الذي يقارب 292 يومًا في السنة.
- $\mathbf{Q_{75}}$: الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75%، وهو ما يقابل التجاوز الذي يقارب 274 يومًا في السنة.
- $\mathbf{Q_{50}}$: الصبيب اليومي المصنف بنسبة 50%، وهو ما يقابل التجاوز الذي يقارب 183 يومًا في السنة. يشير إلى الحد الفاصل بين فترات صعود الصبيب ونزوله بالمجرى المائي.

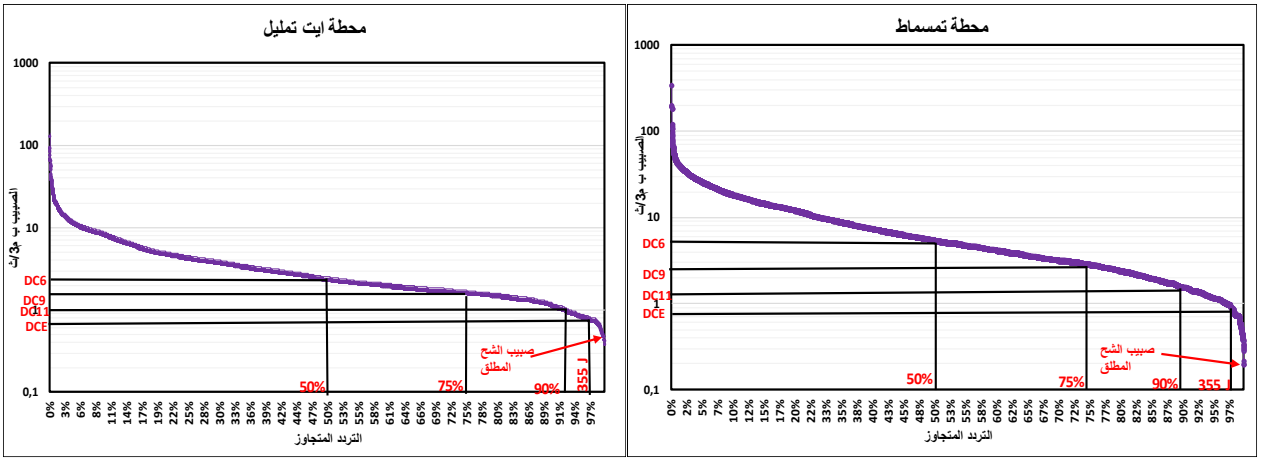
1. منحنى الصبيب اليومي المصنف باعتماد الطريقة الشاملة (1978-2016)

يتم الحصول على منحنى الصبيب اليومي المصنف انطلاقا من التصنيف التناقصي لمعدلات الصبيب للسلسلة الإحصائية، تضم n من القياسات (ليس هناك خطوة زمنية محددة، لكن عادة تصنف القياسات اللحظية واليومية). يتم حساب الترددات المتعلقة بكل قياس باعتماد عدة طرق، والصيغة الأكثر استعمالا هي كالتالي (الصيغة 7.5):

$$Prob(x \geq Q) = \mathrm{f(x)}\frac{\mathrm{r}}{\mathrm{n}+1} \qquad 7.5$$

بحيث f(x) التردد المتجاوز للقيمة المقيسة x، وr ترتيب القيمة المقيسة x و n العدد الإجمالي للقيم المقيسة. يمثل المبيان 90 منحنى الصبيب اليومي المصنف بمحطتي الدراسة.

مبيان 90: الصبيب المُميِّز المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016).



تمكننا القيم اليومية الممثلة عن طريق منحنى الصبيب اليومي المصنف من مقاربة المعدلات اليومية للصبيب بطريقة بسيطة، من خلال نظرة شمولية، قبل اللجوء إلى معالجة إحصائية مفصلة. ويلاحظ تشابه في المظهر العام للمنحنى، وهذا طبيعي لكون محطتي الدراسة تقعان على نفس المجرى المائي بالإضافة إلى أنهما تنميان إلى نفس السياق الجيولوجي بشكل عام. إلا أن هناك اختلاف في القيم العليا والدنيا للصبيب اليومي، وكذلك في ميزة الصبيب.

وأيا كانت المقاربة المختارة، فإن خاصية التمثيل في منحنى الصبيب اليومي المصنف تكمن، بشكل أساسي، في جانبه المركب الذي يجعل من الممكن تصور بسرعة المميزات الرئيسية لمجرى مائي من خلال نظرة شمولية لمجموعة قيم الصبيب اليومي خلال السلسلة الإحصائية (تغايرية الصبيب، متوسط الصبيب، حجم وتردد صبيب الامتطاح أو الشح المائي...). لذلك فهو يستخدم على نطاق واسع كأداة للتدبير، وخاصة في مجال المنشآت الكهرمائية والهيدروليك، بالإضافة إلى دراسة التدفقات الرسوبية ونقل الملوثات...(Vogel et Fennessey ,1995) . كما أنه يشكل مؤشر ملائم لتوضيح تأثير التباينات المجالية في الجيولوجيا والتضاريس و / أو المناخ على الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض (Pearce ,1990). وبذلك فإنه يتم التركيز في التحليل على شكل المنحنى، وفي هذا الصدد اقترح (Sauquet et Catalogne, 2011) تجميع المعطيات المحصل عليها من خلال منحنى الصبيب اليومي المصنف باعتماد مؤشر انحناء Ic تم الحصول عليه من خلال الصيغة 7.6:

$$Ic = \frac{(Q1 - Q10)}{(Q10 - Q99)} \qquad 7.6$$

بحيث

- Ic : مؤشر الانحناء Indice de courbure؛
- Q_1: الصبيب اليومي المصنف بنسبة 1 %؛ يقابل التجاوز الذي يقارب 4 أيام في السنة؛
- Q_{10}: الصبيب اليومي المصنف بنسبة 10 %؛ يقابل التجاوز الذي يقارب 35 يومًا في السنة.
- Q_{99}: الصبيب اليومي المصنف بنسبة 99 %؛ وهو ما يقابل التجاوز الذي يقارب 361 يومًا في السنة.

ينبع هذا الاقتراح من ملاحظة بسيطة مفادها أن المستوى Q10 شكل نقطة انعطاف بين جزأي المنحنى، الأول يتميز بانحدار قوي (من Q1 إلى Q10) والآخر بانحدار ضعيف نسبيا (من Q10 إلى Q99). إن العلاقة القائمة بين هذين القسمين تجعل من الممكن التعبير بشكل مناسب نسبيا عن التباين الملحوظ بين فترة نزول الصبيب (الصبيب القاعدي) وفترة صعود الصبيب، حيث يمكننا هذا المؤشر من التمييز بين الأحواض من حيث الاستجابة الهيدرولوجية (قيمة Ic المنخفضة)، التي تتميز بأهمية ظواهر الجريان السطحي، والأحواض ذات السلوك المخفف (قيمة Ic المرتفعة) حيث أن وجود عامل منظم يمكن من التخفيف من حساسية الاستجابة الهيدرولوجية في حالة التساقطات

المطرية القوية، وبشكل مماثل استخدم (Natan et McMahon, 1990) العلاقة (7.7) لتمييز نسبة الصبيب الأساس.

$$Qb=Q90/Q50 \qquad 7.7$$

بحيث: Qb نسبة الصبيب الأساس ب % (Débit de base).

ويمثل جدول 48 النتائج المستنبطة من منحنى الصبيب اليومي المصنف:

جدول 48: الصبيب المُميِّز المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف الشامل بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 - 2016)

	EA (م³/ث)	DCE (م³/ث)	Q_{95} (م³/ث)	Q_{90} (م³/ث)	Q_{80} (م³/ث)	Q_{75} (م³/ث)	Q_{70} (م³/ث)	Q_{60} (م³/ث)	Q_{50} (م³/ث)	Ic (م³/ث)	Qb %	المعدل البيسنوي (م³/ث)
محطة تمسماط	**0,21**	**1,08**	**1,22**	**1,62**	**2,44**	**2,87**	**3,26**	**4,12**	**5,27**	**1,4**	**29**	**8,9**
محطة أيت تمليل	**0,41**	**0,84**	**0,93**	**1,24**	**1,59**	**1,72**	**1,85**	**2,12**	**2,52**	**1,8**	**49**	**4,1**

عرف الصبيب المميز بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) تغيرات مهمة، بمعامل تغيير (CV) بلغ 0,72. وتبلغ نسبة الصبيب المميز للشح 18% من Q50 و 12% من المعدل البيسنوي، مما يفسر تباعد القيم والعجز الكبير الذي يعرفه الحوض خلال فترات الشح المائي. أما بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل فإن التغيرات أقل حدة، ويدل على ذلك معامل التغيير الذي بلغ CV=0,47، كما أن نسبة الصبيب المميز للشح تساوي 33% من Q50 و 20% من المعدل البيسنوي، ويفسر هذا بالمياه الجوفية التي تدعم المجرى المائي خلال فترات الشح المائي.

ويدل مؤشر الانحناء ***Ic*** أن الحوض الفرعي لواد أيت تمليل يتميز بسلوك هيدرولوجي مخفف، لكون عالية الحوض تتشكل أساسا من التكوينات الكلسية المنكسرة التي تلعب دورا مهما في التخفيف من حساسية الاستجابة الهيدرولوجية، عن طريق تصريف المياه الجوفية التي تساهم بجزء مهم في الجريان السطحي، ويتضح هذا من معامل الصبيب الأساس الذي بلغ Qd=49%.

أما بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) عند محطة تمسماط فقد عرف مؤشر الانحناء قيمة منخفضة، مما يعكس أن الحوض يتميز بسلوك هيدرولوجي أكثر عدوانية بالسافلة، وذلك لسيادة التكوينات المتوسطة والضعيفة النفاذية، ما يشجع غلبة الجريان السطحي. كما يلاحظ، من خلال النتائج المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف، أن معدل الصبيب البيسنوي عادة ما يكون أعلى من متوسط الصبيب (Q50)، ويقترب إلى (Q36) بالنسبة لمحطة تمسماط وإلى (Q30) بالنسبة لمحطة أيت تمليل.

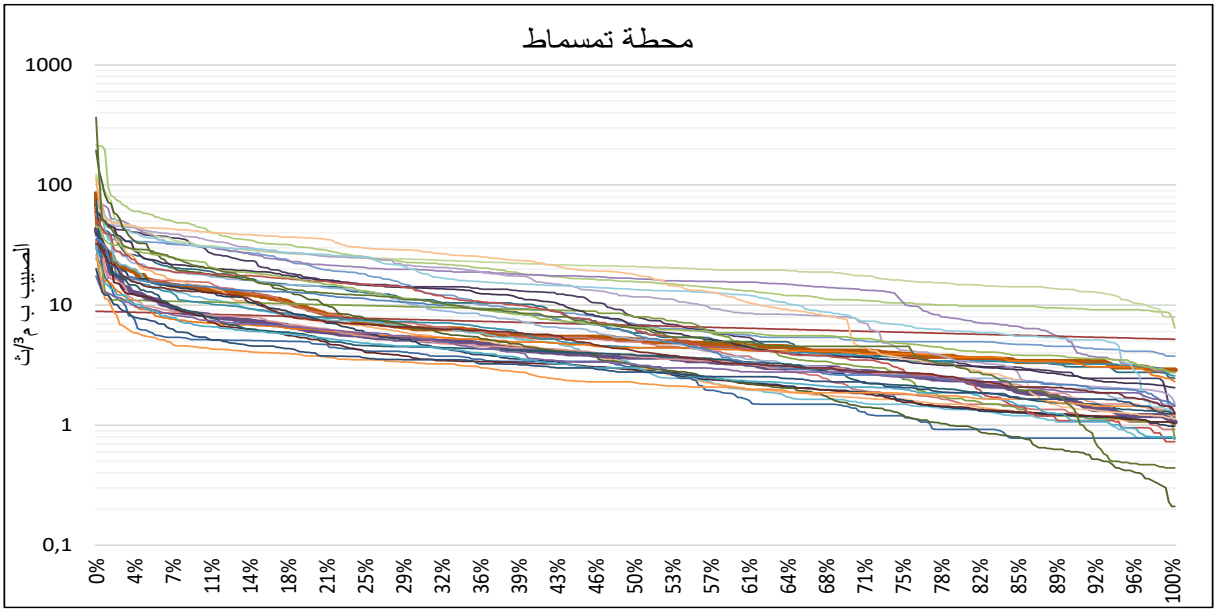
2. منحنى الصبيب اليومي المصنف باعتماد طريقة المعدل السنوي للمنحنيات

يسمح منحنى الصبيب اليومي المصنف، باعتماد طريقة المعدل السنوي، باستخراج فترات الرجوع بالنسبة للترددات المتجاوزة، وبإجراء تحليل إحصائي دقيق لمتغيرات للقيم المستخلصة، كما أنها تمنح تصورا لهامش الارتياب حول معدلات صبيب الشح.

1.2 تمثيل منحنى الصبيب اليومي المصنف باعتماد طريقة المعدل السنوي للمنحنيات (1978-2016)

يمكن إنشاء منحنى سنوي للصبيب اليومي المصنف لكل سنة من سنوات القياس، ثم يتم الحصول على منحنيات الصبيب المصنف الإجمالية للفترة عن طريق حساب لكل تردد (يوم التجاوز)، معدل الصبيب ل n منحنى سنوي.

مبيان 91: منحنى الصبيب اليومي المصنف لكل سنة بمحطة تمسماط (1978-2016)

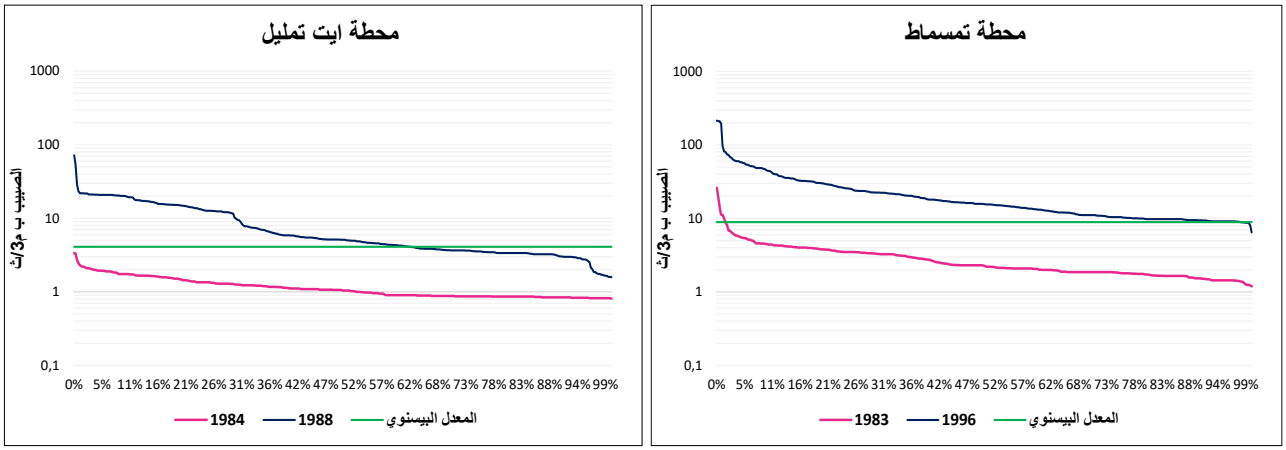


بلغ معامل التغيير بالنسبة لمنحنيات الصبيب اليومي المصنف بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) عند محطة تمسماط CV=0,74، والحوض الفرعي لواد أيت تمليل عند محطة أيت تمليل CV=0,52، إذ يدل ذلك على التباين الكبير في قيم الصبيب للمنحنيات من سنة لأخرى. ويبدو أن التباين بلغ أقصاه بالنسبة للصبيب الذي يتجاوز Q_{50} (معدلات الصبيب المنخفض)، حيث تجاوز معامل التغيير 0,90 بمحطتي الدراسة.

2.2 تمثيل منحنى الصبيب اليومي المصنف للسنوات القصوى (1978-2016)

سنحاول، اعتمادا على منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي، من مقارنة صبيب السنوات القصوى التي سُجلت خلال السلسلة الإحصائية المدروسة بمحطتي الدراسة. وقد عرفت محطة أيت تمليل أعلى صبيب سنة 1988 والتي تمثل السنة المرجعية الرطبة بهذه المحطة. أما سنة 1984 فتعتبر السنة المرجعية الجافة، التي سُجل خلالها أدنى صبيب، حيث اعتبرنا سنتي 1983 و1996 كسنتين مرجعيتين الأولى جافة والثانية رطبة بالنسبة لمحطة تمسماط.

مبيان 92: الصبيب المصنف للسنوات الجافة (الأحمر) والسنوات الرطبة (الأزرق) لمحطتي أيت تمليل وتمسماط



الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: بلغ الانحراف المعياري بين الصبيب المصنف للسنة الجافة والرطبة 5,1 م^3/ث عند محطة أيت تمليل، ويضيق عند قيم الصبيب الدنيا، مما يفسر التغذية الجوفية المستمرة التي تميز الحوض الفرعي لأيت تمليل، المتميز بقاعدة صخارية ذات النفاذية المهمة. ورغم أن سنة 1988 تميزت برطوبة مفرطة خلال

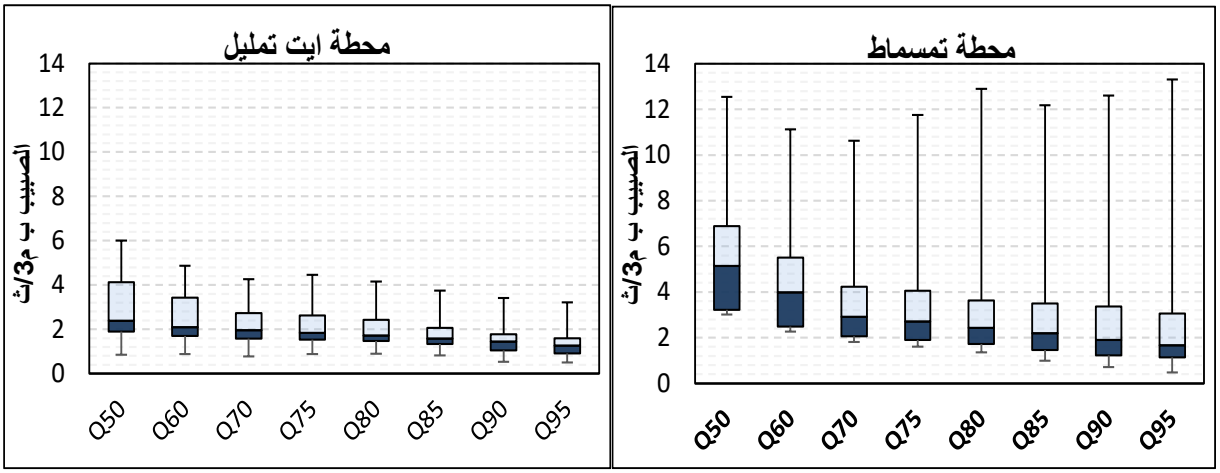
السلسلة الإحصائية المدروسة إلا أن 37% من قيم الصبيب لهذه السنة لم تتعد المعدل البيسنوي. أما بالنسبة لسنة 1984 (سنة جافة) فإن 100% من قيم الصبيب لم تتعد المعدل البيسنوي.

حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): بلغ الانحراف المعياري بين الصبيب اليومي المصنف للسنة الجافة والرطبة 14 م^3/ث، ما يوضح التفاوت الكبير بين الأحداث الهيدرولوجية القصوى بالحوض. وذلك ما تؤكده كذلك قيم الصبيب للسنوات المرجعية الرطبة والجافة، اللتان تمثلان على التوالي 98% من قيمها فوق وتحت المعدل البيسنوي.

3.2 متغيرات الصبيب اليومي المصنف باعتماد مخطط الصندوق بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)

قبل القيام بدراسة إحصائية لتوزيع قيم الصبيب المميز، سنعمل على تمثيل متغيرات الشح المائي الناتجة عن منحنى الصبيب اليومي المصنف باعتماد مخطط الصندوق وطرفيه، وهي طريقة لتمثيل القيم الإحصائية الخمس المحددة لمعطيات الصبيب الشهري (القيمة الدنيا للصبيب، الُربيع الأدنى Q1، الوسيط Q2، الرُبيع الأعلى Q3، والقيمة القصوى للصبيب).

مبيان 93: المخطط الصندوق لمتغيرات الشح المائي الناتجة عن منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



تُظهر النتائج لميزات الصبيب المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي، باعتماد المخطط الصندوق (مبيان 93)، المسافات المختلفة بين القيم الدنيا والعليا من جهة، والرُبيع الأدنى والأعلى من جهة أخرى، وهذا يعكس درجة التشتت في العينة الإحصائية.

الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: سجل المدى الربيعي (الفرق بين الربيع الأعلى $Q_{0,25}$ والربيع الأدنى $Q_{0,75}$) اتساعا أقل مقارنة بالمعدلات المسجلة بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، حيث لم يتجاوز 2,22 م^3/ث كأقصى قيمة بالنسبة للصبيب المُميز Q_{50}، وأدناها سُجلت بالنسبة للصبيب المميز ل Q_{97} غير أن درجة التشتت كانت أقل حدة بهذه المحطة، رغم تباعد المعدلات الأكبر من الرُبيع الأعلى.

حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): عرف المدى الربيعي اتساعا كبيرة خصوصا بالنسبة للترددات المتجاوزة بين Q_{90} إلى غاية Q_{50}، والذي سجل أقصاه عند الصبيب المميز Q_{50} ب 3,66 م^3/ث، أما بالنسبة الترددات المتجاوزة الأقل من Q_{95}، فقد تقلص المدى الربيعي، إلى أقل من 1,86 م^3/ث. كما أن الترددات المتجاوزة المستخلصة بين الوسيط والرُبيع الأعلى أكثر تباعدا وانتشارا من تلك التي تقع بين الوسيط والرُبيع الأدنى، بالإضافة إلى أن المعدلات الأكبر من الرُبيع الأعلى أكثر تباعدا وانتشارا من سواها الأقل، ويفسر ذلك بالسنوات الرطبة التي سجلت قيما مرتفعة للصبيب.

4.2 الترابط الخطي بين متغيرات الصبيب المصنف السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)

لإبراز العلاقة بين متغيرات الصبيب المصنف السنوي سيتم الاعتماد على دراسة معامل الترابط الخطي ومعامل الترابط لـ Pearson، حيث يتجلى الهدف من دراسة علاقة الارتباط بين المتغيرات المستخرجة قياس مدى تشتت أو تناسب قيم الصبيب لكل متغيرين.

جدول 49: مصفوفة الارتباط Pearson بين متغيرات منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط

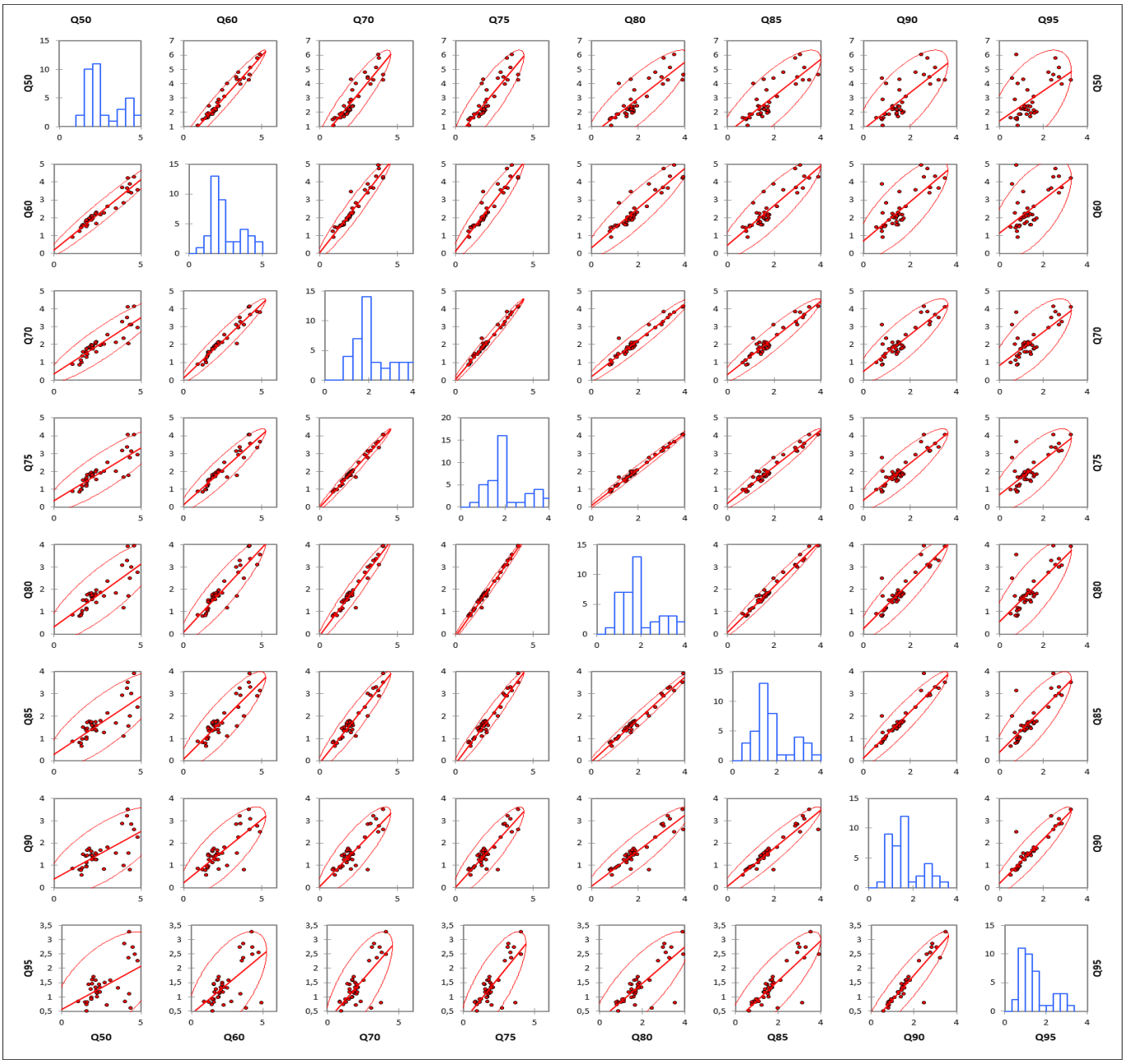
	المتغيرات	Q50	Q60	Q70	Q75	Q80	Q85	Q90	Q95
محطة أيت تمليل	**Q50**	**1**	0,947	0,831	0,762	0,714	0,662	0,534	0,315
	Q60	0,947	**1**	0,926	0,872	0,835	0,775	0,618	0,386
	Q70	0,831	0,926	**1**	0,977	0,944	0,900	0,736	0,537
	Q75	0,762	0,872	0,977	**1**	0,989	0,950	0,791	0,594
	Q80	0,714	0,835	0,944	0,989	**1**	0,975	0,831	0,626
	Q85	0,662	0,775	0,900	0,950	0,975	**1**	0,887	0,701
	Q90	0,534	0,618	0,736	0,791	0,831	0,887	**1**	0,849
	Q95	0,315	0,386	0,537	0,594	0,626	0,701	0,849	**1**
محطة تمسماط	**Q50**	**1**	0,926	0,692	0,655	0,705	0,707	0,734	0,566
	Q60	0,926	**1**	0,880	0,849	0,860	0,843	0,720	0,653
	Q70	0,692	0,880	**1**	0,958	0,891	0,840	0,531	0,631
	Q75	0,655	0,849	0,958	**1**	0,964	0,918	0,610	0,731
	Q80	0,705	0,860	0,891	0,964	**1**	0,979	0,758	0,841
	Q85	0,707	0,843	0,840	0,918	0,979	**1**	0,837	0,920
	Q90	0,734	0,720	0,531	0,610	0,758	0,837	**1**	0,865
	Q95	0,566	0,653	0,631	0,731	0,841	0,920	0,865	**1**

تبين دراسة العلاقة بين المتغيرات المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي قوة الترابط حسب علاقة Pearson، ويظهر ذلك من خلال معامل الترابط الخطي الذي سجل قيما جيدة في أغلب الحالات والتي فاقت 60% (جدول 49).

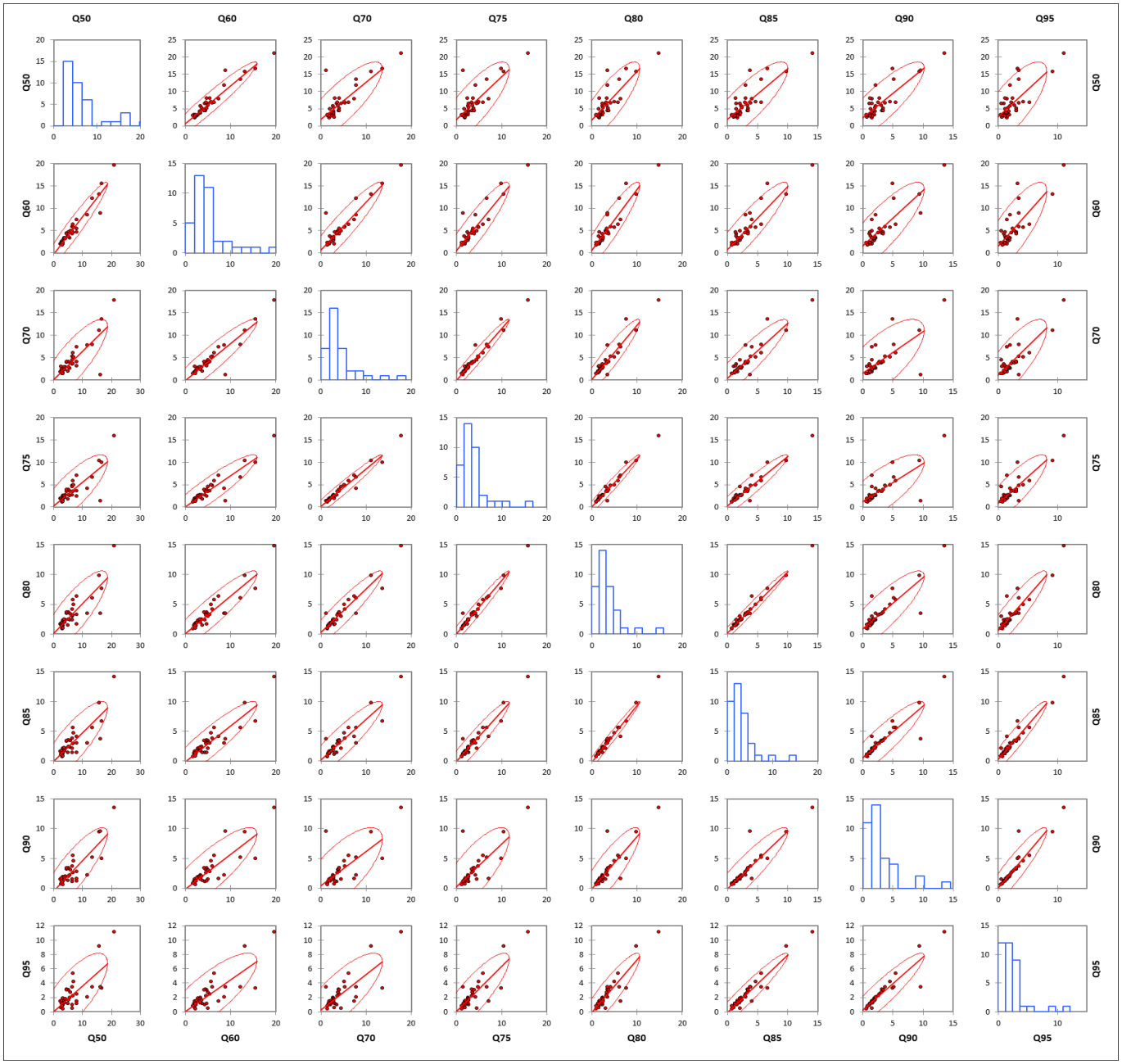
وبرزت علاقة الترابط أكثر قوة بين متغيرات الصبيب المصنف بمحطة تمسماط، حتى بين الترددات المتجاوزة الحدية، حيث سجلت أدنى قيمة للترابط الخطي 56% بين الترددين Q_{50} و Q_{95}. أما بالنسبة لمحطة أيت تمليل فقد برزت هذه العلاقة أكثر قوة بين الترددات المتجاوزة Q70 إلى Q95، وأقل قوة بين طرفيها (Q_{50} و Q_{95}).

على العموم، تبقى علاقة الترابط بين قيم الصبيب المستخلصة حسب الترددات المتجاوزة جيدة، وهذا يفسر كما سبقت الإشارة أن الشح المائي بمجال الدراسة يتميز بطول فترته خصوصا خلال الفصول الجافة من السنة (فصل الصيف)، وهي خاصية من خصائص المجالات شبه الجافة، التي تتميز بصبيب أدنى تمتد في بعض الأحيان لعدة أشهر.

مبيان 94: مصفوفة الارتباط Pearson بين متغيرات منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي بمحطة أيت تمليل



مبيان 95: مصفوفة الارتباط Pearson بين متغيرات منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي بمحطة تمسماط



5.2 دراسة تردد الصبيب اليومي المصنف على المستوى السنوي حسب قانون Ln-Normaleبمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)

لاستنتاج فترات الرجوع لقيم الصبيب المصنف السنوي، سيتم حساب تردد الصبيب المميز حسب قانون Ln-Normale، حيث تعتبر هذه العملية مرحلة أساسية في تحديد شدة الشح المائي خلال السنوات الاستثنائية، ويتعلق الأمر هنا بالسنوات الجافة. يبين الجدول 50 فترات الرجوع للصبيب المصنف السنوي بمحطتي الدراسة حسب قانون Ln-Normale

جدول 50: فترات الرجوع للصبيب المصنف السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط حسب قانون Ln-Normale

التردد المتجاوز	DC(م³/ث)					
	محطة أيت تمليل			محطة تمسماط		
	2	5	10	2	5	10
	U_f			U_f		
	0	-0,84	-1,28	0	-0,84	-1,28
Q_{95}	1,289	0,873	0,713	1,836	1,004	0,733
Q_{90}	1,469	1,003	0,823	2,138	1,202	0,891
Q_{85}	1,643	1,129	0,929	2,430	1,402	1,054
Q_{80}	1,779	1,234	1,020	2,730	1,622	1,237
Q_{75}	1,910	1,343	1,118	3,077	1,847	1,417
Q_{70}	2,022	1,430	1,194	3,348	1,945	1,466
Q_{60}	2,293	1,625	1,358	4,265	2,543	1,943
Q_{50}	2,640	1,828	1,510	5,485	3,342	2,583
الانحراف المعياري	0,44	0,32	0,27	1,21	0,77	0,60

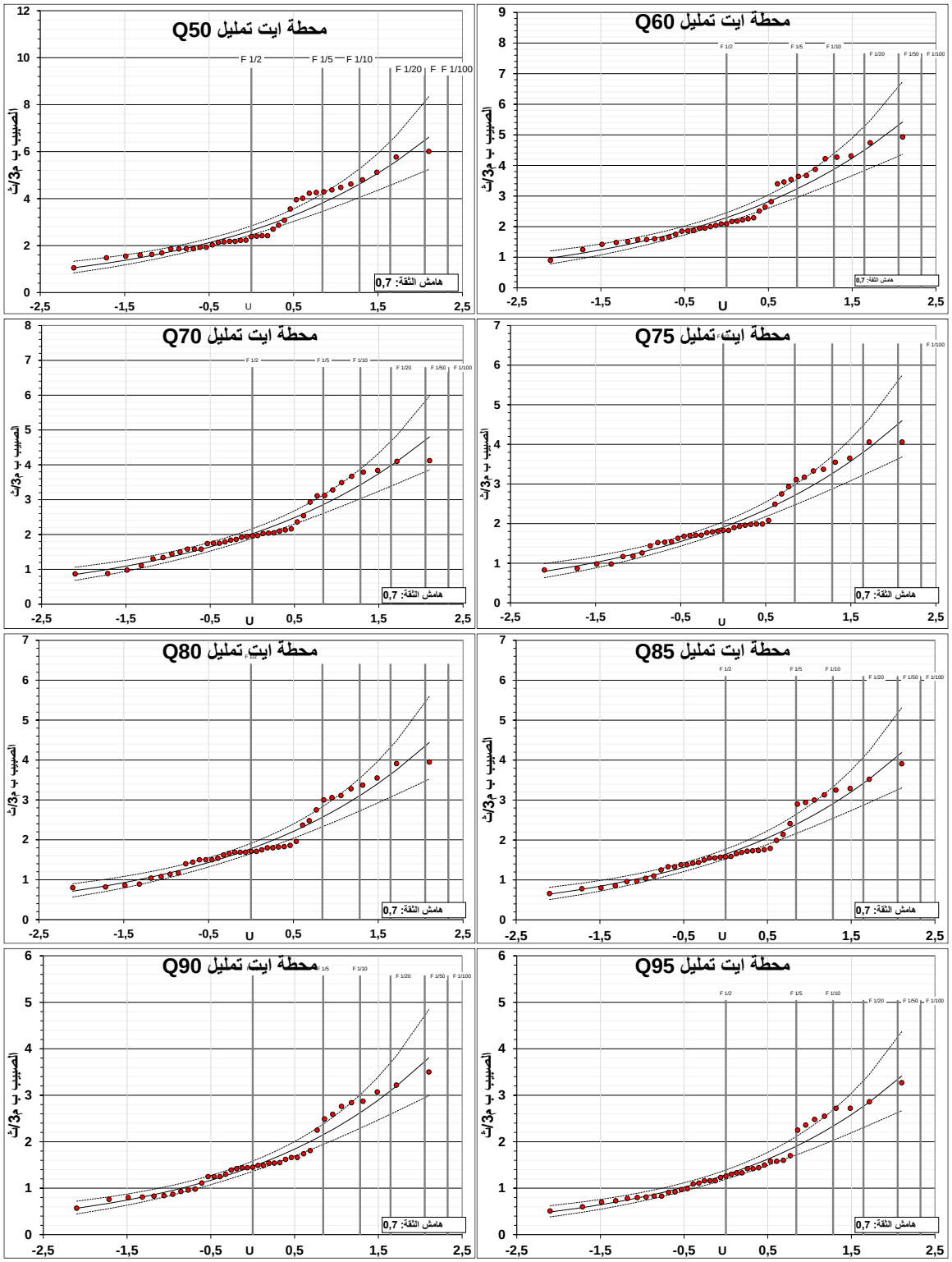
نقاط التجزيء المقدرة لفترات الرجوع 2 و 5 سنوات متقاربة جدا، إلا أنها تتباعد لفترات الرجوع 10 سنوات في اتجاه الجفاف وفقا لتوزيع قانون Ln-Normale، وبالتالي فإن الصبيب المميز للشح المنخفض جدا يتميز بفترات رجوع أكبر، لكن أقل حدة بالنسبة لتلك التي لا تتجاوز خمس سنوات.

وعلى المستوى المجالي فإن الحوض الفرعي لواد أيت تمليل يتميز بقيم صبيب متقاربة جدا بالنسبة للترددات المجاوزة من Q_{50} إلى Q_{95}، وذلك لدور الفرشة المائية في تغذية المجرى المائي التي تعتبر عاملا منظما للجريان خلال فترات الشح المائي.

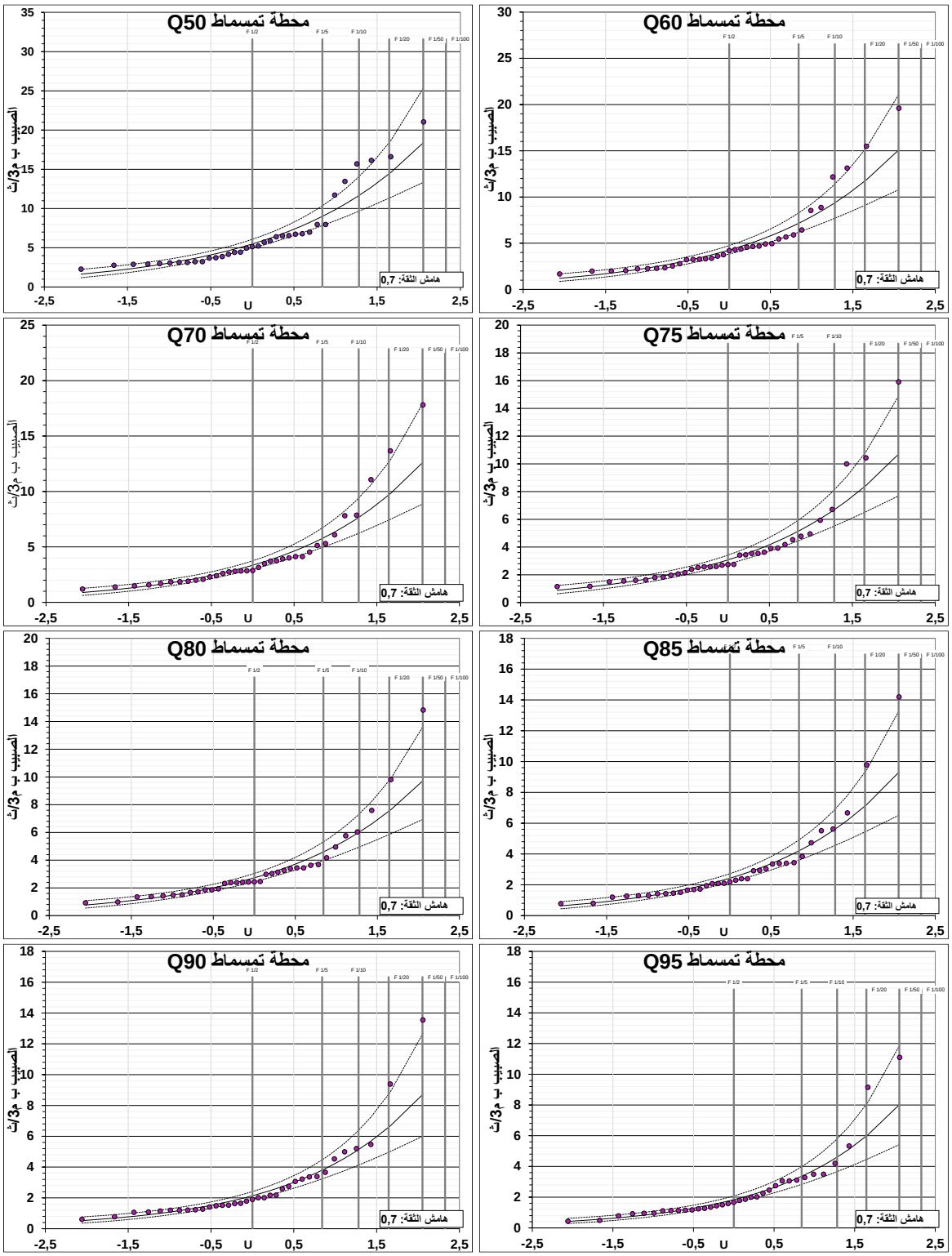
وقد أظهر التعديل الإحصائي (المبيان 96 والمبيان 97) لمتغيرات الصبيب المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي حسب قانون Ln-Normale أن قيم الصبيب الدنيا (الترددات في اتجاه الجفاف) تبقى متقاربة جدا (التردد المتجاوز بين Q_{50} و Q_{95})، حيث أن الانحراف المعياري بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل تراوح بين 0,27 م³/ث بالنسبة للتردد 1/10 و 0,44 م³/ث بالنسبة للتردد 1/2. أما بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) فقد تراوح الانحراف المعياري بين 0,6 م³/ث بالنسبة للتردد 1/10 و 1,21 م³/ث بالنسبة للتردد 1/2.

وترجع هذه التغايرية الضعيفة في الصبيب الأدنى إلى طول فترات غياب التساقطات المطرية، وتباعدها على المستوى الزمني، حيث تبقى الفرشة الباطنية المزود الأساسي للمجرى المائي خلال هذه الفترات.

مبيان 96: التعديل الإحصائي لمتغيرات الصبيب اليومي المصنف السنوي حسب قانون Ln-Normale بمحطة أيت تمليل (1978-2016)



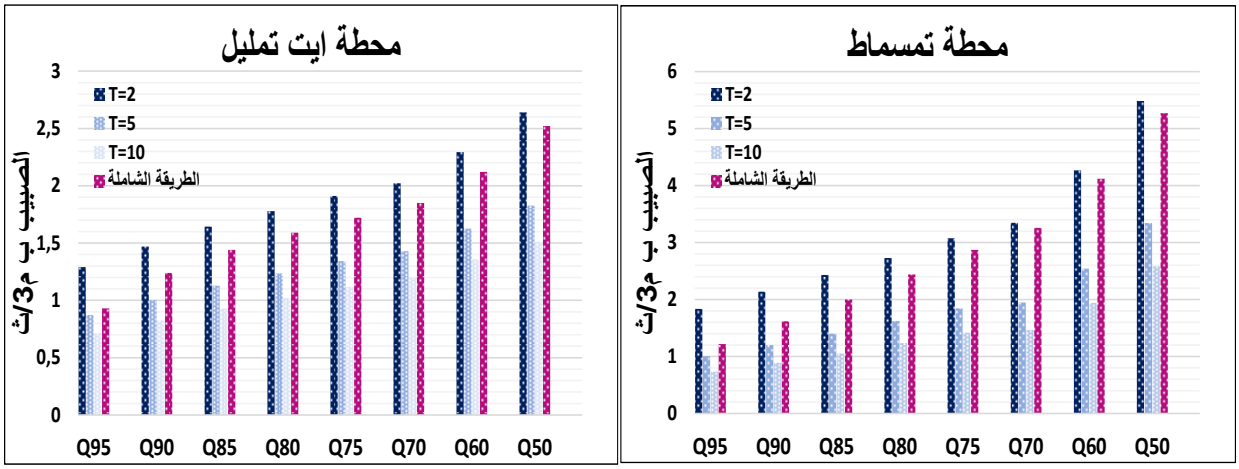
مبيان 97: التعديل الإحصائي لمتغيرات الصبيب اليومي المصنف السنوي حسب قانون Ln-Normale بمحطة تمسماط (1978-2016)



3. مقارنة المتغيرات المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي والشامل

بعد حساب فترات الرجوع في اتجاه السنوات الجافة لمتغيرات الصبيب المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي، واستخراجها باعتماد الطريقة الشاملة، لابد من مقارنة النتائج المحصل عليها، والهدف من ذلك هو اختيار الطريقة الملائمة التي ستُعتمد في استخراج مؤشرات صبيب الشح بمحطتي الدراسة.

مبيان 98: المتغيرات المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي والشامل



تقترب مؤشرات الصبيب المستخرجة باعتماد الطريقة الشاملة من المؤشرات المستخرجة على المستوى السنوي بتردد 1/2، حيث بلغت العلاقة بينهما بحوض الدراسة 88%، وتزداد بالنسبة للترددات المتجاوزة بين Q_{50} و Q_{80} . أما بالنسبة للعلاقة بين المؤشرات المستخرجة باعتماد الطريقة الشاملة والمستخرجة على المستوى السنوي بتردد 1/5، فقد بلغت 126% بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، و149% بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف).

وبالتالي فإن المؤشرات المستخلصة باعتماد الطريقة الشاملة متقاربة إلى حد ما مع المستخرجة على المستوى السنوي بتردد 1/2، مع ارتفاع ملاحظ لهذه الأخيرة خصوصا بالنسبة لقيم الصبيب المنخفضة.

وسيكون لهذا التفاوت بين المؤشرات المحصل عليها باعتماد طريقتي إنشاء منحنى الصبيب اليومي المصنف تأثير على النتائج، خصوصا أننا بصدد دراسة الشح المائي حيث أن مستوياته تكون متقاربة جدا، وبالتالي فإن أي اختلاف بسيط في العتبات المحددة يمكن أن يفرز نتائج بتأويلات مختلفة.

ونظرا لكون **الطريقة الشاملة** هي الأكثر استعمالا ويوصي بها أغلب الباحثين في الدراسات الهيدرولوجية، سيتم اعتمادها في هذه الدراسة من أجل استخلاص خصائص صبيب الشح بحوضي الدراسة.

خلاصـــــة

انطلاقا من الطريقة الشاملة لمنحنى الصبيب اليومي المصنف، يمكن تحديد مستويات صبيب الشح، من خلال عتبات يتم تحديدها بشكل مباشر ومبسط، دون اللجوء إلى التعديل الإحصائي ودراسة الترددات، لكن الإشكال المطروح في تمييز فترات الشح المائي هو تحديد تلك العتبات الملائمة لحدوثه، وعدم الخلط بينها وبين فترات نزول الصبيب، مع الأخذ بعين الاعتبار الخصوصيات المناخية لحوض الدراسة، خصوصا أننا بصدد دراسة أحد الأحواض النهرية الجبلية المتميز بمناخ شبه جاف وبتساقطات مطرية محدودة تغيب لعدة شهور في بعض الفصول والسنوات الجافة.

المحور 16: مقارنة مؤشرات صبيب الشح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

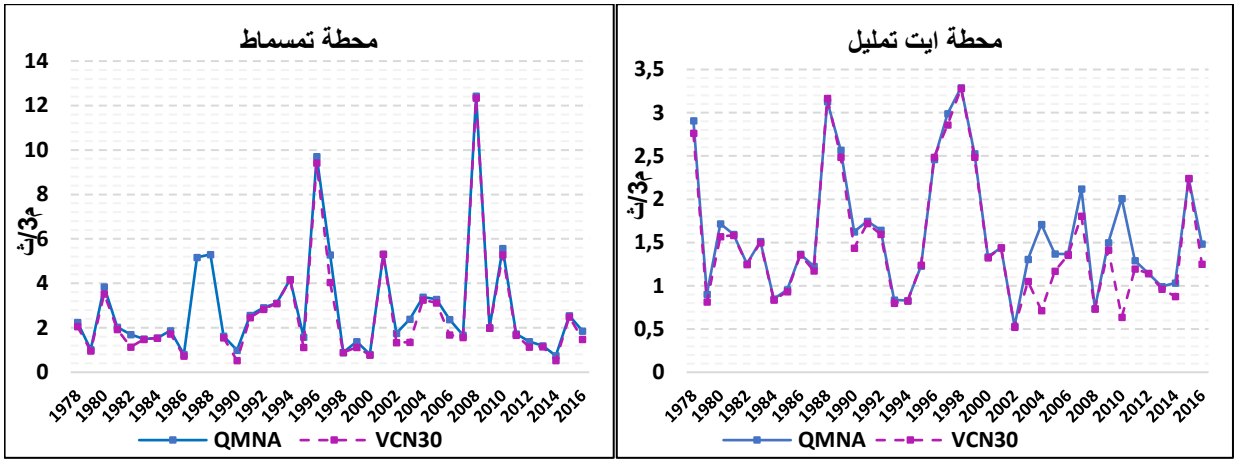
تمت دراسة متغيرات مختلفة لاستخلاص صبيب الشح، بالإضافة إلى التأثيرات التي يمكن أن تحدث على الموارد المائية، حيث تظل متغيراته عبارة عن إحصائيات مستمدة من معطيات الصبيب على المستوى الشهري واليومي، حيث أُعتمد في استخلاص صبيب الشح على المستوى السنوي على متغيرات انطلاقا من معيار زمني ثابت (معدل الصبيب الشهري الأدنى) ومتحرك (معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم). كما نميز من جهة أخرى مؤشرات صبيب الشح الناتجة عن منحنى الصبيب اليومي المصنف، حيث يبقى الهدف الأساسي من هذا المحور هو مقارنة هذه المؤشرات المعتمِدة على معايير مختلفة، وتحديد علاقة الترابط بينها من جهة، وذلك تمهيدا لاختيار المؤشرات الملائمة لاستخلاص فترات الشح المائي في مجال يتميز بندرة التساقطات المطرية من جهة أخرى.

I. مقارنة معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما (VCN30) ومعدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA)

1. تغايرية معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما (VCN30) ومعدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA)

يمكن مقارنة معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) بمعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوم (VCN_{30})، الذي الذي يمثل المعدل المتحرك الأدنى الذي يتم الحصول عليه على مدى 30 يوما متتالية.

مبيان 99: تغيرات معدل الصبيب الشهري الأدنى ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما بمحطتي أيت تمليل وتمسماط



يبرز المبيان 99 مقارنة تغيرات معدل الصبيب الشهري الأدنى ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوم بمحطتي الدراسة في كل سنة خلال السلسلة الإحصائية المدروسة، حيث يتضح أن هناك تطابق شبه تام بين المعدلين في حوضي الدراسة رغم وجود تباين ضئيل في بعض السنوات، ولا يتجاوز الفارق بين المتغيرين 8% خلال المدة المدروسة.

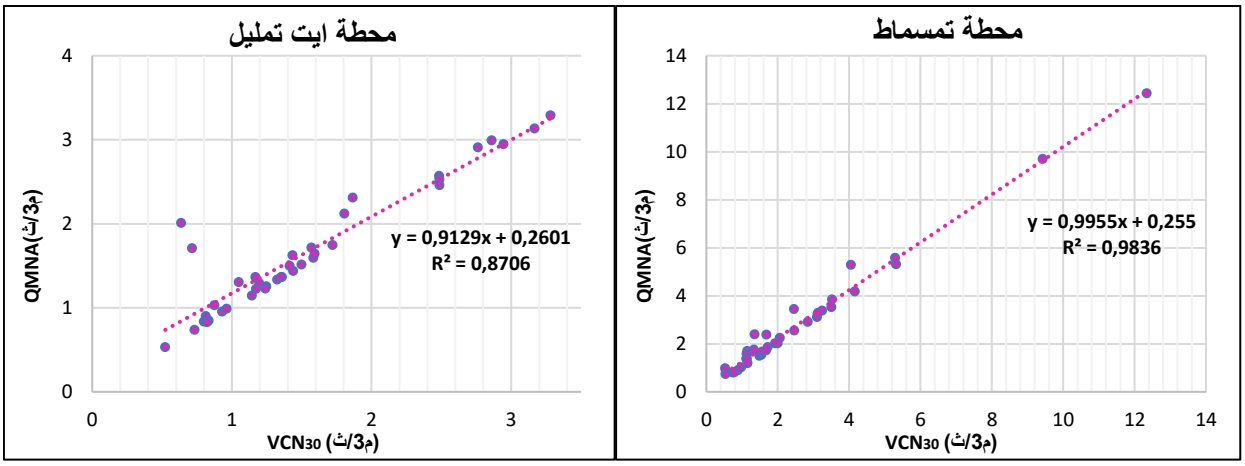
منطقيا فإن معدلات الصبيب الشهري الأدنى أكبر أو تساوي من معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما، وبالتالي فالانحراف المعياري يتراوح بين 0 و 0,97 م^3/ث وبمعدل 0,08 م^3/ث عند محطة أيت تمليل، وبين 0 و 0,87 م^3/ث وبمعدل 0,16 م^3/ث عند محطة تمسماط، حيث سجلت بعض السنوات انحرافا معياريا مهما بحوضي الدراسة، كسنتي 2004 و2010 بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، و1997 و2003 بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف).

2. اختبار معامل الترابط الخطي

ويمكن دراسة العلاقة من جهة أخرى انطلاقا من تحليل هذا التجانس بالاعتماد على طريقة الترابط الخطي للمتغيرين، حيث سيتم الربط بين معدل الصبيب الشهري الأدنى ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما لكل محطة في حوض الدراسة خلال السلسلة الإحصائية، وذلك بهدف إبراز درجة التشابه بين هذين المؤشرين.

ويوضح المبيان 100 نتائج الترابط الخطي بين معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما ومعدلات الصبيب الشهري الأدنى بمحطتي تمسماط وأيت تمليل (1978 - 2016).

مبيان 100: الترابط الخطي بين معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما ومعدلات الصبيب الشهري الأدنى بمحطتي تمسماط وأيت تمليل (1978 - 2016)



تبرز نتائج الترابط الخطي (مبيان 100) اختلافا ضئيلا جدا بين معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما ومعدلات الصبيب الشهري الأدنى، إذ سجل معامل الترابط الخطي نتائج جيدة بلغت 87% بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل و98% بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، حيث يمكن تفسير قوة هذا الترابط بضعف التغايرية في الصبيب بفعل التباعد بين فترات التساقطات المطرية.

وقد أوضحت (Lang, 2007) أن الاختلاف في العلاقة بين معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما (VCN_{30}) ومعدلات الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) يرتبط ارتباطًا وثيقًا بالطبيعة الجيولوجية للركيزة الصخرية. فبالنسبة للأحواض النهرية المتميزة بركيزة ذات نفاذية مهمة، يكون فرق الارتباط منخفضًا، حيث أن المياه الجوفية تشكل عاملا منظما للجريان السطحي على المستوى الزمني. من ناحية أخرى، تولد الأحواض النهرية غير المنفذة تفاعلًا كبيرًا مع التساقطات المطرية، وهو ما يفسر الاختلافات الكبيرة بين المؤشرين.

بشكل عام، وعلى الرغم من الاختلاف الضئيل الذي لوحظ بحوضي الدراسة، تُظهر النتائج أهمية التغذية الباطنية للطبقات الجوفية ومساهمة منسوب مياه الأطلس الكبير الأوسط في ضمان الإمداد المستمر للجريان السطحي لواد تساوت.

3. اختبار التباين (Fisher, 1986) و (Levene, 1960)

تستخدم اختبارات التباين لاختبار الفروق بين متغيرات عينتين أو أكثر، ويشترط لاستخدامه بأن تكون البيانات تتبع التوزيع الطبيعي، ويستخدم في حالة وجود متغير تابع وله متغير مستقل، ولكن بمستويات متعددة. والتباين هو مقياس للتشتت والاختلاف، فالاختبار يقيس التباين داخل كل مجموعة ويقيس التباين بين المجموعات (Joseph, 2009). لمقارنة معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما (VCN_{30}) سنعتمد اختبار التباين (Fisher, 1986) و (Levene, 1960)، وسنعتبر هامش الثقة 95% حول نسبة المتغيرات، ومستوى الدلالة alpha=5%.

نعتبر الفرضيتين التاليتين:

فرضية العدم (H0): يوجد تجانس للتباين بين العينتين QMNA وVCN_{30}.

الفرضية البديلة (H1): لا يوجد تجانس للتباين بين العينتين QMNA وVCN_{30}.

جدول 51: اختبار التباين Fisher و Levene لمتغيرات QMNA و VCN30 بمحطتي أيت تمليل وتمسماط

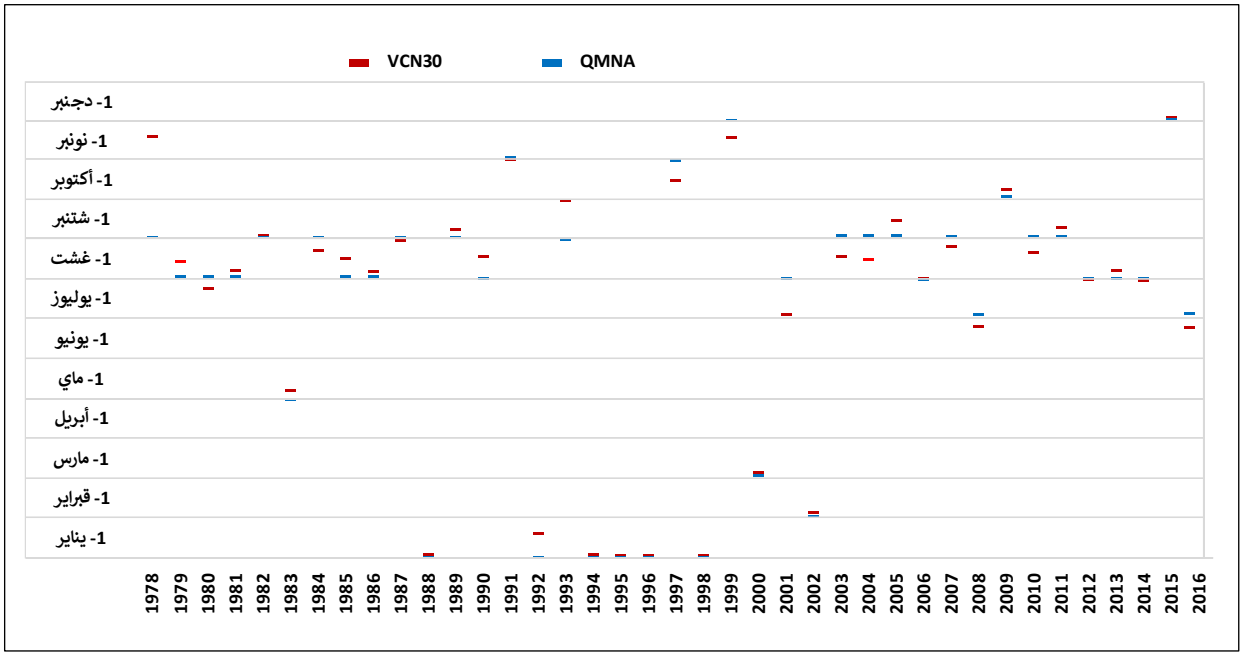
	اختبار Fisher			اختبار Levene		
	Alpha	علاقة التباين	مؤشر التباين	Alpha	علاقة التباين	مؤشر التباين
محطة أيت تمليل	0,05	[0,49 -1,79]	**0,86**	0,05	[0,49 -1,79]	**0,93**
محطة تمسماط	0,05	[0,51 -1,93]	**0,98**	0,05	[0,51 -1,93]	**0,99**

بما أن مؤشر التباين (P-value)، الذي تم الحصول عليه باعتماد الاختبارين (Fisher, 1986) و (Levene, 1960)، ، أكبر من مستويات الدلالة alpha فإننا نقبل فرضية العدم H0 القائلة بوجود تجانس للتباين بين العينتين (QMNA وVCN_{30})، وبالتالي فإن الفروق بين متغيرات العينتين غير دال إحصائيا. وبالتالي، فإن المعدلات المستخلصة لQMNA وVCN_{30} حققت ترابطا جيدا واختلافا طفيفا بينهما.

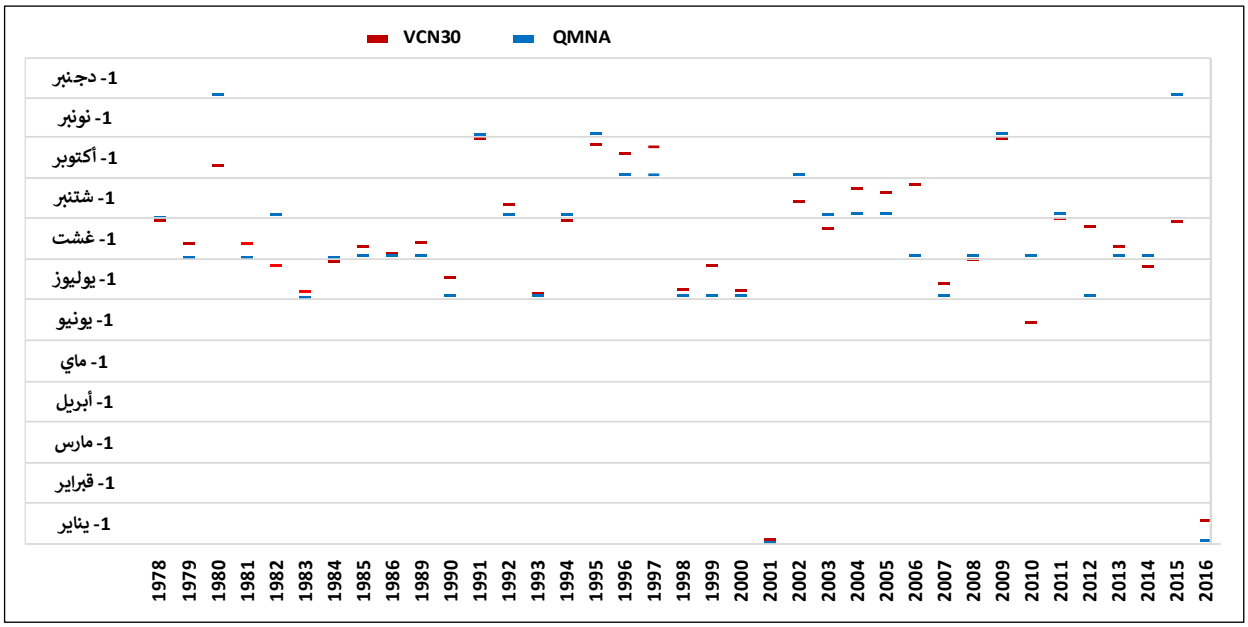
4. التقويم الزمني لمعدل الصبيب الشهري الأدنى ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوم

يوضح المبيان 101 والمبيان 102 التقويم الزمني لحساب معدلات الصبيب الشهري الأدنى ومعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما خلال الفترة الزمنية (1978-2016).

مبيان 101: التقويم الزمني لتاريخ بداية حساب معدلات الصبيب الشهري الأدنى ومعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوم بمحطة أيت تمليل (1978-2016)



مبيان 102: التقويم الزمني لتاريخ بداية حساب معدلات الصبيب الشهري الأدنى ومعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوم بمحطة تمسماط (1978-2016)



يوضح التوزيع الزمني لمعدلات الصبيب الشهري الأدنى ومعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما أن هناك تفاوت في بداية الفترات المستخلصة على المستوى الزمني والمجالي.

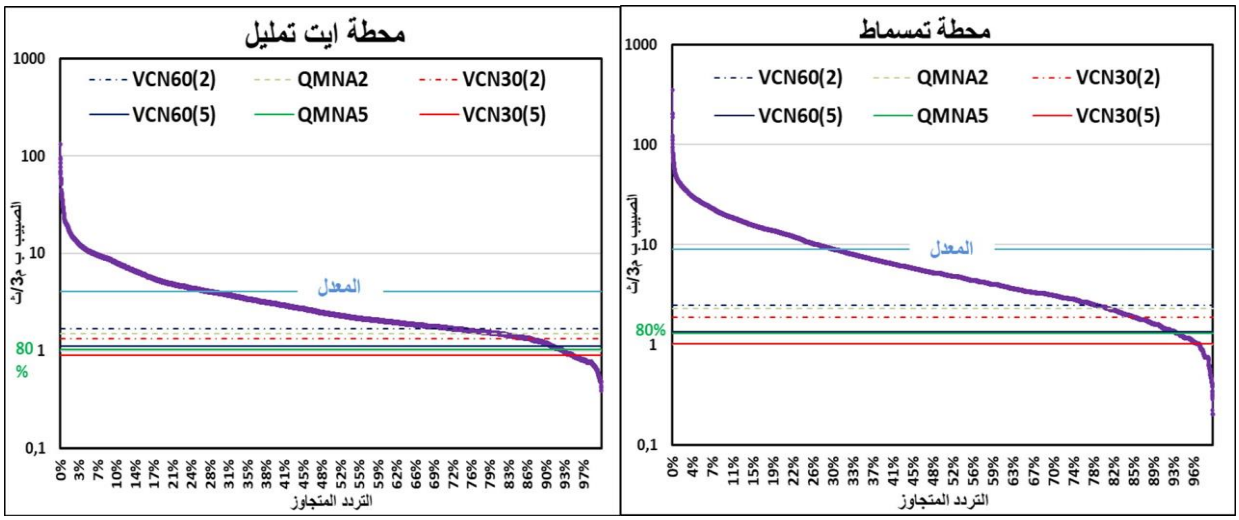
الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: ظهرت أغلب الفترات المستخلصة خلال فترات نزول الصبيب، وبعضها خلال الأشهر الشتوية، ونخص بالذكر الفترة الممتدة بين شهري دجنبر ومارس. ويرجع ذلك إلى نظام التساقطات المطري -الثلجي الذي يميز الحوض الفرعي لواد أيت تمليل. تجدر الإشارة إلى أن 60% من الفترات ترددت خلال شهري غشت وشتنبر. وتراوحت الفترات الفاصلة بين تاريخ بداية حساب معدلات الصبيب الشهري الأدنى ومعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما بين 0 و 78 يوما كحد أقصى، حيث لم تتجاوز أغلب الفترات الفاصلة بين المتغيرين 7 أيام، بعدما بلغ معدل الأيام الفاصلة بين تاريخي البداية 9 أيام.

حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): يتركز ظهور بداية الفترات أساسا في شهر يوليوز وغشت وشتنبر بنسبة بلغت 75%، وقد تراوح عدد الأيام بين تاريخ بداية حساب معدلات الصبيب الشهري الأدنى ومعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما من 1 إلى 92 يوما، كون معدل الأيام الفاصلة بين تاريخي البداية وصل 14 يوما.

II. مقارنة مؤشرات صبيب الشح على المستوى الشهري واليومي بمؤشرات منحنى الصبيب اليومي المصنف

يمثل منحنى الصبيب اليومي المصنف جميع المعدلات اليومية المسجلة خلال السلسلة الإحصائية بشكل تناقصي، لذا فهو يعتبر أرضية ملائمة يتم من خلاله مقارنة مؤشرات صبيب الشح التي يتم استخلاصها بمختلف الطرق الإحصائية. ولتبسيط هذه المقارنة تم الاقتصار على معدلات الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) ومعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 و60 يوما (VCN_{30} و VCN_{60}) لفترات الرجوع الجافة سنتين وخمس سنوات (مبيان 103).

مبيان 103: مؤشرات صبيب الشح مقارنة مع تلك الناتجة عن منحنى الصبيب اليومي المصنف بمحطتي أيت تمليل وتمسماط



يتموضع المعدل البيسنوى للصبيب بالنسبة لحوضي الدراسة بين التردد المتجاوز 29% و 31% من منحنى الصبيب اليومي المصنف، ويختلف الانحراف المعياري بين المعدل البيسنوى والمؤشرات المستخلصة، حيث أنها لم تتجاوز التردد 70%. ويتم تفسير هذا الاختلاف بمؤشر الانحناء، الذي سبق دراسته، إذ أن منحنى الصبيب اليومي المصنف بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل سجل قيمة Ic=1,8 عند محطة أيت تمليل، هذه القيمة المرتفعة تدل على أن عالية الحوض تتميز بعامل منظم (التشكيلات الصخارية ذات النفاذية المهمة) يساهم بشكل كبير في التخفيف من قوة الاستجابة الهيدرولوجية، وفي نفس الوقت تساهم في دعم وتزويد المجرى المائي من المخزون الجوفي في فترات الشح المائي.

اتضح من خلال معدلات الصبيب الشهري الأدنى لفترة الرجوع سنتين ((QMNA(2)) ومعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 و60 يوما لفترة الرجوع سنتين ((VCN30(2) و (VCN60(2)) المستخلصة إحصائيا بالنسبة لمحطتي الدراسة، أنها أقرب من التردد المتجاوز 80% المستخلص من منحنى الصبيب اليومي المصنف، علما أن هذا الأخير أفرز نسبة 82% من السنوات تحت العتبة.

يمكن لفترات الشح المائي، حسب العتبة المختارة التي تعبر عن مستوياته، أن تطال بعض الأشهر الشتوية، وهي في الغالب توافق السنوات الجافة، وبالتالي فإن طريقة اختيار العتبات سمحت بتسجيل فترات الشح المائي في سنوات وغيابها في أخرى، كما أن بعض السنوات تميزت ببروز أكثر من فترة واحدة.

خلاصة

أوضحت مقارنة معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما ومعدلات الصبيب الشهري الأدنى اختلافا ضئيلا، إذ سجل معامل الترابط الخطي نتائج جيدة فاقت 87% بالنسبة لحوضي الدراسة.

كما بينت مقارنة باقي المؤشرات على المستوى الشهري واليومي من جهة ومنحنى الصبيب اليومي المصنف أن أغلب المؤشرات لم تتجاوز التردد 70%.

خاتمة الفصل السابع

إن تحديد مؤشرات صبيب الشح تبقى رهينة بالخصوصيات الطبيعية والمناخية لأحواض الدراسة. وقد تمكنا في مرحلة أولى، من خلال هذا الفصل، من استخلاص هذه المؤشرات باعتماد ثلاث طرق ومقاييس مختلفة. وقد كانت النتائج على الشكل التالي:

معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA): سجل تغايرية قوية من سنة لأخرى، حيث عرفت معدلات الصبيب الشهري الأدنى في بعض السنوات الرطبة قيما فاقت المعدل البيسنوى للسلسلة الإحصائية، كون أغلب القيم المستخلصة خلال الفترة الممتدة ترددت بين شهري يوليوز وشتنبر، إلا أن الحوض الفرعي لواد أيت تمليل عرف تردد بعض الأحداث خلال فترات صعود الصبيب (الأشهر الباردة)، لكون عالية الحوض تتميز بنظام هيدرولوجي مطري ثلجي الذي يُسهم في احتجاز كميات من الماء في حالتها الصلبة خلال فترات من السنة. كما أوضحت دراسة فترات الرجوع لمعدل الصبيب الشهري الأدنى شدة الشح المائي المسجلة بسافلة الحوض مقارنة مع العالية، إذ سجل معدل الصبيب الشهري الأدنى لفترة الرجوع 10 سنوات ($QMNA_{10}$) بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل وحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) على التوالي 1,60 ل/ث/كلم^2 و 0,73 ل/ث/كلم^2.

معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d): أظهر استخلاصه تقارب في المعدلات خصوصا فيما يتعلق بمعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى يوم واحد إلى 30 يوما. وقد بينت دراسة تردد معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) باعتماد طريقة صبيب-مدة-تردد (QdF) أن النظام الهيدرولوجي خلال فترات الشح المائي بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل (عالية الحوض) هو نظام مدعم ($s(d=1) = 0,47$) من خلال تغذية باطنية خصوصا خلال فترات غياب التساقطات المطرية لفترات طويلة.

منحنى الصبيب اليومي المصنف (DC): اختلفت مؤشرات صبيب الشح المستخلصة باعتماد الطريقة السنوية والشاملة لمنحنى الصبيب اليومي المصنف، وقد تم اختيار، بعد مقارنة النتائج، الطريقة الشاملة وذلك لسهولة استخلاص هذه المؤشرات ولأنها الأكثر استعمالا من طرف أغلب الباحثين، حيث يمكن تحديد مستويات صبيب الشح، من خلال عتبات يتم تحديدها بشكل مباشر ومبسط، دون اللجوء إلى التعديل الإحصائي ودراسة الترددات، لكن الإشكال المطروح في تمييز فترات الشح المائي هو تحديد تلك العتبات الملائمة لحدوثه، وعدم الخلط بينها وبين فترات نزول الصبيب، مع الأخذ بعين الاعتبار الخصوصيات المناخية لحوض الدراسة، خصوصا أننا بصدد دراسة أحد الأحواض النهرية الجبلية المتميز بمناخ شبه جاف وبتساقطات مطرية محدودة تغيب لعدة شهور في بعض الفصول والسنوات الجافة.

على مستوى مقارنة مؤشرات صبيب الشح المستخلصة بمقاييس زمنية مختلفة سجلنا اختلافا ضئيلا بين معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما ومعدلات الصبيب الشهري الأدنى، بمعامل ارتباط خطي جيدة فاقت 87% بالنسبة لحوضي الدراسة. كما أوضحت مقارنة باقي المؤشرات على المستوى الشهري واليومي من جهة ومنحنى الصبيب اليومي المصنف من جهة أخرى، أن أغلب المؤشرات لم تتجاوز التردد 70%.

الفصل الثامن: تحديد عتبات ظهور الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

مقدمـــــة الفصل الثامن

إن التمييز بين فترة نزول الصبيب والشح المائي مسألة جد معقدة، وبالتالي، فإن مدته وشدته مرتبطة بشكل أساسي بالنظام الهيدرولوجي للمجرى المائي. ومن خلال المؤشرات الأولية فإن أغلب الفترات تتردد خلال فترة نزول الصبيب ونتحدث في هذه الحالة عن **حدث** الشح المائي، إلا أنه نظرا للظروف المناخية أو نتيجة تدخل بشري أو في بعض حالات الجفاف الهيدرولوجي الحاد، يمكن أن تظهر خلال فترات صعود الصبيب، وبالتالي نكون في هذه الحالة أمام **ظاهرة** الشح المائي. ويتمثل الهدف الأساسي من هذا الفصل في تحديد المؤشرات والعتبات التي تدل عن حدوث الشح المائي بشكل دقيق مع مراعاة السياق المناخي المتميز بندرة التساقطات المطرية وطول فترات غيابها.

ويتضمن هذا الفصل محورين أساسيين، سيتم تقديمهما كما يلي:

المحور 17: دراسة شدة ومدة العجز باعتماد المؤشرات الإحصائية، والهدف من ذلك هو اختبار هذه المؤشرات في استخلاص الفترات التي تعبر فعلا عن فترات الشح المائي.

المحور 18: البحث عن مؤشر بمثابة عتبة لبداية فترة الشح المائي، استنادا إلى طرق إحصائية، والتي توافق الخصوصيات الطبيعية والمناخية لحوضي الدراسة.

الهدف الأساسي من الفصل هو تسليط الضوء على نظام صبيب الشح في منطقة تتميز بمناخ جبلي يتميز بنظام مطري ثلجي خلال الفصل الشتوي وندرة التساقطات خلال الفصل الصيفي، ومشكل من ركيزة صخرية متميزة بقوة النفاذية. كما أن دراسة شدة صبيب باعتماد عدد من مؤشرات صبيب الشح المستخلصة ستمكن من فهم عتبات بدايته، من خلال مجموعة من مؤشرات النظام الهيدرولوجي.

المحور 17: تحديد شدة الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

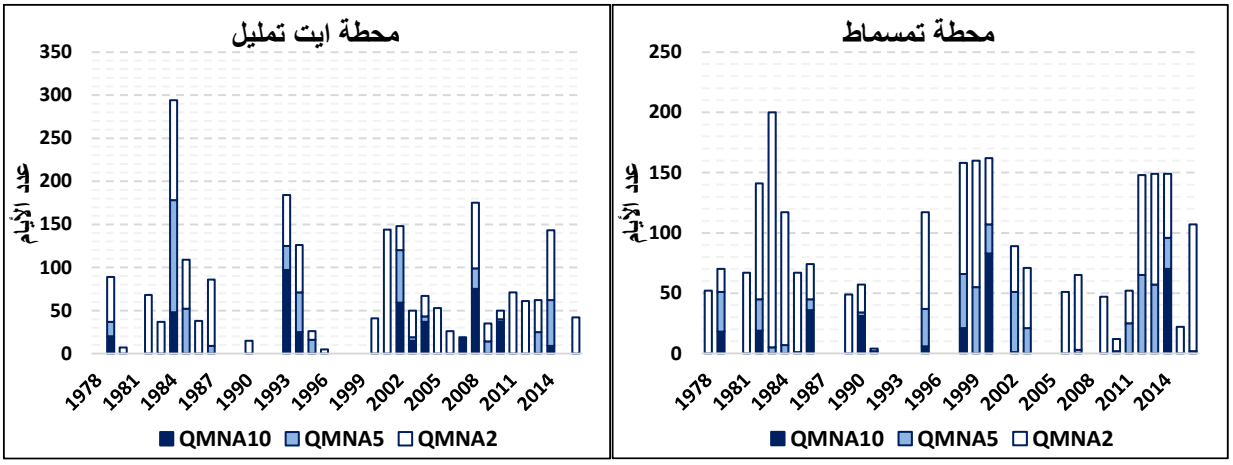
ينتمي حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) إلى السياق المناخي شبه الجاف المتميز بتساقطات مطرية متوسطة إلى ضعيف، وغيابها في أغلب الأحيان لعدة أشهر. يمكن أن تؤثر هذه الظروف المناخية، بالإضافة إلى العوامل البشرية (جلب المياه)، على مستويات الصبيب، وبالتالي، زيادة في تردد الشح المائي للمجاري المائية، لذا سيتم تخصيص هذا المحور لدراسة شدته باعتماد المؤشرات التي تم استخلاصها في الفصل السابع.

I. شدة الشح المائي باعتماد عدد الأيام تحت العتبات

1. عدد الأيام تحت معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/2 و 1/5 و1/10 ($QMNA_{(T)}$)

للتمكن من تحديد مستويات صبيب الشح وحدوثه أو تحليل ظهور هذا الحدث الهيدرولوجي في السلسلة الإحصائية للصبيب، من الضروري اعتماد قيم العتبات لتحديد المستويات التي من خلالها يبدأ الشح المائي. واعتمادا على دراسة تعديل وتردد معدل الصبيب الشهري الأدنى حسب قانون Ln-Normale تم حساب تردد فترات الرجوع، والتي تعتبر مؤشرات للشح المائي. يسمح لنا حساب فترات الرجوع بوضع عتبات على المعدلات اليومية للصبيب خلال السلسلة الإحصائية المدروسة، حيث تم استخلاص عدد الأيام تحت عتبات معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/2 و 1/5 و1/10، بهدف معرفة شدة الشح المائي.

مبيان 104: عدد الأيام تحت العتبات على المستوى السنوي حسب مؤشرات معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/2 و 1/5 و 1/10 بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)

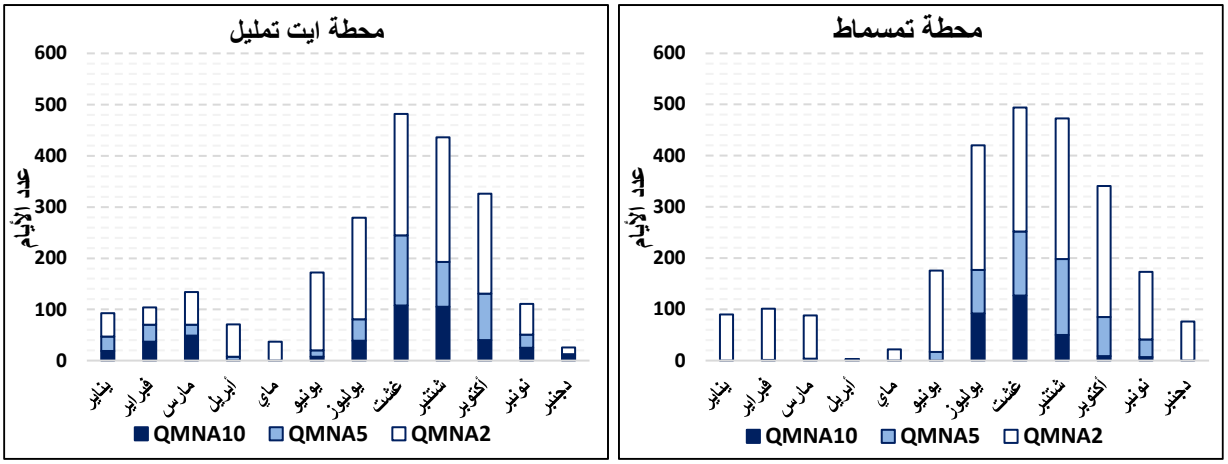


تميزت بعض السنوات بفترات انخفاض مستويات الصبيب ممتدة لعدة أشهر (مبيان 104). وكانت سنتا 1983 و1984 على التوالي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) والحوض الفرعي لواد أيت تمليل أكثر السنوات التي عرفت أطول فترات تحت العتبات المحددة، وهي نفس السنوات المرجعية التي شهدت جفافا هيدرولوجيا مفرطا. ويبدو جليا أن الفترة الممتدة بين 1981 و1986 شهدت عجزا مائيا كبيرا، حيث سجلت السنوات 1993 و2002 و2008، بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل شحا مائيا منخفضا جدا، وهذا ما يوضحه مؤشر معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/10 ($QMNA_{10}$) الذي سجل عدد أيام تراوحت بين 60 و100 يوم تحت العتبة، كما تميزت السنوات بين 2000 و2014، بنفس الحوض، بتوالي فترات شح مائي ذات مدد زمنية متفاوتة. وعرفت سنتا 2000 و2014 بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) كذلك عجزا مائيا مهما تراوحت مدته بين 70 و80 يوما تحت عتبة معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/10 ($QMNA_{10}$).

اختلفت شدة العجز المائي على المستوى الزمني (من سنة لأخرى) وعلى المستوى المجالي (عالية الحوض وسافلته)، وهذا راجع للعوامل المناخية التي تؤثر في النظام الهيدرولوجي، وكذلك الخصوصيات الطبيعية المتباينة بحوض الدارسة.

ولفهم أكثر لخصوصيات الشح المائي، وعلاقته بالنظام الهيدرولوجي بالحوض، سنعمل على استخلاص عدد الأيام تحت عتبة معدل الصبيب الشهري الأدنى بالترددات الجافة على المستوى الشهري، حيث يوضح المبيان 105 النتائج المحصل عليها.

مبيان 105: عدد الأيام تحت العتبات على المستوى الشهري حسب معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/2 و 1/5 و 1/10 بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



يوجد تشابه إلى حد ما في المظهر العام لتغيرات عدد الأيام تحت العتبات على المستوى الشهري بين حوضي الدراسة.

الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: بلغت نسبة عدد الأيام الأقل من عتبة معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/2 و1/5 و1/10 على التوالي 16 % و6,5 % و3 % من مجموع الأيام خلال السلسلة المدروسة. يرتكز تردد ظهور أيام العجز بشكل واضح خلال الفترة الممتدة بين شهري يونيو ونونبر، إلا أن عالية الحوض (حوض أيت تمليل) سجلت خلال الأشهر الشتوية (يناير، فبراير، مارس) عجزا أكثر حدة من سافلة الحوض، حيث يظهر ذلك انطلاقا من عدد الأيام التي عرف فيها الصبيب قيما أقل من معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/5 و1/10، وهذا راجع إلى الظروف المناخية التي تتميز بها العالية المتميزة بتساقطات ثلجية أكثر حدة.

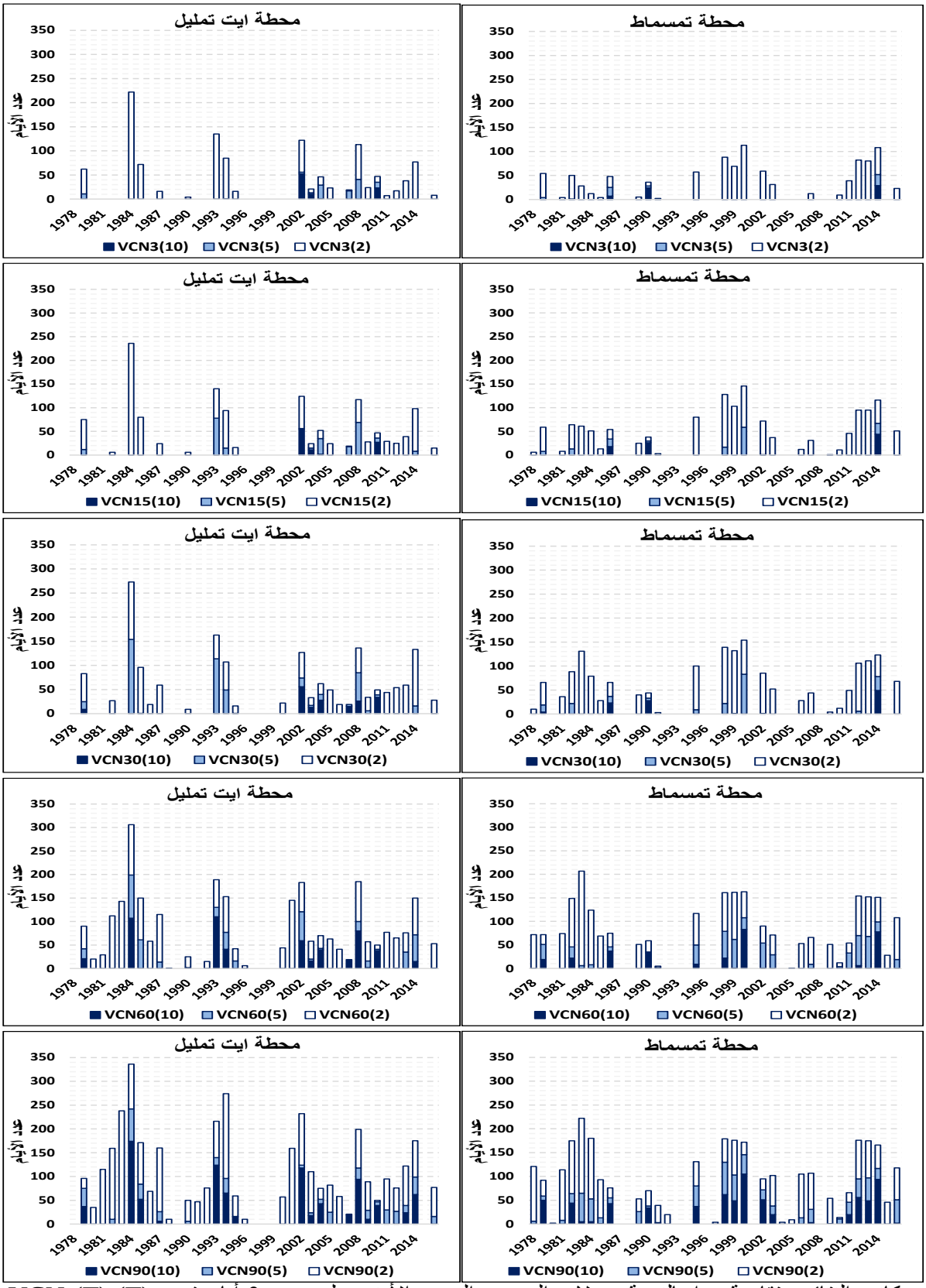
حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): بلغت نسبة عدد الأيام الأقل من معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/2 و1/5 و1/10 على التوالي 18 % و6 % و2 % من مجموع الأيام خلال السلسلة المدروسة. تتوافق وتيرة تردد ظهور عدد الأيام تحت العتبة بهذا الحوض خلال الفترة الممتدة من شهر من يونيو إلى نونبر مع تلك المسجلة بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، حيث سجل شهر غشت أكثر عدد الأيام ترددا، إذ يصل الصبيب إلى مستوياته الدنيا خلال شهور يوليوز وغشت وشتنبر، ويتبين ذلك من خلال عدد الأيام التي سجلت صبيب أقل من العتبة معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/10 التي تراوحت بين 50 يوما و120 يوما خلال السلسلة الإحصائية المدروسة.

وسجلت بعض الأشهر الشتوية (يناير، فبراير، مارس) صبيب أقل من المعدل الشهري الأدنى بتردد 1/2، ويُفسر ذلك بفترة التساقطات الثلجية التي تحتجز كميات مهمة من الماء، تبدأ في الذوبان خلال شهري أبريل وماي.

2. عدد الأيام تحت معدلات الصبيب اليومي الأدنى بتردد (T) $VCN_d(T)$

نتحدث عن فترات العجز عندما يكون الصبيب أقل من قيمة العتبة الثابتة المحددة للمجرى المائي، وقد اعتمدنا في البحث عن هذه العتبات على المتغير الزمني لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم (VCN_d) على المستوى اليومي. وسنقتصر في استخلاص عدد الأيام تحت هذه المعدلات بتردد (T) بحيث أن المدة d تكافئ 3 و15 و30 و60 و90 يوما لفترات الرجوع T الموافقة ل 2 و5 و10 سنوات باعتماد قانون Ln-Normale، وذلك بغاية تحديد شدة الشح المائي حسب المدة. ويرصد المبيان 106 عدد أيام تحت معدلات الصبيب اليومي الأدنى بتردد (T) $VCN_d(T)$ بحوضي الدراسة خلال السلسلة الإحصائية (1978-2016)، حيث يمكن التعرف بسهولة على فترات العجز التي حدثت خلال سنوات السلسلة الإحصائية.

مبيان 106: عدد الأيام تحت العتبات حسب معدل الصبيب اليومي الأدنى بتردد (T) VCNd(T) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



كانت النتائج متقاربة جدا بالنسبة معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 3 أيام بتردد (T) $VCN_3(T)$ ومعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 15 يوما بتردد (T) $VCN_{15}(T)$، وسجلت سنة 1984 أكثر عدد أيام تحت العتبة بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، كما عرفت سنة 2002 عجزا مائيا أكثر حدة. أما بالنسبة لحوض واد

تساوت (عالية سد م يوسف)، فقد كانت شدة العجز أقل وطأة، وذلك ما يوضحه عدد الأيام وقيم الصبيب المسجلة مقارنة مع الحوض الفرعي لواد أيت تمليل. عند رفع العتبة إلى معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوم بتردد (T) (VCN_{30}(T) برزت الفترة ما بين 1981 و1986 بشكل واضح، حيث أن عدد الأيام سجلت قيم صبيب تحت العتبة المذكورة، ونخص بالذكر سنة 1983 بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) وسنة 1984 بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل اللتين تميزتا بجفاف هيدرولوجي حاد، حيث بلغت نسبة السنوات ذات الصبيب تحت معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى و60 و 90 يوما بتردد T (VCN_{60}(T)) و(VCN_{90}(T)) أكثر من 80% من السلسلة الإحصائية، وقد ارتفع عدد الأيام تحت العتبة بدرجة كبيرة في بعض السنوات، وظهرت أخرى بالرغم من أنها تميزت بكونها سنوات رطبة.

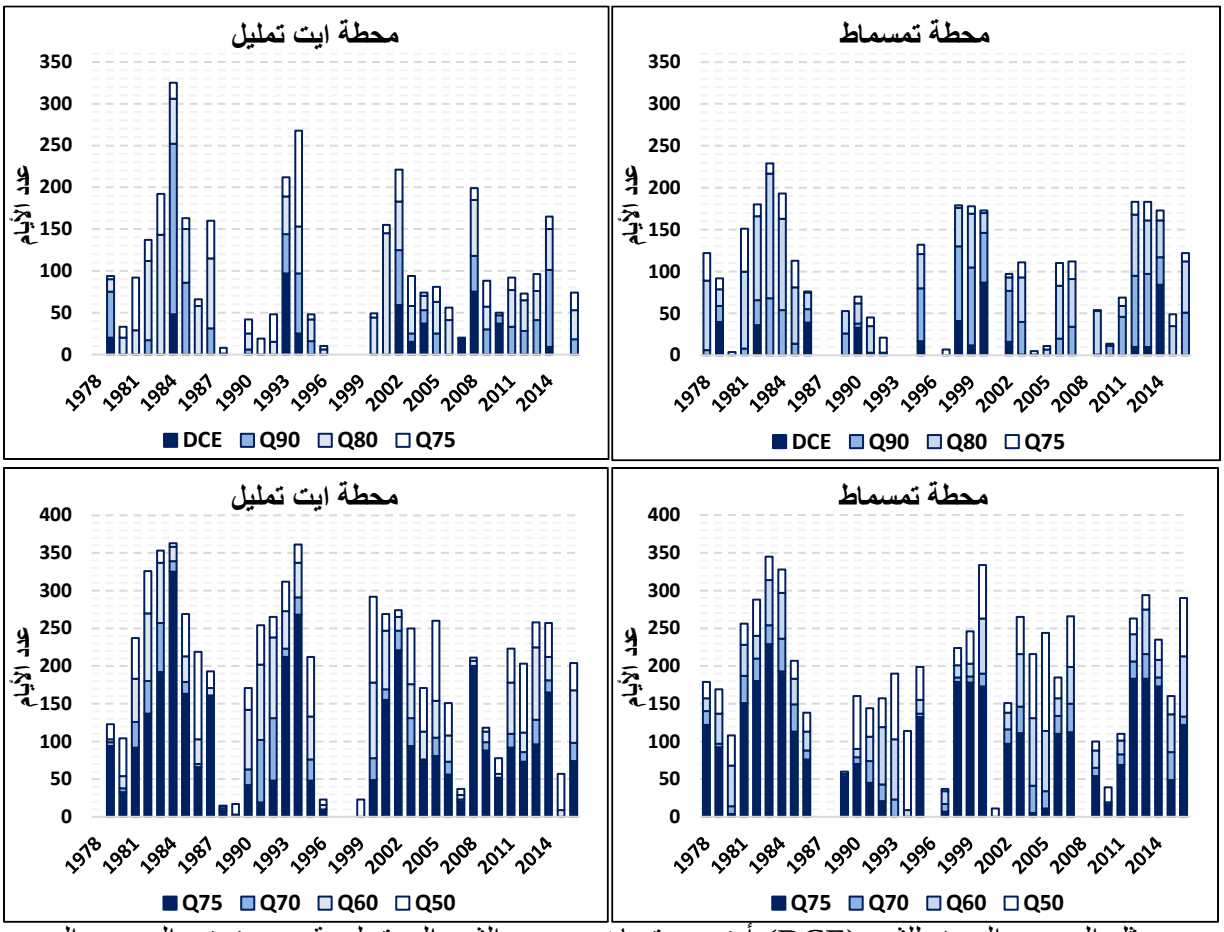
نستنتج أن الحوض الفرعي لواد أيت تمليل (عالية الحوض) يعرف عجز أكبر في الصبيب، مقارنة مع حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، وذلك ما يوضحه الانخفاض المتواتر لمستويات الصبيب. وتجدر الإشارة إلى أنه نظرا لكون الصبيب النوعي البيسنوي لعالية الحوض مرتفع يمكن أن تصبح النسبة منخفضة جدا، حيث يتكرر انخفاض الصبيب إلى ما دون العتبة خلال فترة التساقطات الثلجية التي تحتجز كميات من المياه.

3. عدد الأيام تحت العتبات المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف (1978-2016)

يسمح منحنى الصبيب اليومي المصنف بتحديد هذه العتبات بشكل مباشر من المعدلات اليومية للصبيب خلال السلسلة الإحصائية، دون اعتماد دراسة تحليل الترددات أو فترات الرجوع (Brahmer et *al*, 2018). وتبقى المرحلة الأساسية هي تحديد شدة الشح المائي على المستوى الزمني والمجالي بحوضي الدراسة.

تمثل النتائج (مبيان 107) مجموع عدد الأيام في كل سنة حسب العتبات المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف، ويبدو أن بعض السنوات تميزت بمستويات صبيب تحت العتبات ممتدة لعدة أشهر. عرفت سنة 1984 بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل أطول الفترات، حيث بلغ مجموع أيام هذه الفترات 339 يوما حسب عتبة الصبيب المميز Q_{75}، كما تميزت السنوات بين 2000 و2014 بتوالي فترات الشح المائي ذات مدد زمنية متفاوتة. أما بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) عرفت السنوات بين 1978 و1986 عجزا مائيا ممتدا على المستوى الزمني، بلغت أقصاها 266 يوما سنة 1983 حسب الصبيب المميز Q_{75}. وبالتالي، فإن بداية الثمانينيات تبقى السنوات الأكثر تأثرا بالجفاف الهيدرولوجي الناتج عن الجفاف المناخي المتمثل في قلة التساقطات المطرية.

مبيان 107: عدد الأيام حسب العتبات المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف (1978-2016)



يمثل الصبيب المميز للشح (DCE) أدنى مستويات صبيب الشح المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف. وقد تكررت خلال 11 سنة بمحطة أيت تمليل بنسبة مئوية بلغت 29 % فقط من سنوات السلسلة الإحصائية، وتميزت بفترات طويلة خلال السنوات 1993 و2002 و2008. أما بالنسبة لمحطة تمسماط، فقد تكررت 12 مرة بنسبة مئوية لم تتجاوز 36 % خلال السلسلة المدروسة، وعرفت أطول الفترات خلال السنوات 1998 و2000 و2014، وعند رفع العتبة إلى الصبيب اليومي المصنف بنسبة 90% (Q_{90}) تجاوزت نسبة سنوات الشح المائي 72% بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) و 56% بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل. أما فيما يتعلق بباقي عتبات الصبيب اليومي المصنف من 80% إلى 50% فقد تجاوزت نسبة السنوات 80% من العينة الإحصائية للصبيب، حيث أن وتيرة الزيادة أقل حدة، إذ أن معدل الأيام تحت العتبات متقارب جدا بالنسبة لحوضي الدراسة، إلا أنها سجلت معدلات فاقت 100 يوم بالنسبة للصبيب اليومي المصنف بنسبة 70% (Q_{70})، وتجاوزت 180 يوما بالنسبة للصبيب اليومي المصنف بنسبة 50% (Q_{50}).

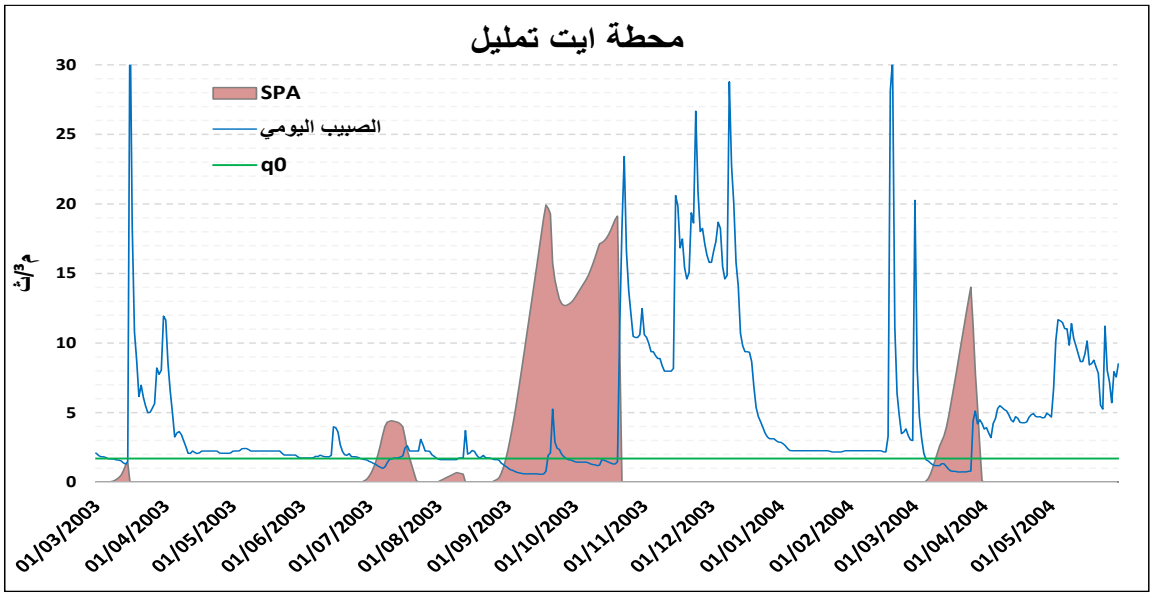
جدول 52: عدد سنوات الشح المائي حسب مؤشرات منحنى الصبيب اليومي المصنف بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)

		DCE	Q_{90}	Q_{80}	Q_{75}	Q_{70}	Q_{60}	Q_{50}
محطة تمسماط	عدد السنوات	12	26	30	32	33	34	35
	النسبة (%)	36,1	72,2	83,3	88,8	91,6	94,4	97,2
	معدل الأيام	11	39	78	89	107	143	181
محطة أيت تمليل	عدد السنوات	11	22	32	33	33	35	36
	النسبة (%)	28,2	56,4	82,1	84,6	84,6	90,0	92,3
	معدل الأيام	11	36	71	90	108	146	183

II. العجز المائي باعتماد الخوارزمية SPA

تم اقتراح خوارزمية الذروات المتتالية (Sequent Peak Algorithm SPA) من طرف (Tallaksen et al, 2004)، والتي طُورت في البداية لتحديد حجم الخزانات المائية، ولكن طُبقت أيضا لتحديد كمية العجز المائي لسلسلة من الصبيب اليومي انطلاقا من عتيات الشح المائي (التي سنشير إليها هنا ب q_0).

مبيان 108: مثال لخوارزمية الذروات المتتالية SPA على سلسلة الصبيب اليومي لمحطة أيت تمليل (2003-2004)



وإذا اعتبرنا أن q_t هو الصبيب اليومي و q_0 هي العتبة المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف، فإن تحديد كمية العجز المائي باعتماد طريقة خوارزمية الذروات المتتالية (SPA) ستتم حسب الصيغة (8.1):

$$S_t = \begin{cases} S_{t-1} + q_0 - q_t & \text{موجب} \\ 0 & \text{سالب} \end{cases} \quad , \qquad 8.1$$

إذا كانت المتتالية S_t موجبة $\{S_t, i = \tau_0, \ldots, \tau_e\}$ فإنها تعبر عن فترة يكون فيها الصبيب اليومي أدنى من العتبة q_0 التي تم تحديدها، وتسمى فترة العجز ويكون المنحنى في هذه الحالة في تصاعد تبعا لمتتالية القيم التراكمية. عندما تفوق قيم الصبيب اليومي العتبة q_0 يبدأ منحنى خوارزمية الذروات المتتالية (SPA) في النزول إلى أن يصل 0، حيث يُظهر المبيان 108 مثال لتطبيق الخوارزمية (SPA) على السلسلة الإحصائية لمحطة أيت تمليل.

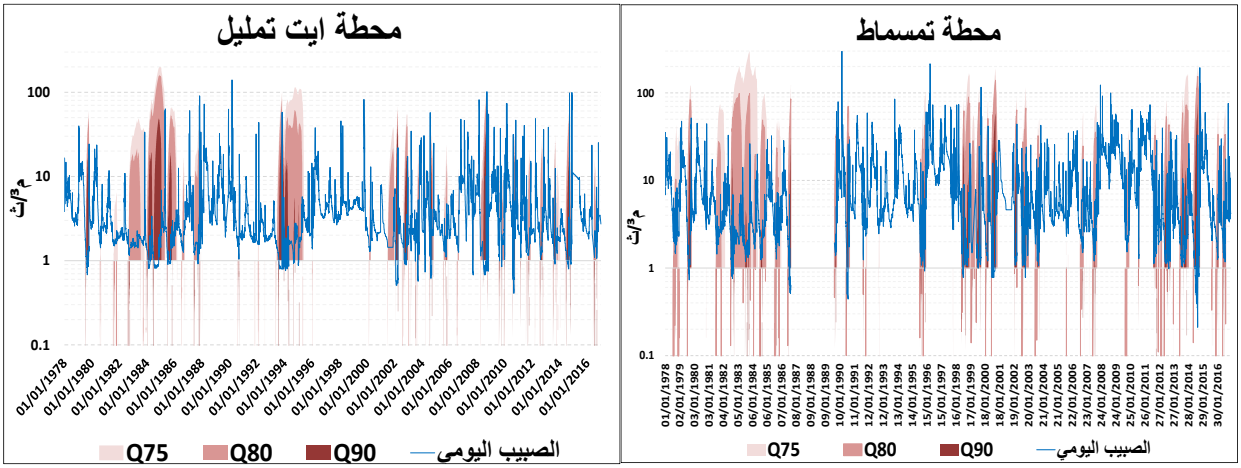
1. مؤشرات صبيب الشح كعتبات لاستخلاص فترات العجز المائي

سنعتبر في هذه المرحلة مؤشرات صبيب الشح كعتبات q_0 لاستخلاص فترات العجز المائي باعتماد طريقة خوارزمية الذروات المتتالية (SPA). عند تطبيق هذه الطريقة تم الحصول على النتائج التالية.

- **العجز المائي حسب مؤشرات منحنى الصبيب اليومي المصنف**

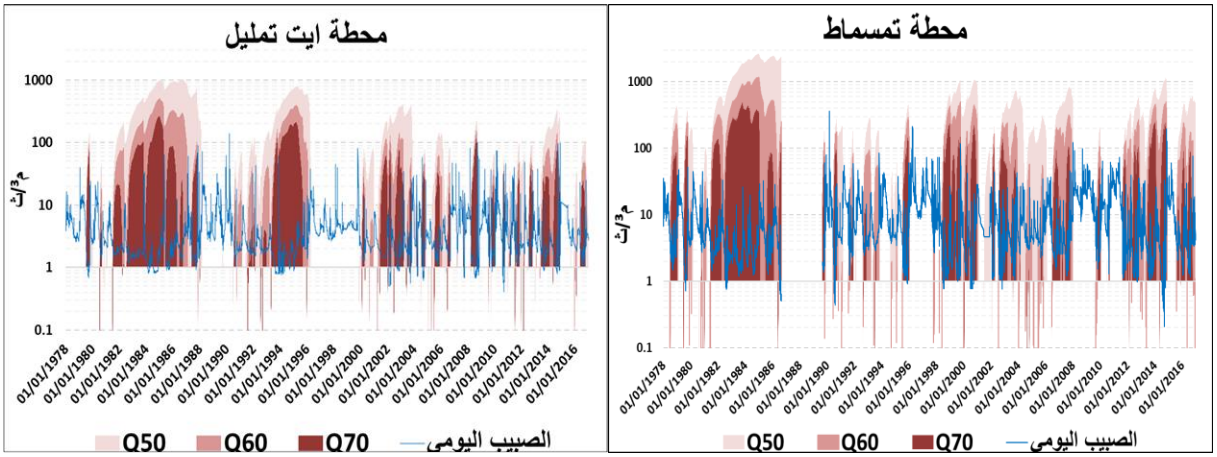
يوضح المبيان 109 والمبيان 110 تطبيق طريقة خوارزمية الذروات المتتالية (SPA). حيث تتوافق الفترات التي تكون فيها السلسلة المصفاة صفرًا مع فترات الصبيب المدعم. وعلى العكس من ذلك، تتوافق أحداث الشح المائي مع القيم الإيجابية لخوارزمية الذروات المتتالية. تتمثل الميزة الأساسية لهذه الطريقة في أنها تعكس شدة العجز المائي على التمثيل المبياني، حيث أن أعلى القيم تقابل فترة الشح المائي الأكثر شدة.

مبيان 109: العجز المائي التراكمي باعتماد طريقة خوارزمية الذروات المتتالية SPA حسب عتبات منحنى الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75 و80 و90%.



اقترحنا، في مرحلة أولى، عتبات q_0 مستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75 و80 و90% ثم في مرحلة ثانية عتبات أعلى بنسبة 50 و60 و70% . على مستوى النتائج تبين أن العتبتين Q90 و Q80 أفرزتا فترات عجز ذات الامتداد الزمني القصير إلى المتوسط، والتي سجلت مستويات صبيب منخفض جدا، وقد اقتصرت على بعض السنوات التي عرفت جفافا حادا بحوضي الدراسة، وبالتالي، فهي تعبر عن فترات عجز حادة. عند رفع العتبات إلى الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% تم بروز فترات عجز مائي ذات مدد أطول، أهمها سنوت 1983 و1984 و1985 بحوضي الدراسة، وهي نفس الفترة التي عرفت جفافا مناخيا وهيدرولوجيا حادا.

مبيان 110: العجز المائي التراكمي باعتماد طريقة خوارزمية الذروات المتتالية SPA حسب عتبات منحنى الصبيب اليومي المصنف بنسبة 50 و60 و70%.



أفرزت طريقة خوارزمية الذروات المتتالية (SPA)، عند رفع عتبات منحنى الصبيب اليومي المصنف إلى نسبة 50 و60 و70% من الصبيب المتجاوز، فترات عجز ممتدة لعدة سنوات، أبرزها الفترة الممتدة على مدى سبع سنوات (1982-1988) بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، كما شهدت الفترة الممتدة بين 1999 و2016 بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) فترات عجز مائي متتالية (حسب العتبات المختارة) باستثناء سنوات 2009 و2010 و2011. هذا الاختيار وضعنا أمام إشكالية دراسة فترات يمكن ألا تعبر فعلا عن الشح المائي، وبالتالي فإن اختيار عتبات أعلى أفرز مدد فترات عجز لعدة سنوات، والتي يمكن أن تدخل ضمن أحداث الجفاف الهيدرولوجي حسب التصنيف الذي اقترحه (Dracup et al, 1980).

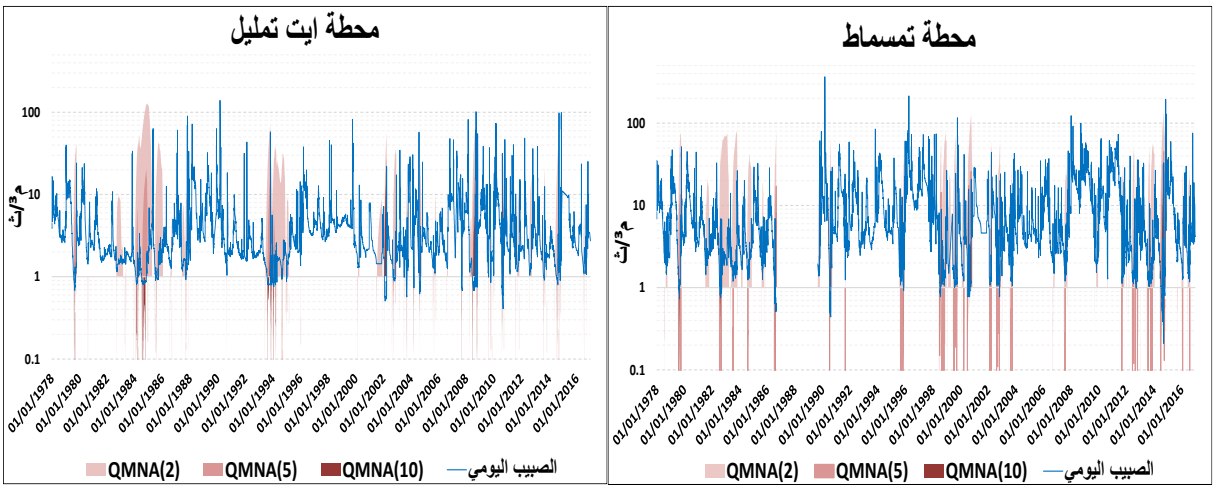
وقد عبرت العتبات المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف عن شدة الشح المائي بالسلسلة الإحصائية المدروسة، إذ يمكن أن تنذر العتبات المرتفعة بفترات شح مائي غير حادة غير أن امتدادها على المستوى الزمني

يمكن أن يكون له وقع على وفرة الموارد المائية. والعكس صحيح بالنسبة للعتبات المنخفضة، يمكن للصبيب أن يصل إلى مستويات دنيا ينتج عنه شح مائي حاد غير أن امتداده الزمني محدود، مما يكون له وقع أقل حدة.

- **العجز المائي حسب معدلات الصبيب الشهري الأدنى لفترات الرجوع T ((QMNA(T)**

تم إدراج معدلات الصبيب الشهري الأدنى لفترات الرجوع 2 و5 و10 سنوات ((QMNA(2) و QMNA(5) و QMNA(10)) كعتبات q_0 لاستخلاص فترات العجز باعتماد طريقة خوارزمية الذروات المتتالية (SPA)، وقد حصلنا على النتائج التالية (مبيان 111):

مبيان 111: العجز المائي التراكمي باعتماد طريقة خوارزمية الذروات المتتالية (SPA) حسب معدلات الصبيب الشهري الأدنى لفترات الرجوع 2 و 5 و10 سنوات ((QMNA (2) و QMNA(5) و QMNA(10))



أفرز تطبيق طريقة معدلات الصبيب الشهري الأدنى للترددات 2 و 5 و10 سنوات على السلسلة المصفاة لخوارزمية الذروات المتتالية SPA فترات ذات الامتدادات القصيرة إلى المتوسطة.

الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: عرفت هذه المحطة بعض الفترات الطويلة من العجز المائي بالنسبة لمعدل الصبيب الشهري الأدنى لفترات الرجوع سنتين ((QMNA(2))، خصوصا سنوات 1984 و 1985 و 1994، علما أن سنة 1984 كانت سنة مرجعية في الجفاف بالنسبة لهذه المحطة. وقد بلغت نسبة أيام العجز المائي خلال السلسلة المدروسة بالنسبة لمعدل الصبيب الشهري الأدنى لفترات الرجوع 2 و 5 و10 سنوات على التوالي 24% و 8% و4% .

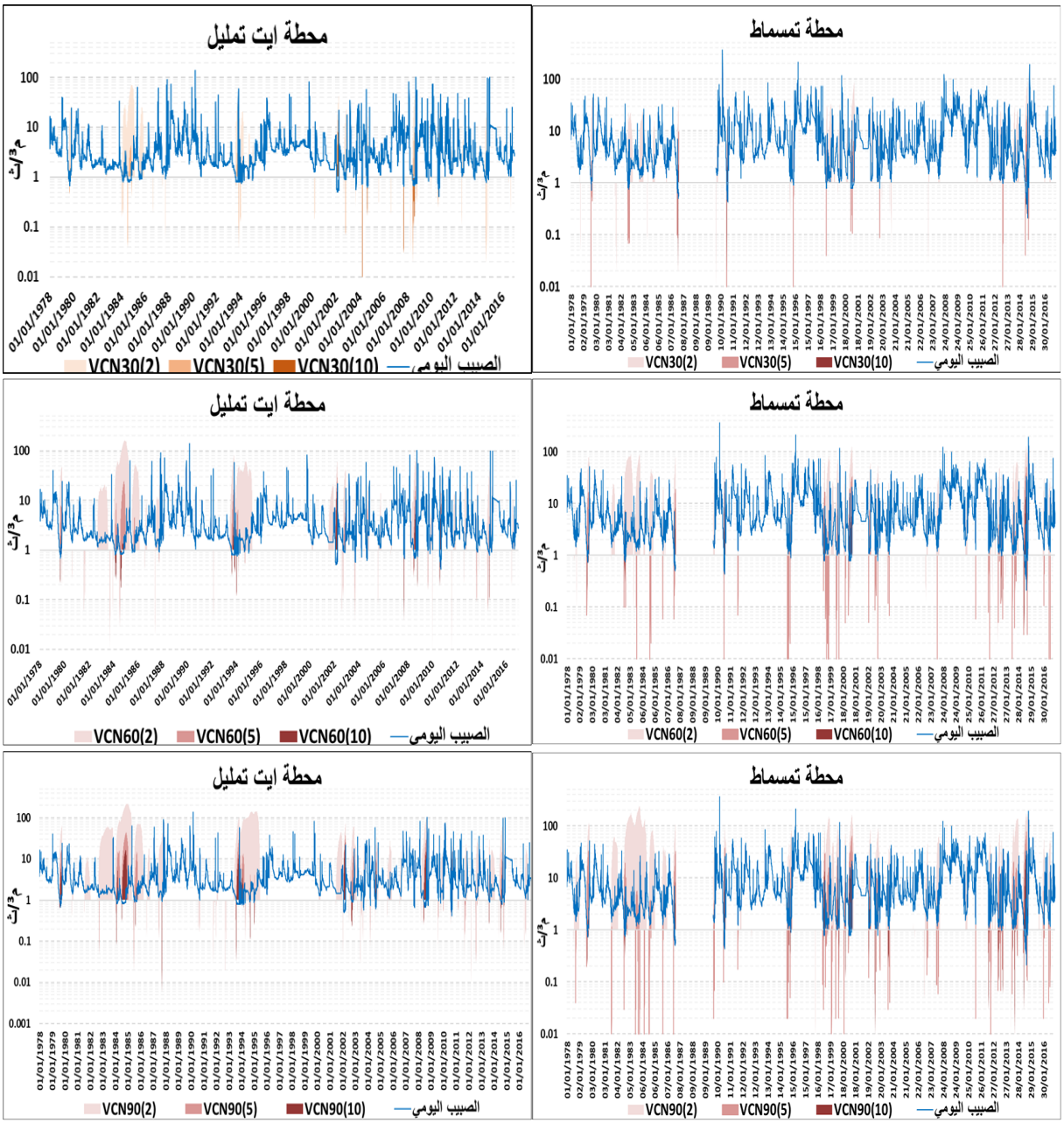
حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): تميزت هذه المحطة بفترات عجز مائي قصيرة في معظمها، عرفت أقصاها سنة 1983 (سنة مرجعية بالنسبة لهذه المحطة) وكذا سنتي 1999 و 2000، حيث بلغت نسبة أيام العجز المائي خلال السلسلة المدروسة بالنسبة لمعدل الصبيب الشهري الأدنى لفترات الرجوع 2 و 5 و10 سنوات على التوالي 22% و 6% و2% .

على العموم، فإن العتبات المقترحة حسب معدل الصبيب الشهري الأدنى لفترات الرجوع 2 و 5 و10 أفرزت فترات عجز مائي متباعدة خلال السلسلة الإحصائية المدروسة، كما أن بعض السنوات لم تسجل أي فترة عجز بحوضي الدراسة.

- **العجز المائي حسب المؤشرات معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN_d) لفترات الرجوع 2 و 5 و 10 سنوات**

اعتمدنا في هذه المرحلة على معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 و60 و90 يوما لفترات الرجوع 2 و5 و 10 سنوات كعتبات q_0 لاستخلاص فترات العجز باعتماد طريقة خوارزمية الذروات المتتالية (SPA)، وقد حصلنا على النتائج أسفله (مبيان 112):

مبيان 112: العجز المائي التراكمي باعتماد طريقة خوارزمية الذروات المتتالية (SPA) حسب معدل الصبيب اليومي الأدنى لفترات الرجوع 2 و5 و10 سنوات.



سجل تطبيق معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما (VCN_{30}) لفترات الرجوع 2 و5 و10 سنوات فترات عجز ذات مدد قصيرة ومتباعدة في الزمان، والتي تتركز أساسا في بعض السنوات التي تميزت بجفاف هيدرولوجي حاد (سنة 1984 بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل)، فضلا أن نسبة أيام العجز لم تتعد 15% بالنسبة لحوضي الدراسة.

بالنسبة لمعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 60 يوما (VCN_{60}) لفترات الرجوع 2 و5 و10 سنوات فقد سُجلت فترات عجز ذات مدد طويلة وأكثر شدة بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، وبرزت بشكل مهم خلال الفترة الممتدة بين 1983 و1986 وكذا سنتي 1994 و1995. أما بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، فقد عرفت فترات عجز قصيرة وأقل حدة. على العموم، فإن نسبة أيام العجز بلغت 23% تساوت (عالية سد م يوسف) و 28% بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل بالنسبة لفترات الرجوع سنتين.

برزت فترات العجز أكثر حدة وذات مدد أطول عند رفع العتبة خصوصا VCN_{90} لفترات الرجوع سنتين، والتي سجلت نسبة أيام العجز بلغت 30% تساوت (عالية سد م يوسف) و 36% بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل.

2. موسمية فترات العجز المائي

يتوافق انخفاض مستويات المياه مع حدث طبيعي يمكن وصفه بأنه متطرفة وينجم عمومًا عن نقص لفترة ممتدة في التساقطات المطرية. وهكذا يبدو أن الشح المائي مرتبطة بـ "عتبة" لا يمكن اعتبارها مطلقة، ولكنها قد تختلف وفقًا للسياق الجغرافي والخصوصيات الطبيعية للحوض النهري(Giuntoli et *al*, 2010)، وبالتالي فإذا تمت الإشارة بشكل متكرر إلى مفهوم الشدة (أو الحجم)، الذي يصف الحد الأدنى لمعدل الصبيب الذي يبلغه المجرى المائي خلال فترات الشح المائي، فيمكن أيضًا الرجوع إلى الجوانب المتعلقة **بمدة فترات العجز المائي** التي تعبر عن الحجم المفقود خلال فترة معينة، **والموسمية** التي تحدد الفترة من السنة التي يحدث فيها العجز المائي (Catalogne, 2006). يبدو من خلال هذا التفسير، أن العامل الأول الذي يؤثر على معدلات الصبيب وبالتالي صبيب الشح هو المناخ من خلال التغيرات في التساقطات المطرية وكميات التبخر، حيث أن خلال هذه الفترات ينخفض مستوى صبيب المجرى المائي بسبب نقص في التساقطات المطرية (انخفاض في التغذية)، أو زيادة التبخر-النتح (فقدان الرطوبة في الطبقات السطحية للتربة) أو تظافر كلتا الظاهرتين.

يتم ضمان صبيب المجرى المائي فقط من خلال التفريغ التدريجي للخزانات المختلفة، بشرط أن تكون موجودة ووفقًا لمعدل ملئها. ويسمى الصبيب الناتج عن هذه التدفقات الصبيب **الأساسي** «Débit de base». تُظهر هذه الاعتبارات نوعين من أنظمة الشح المائي المرتبطة بالموسمية (Bard et *al*, 2012) :

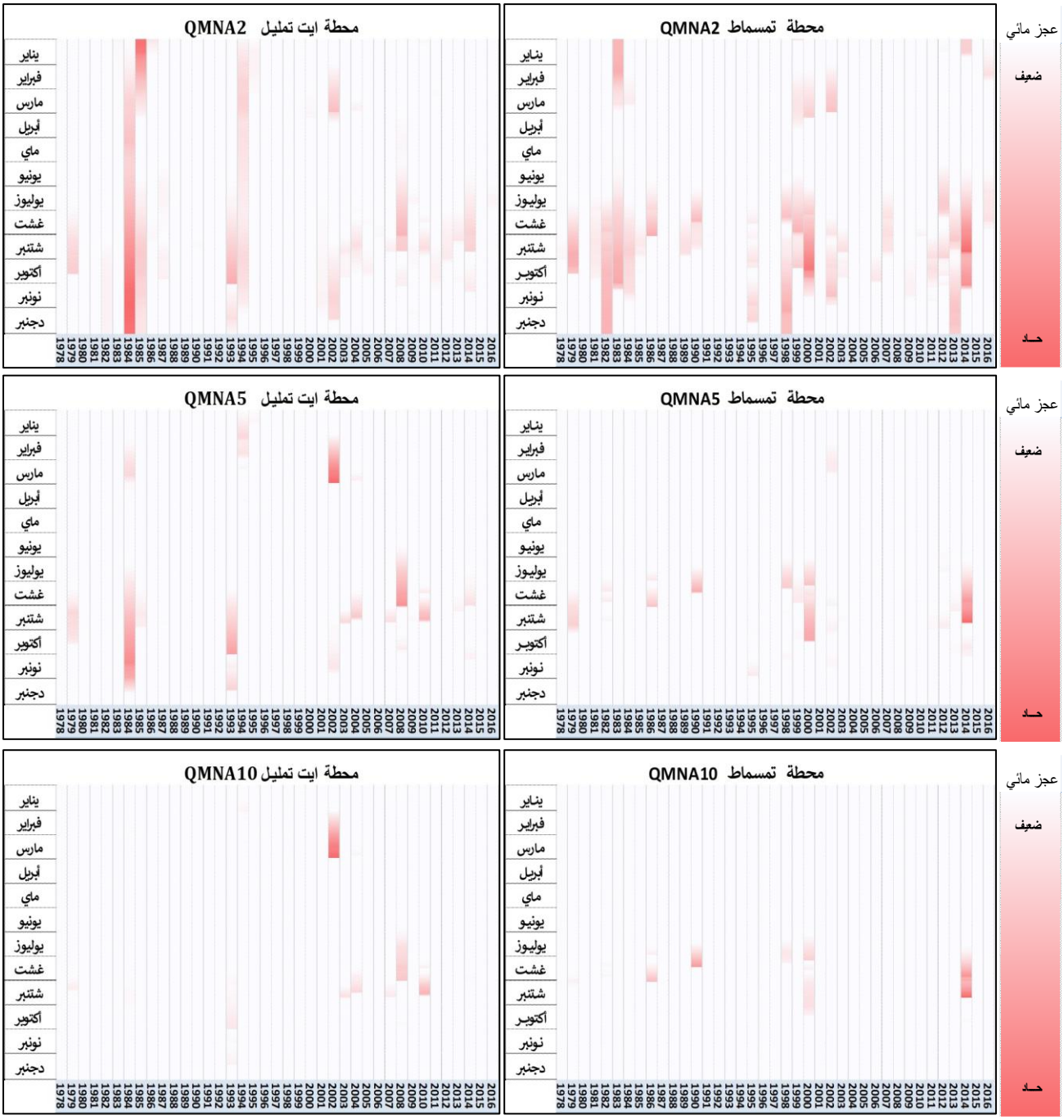
- مستويات صبيب الشح المرتبطة بنقص التساقطات المطرية وارتفاع نسبة التبخر؛ يُلاحظ هذا النوع في المناخ الجاف وشبه الجاف، ولكن أيضًا في المناطق الأكثر رطوبة حيث تكون درجات الحرارة في الصيف مرتفعة نسبيًا والتساقطات المطرية منخفضة. لذلك سوف نتحدث عن الشح المائي الصيفي.
- مستويات صبيب الشح المرتبطة بتخزين التساقطات على شكل ثلوج أو جليد؛ يلاحظ هذا النوع في المناطق الباردة والجبلية. هنا نتحدث عن الشح المائي الشتوي.

عادة، نرى فقط موسمًا واحدًا للشح المائي اعتمادًا في الأحواض النهرية. في الواقع، في حالة المجاري المائية المتأثرة بالثلوج، فإن ذوبان الثلج أو الجليد في فصل الربيع يحافظ على ديمومة صبيب هذه المجاري المائية خلال فصل الصيف.

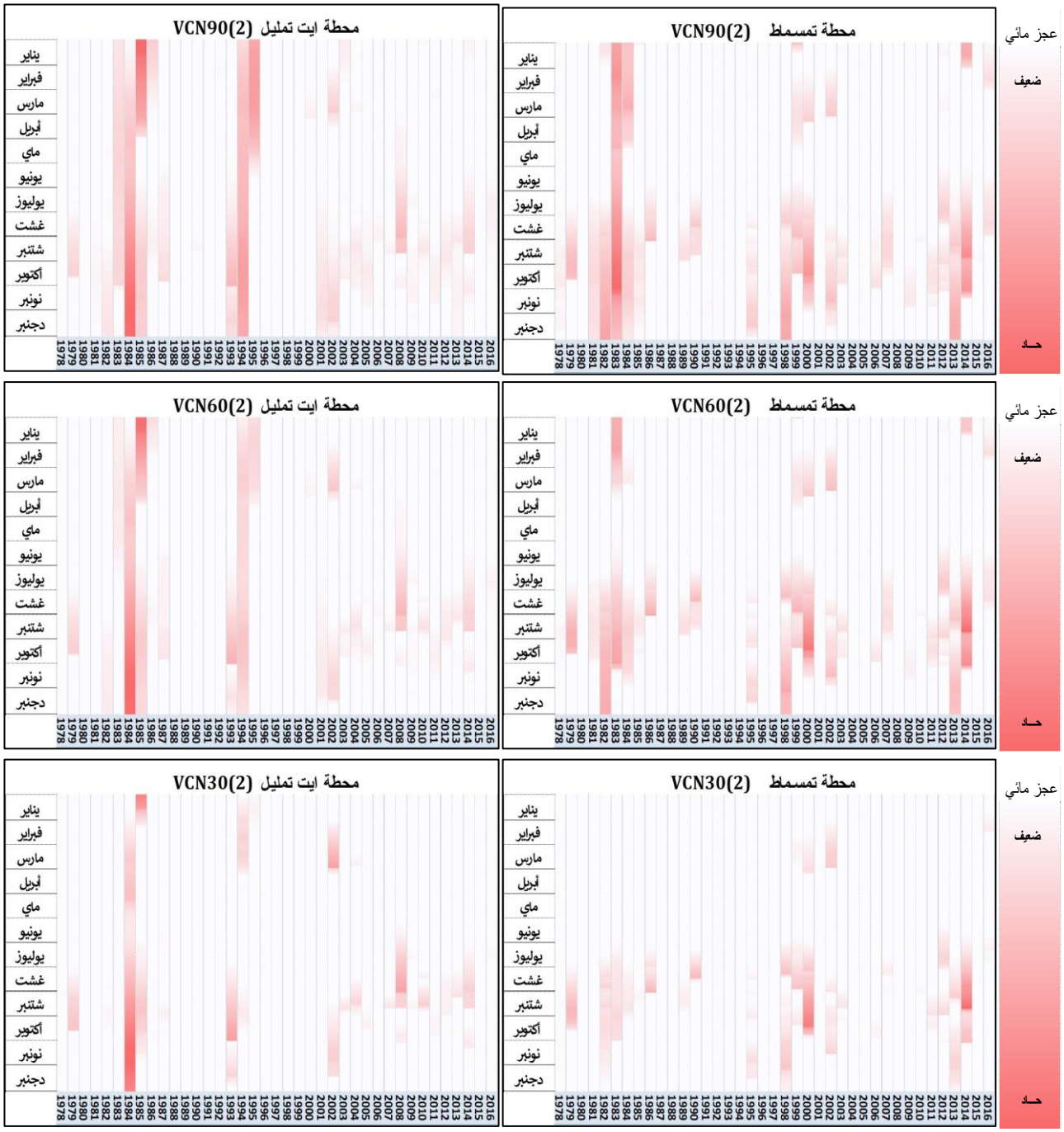
ومع ذلك، فإن بعض الأحواض التي تتأثر بالثلوج في الشتاء وانخفاض التساقطات المطرية وارتفاع معدل التبخر في الصيف يمكن أن يكون لها موسمان سنويان للشح المائي(Garcia,2016) .

هذه المعلومات عن الموسمية والاعتماد المكاني والزمني لمستوى صبيب الشح في علاقته بالمناخ هي مؤشرات مهمة تستخدم لتفييء الأحواض النهرية بهدف إضفاء الطابع الإقليمي على مؤشرات صبيب الشح المختلفة (Laaha et Blöschl, 2006a).

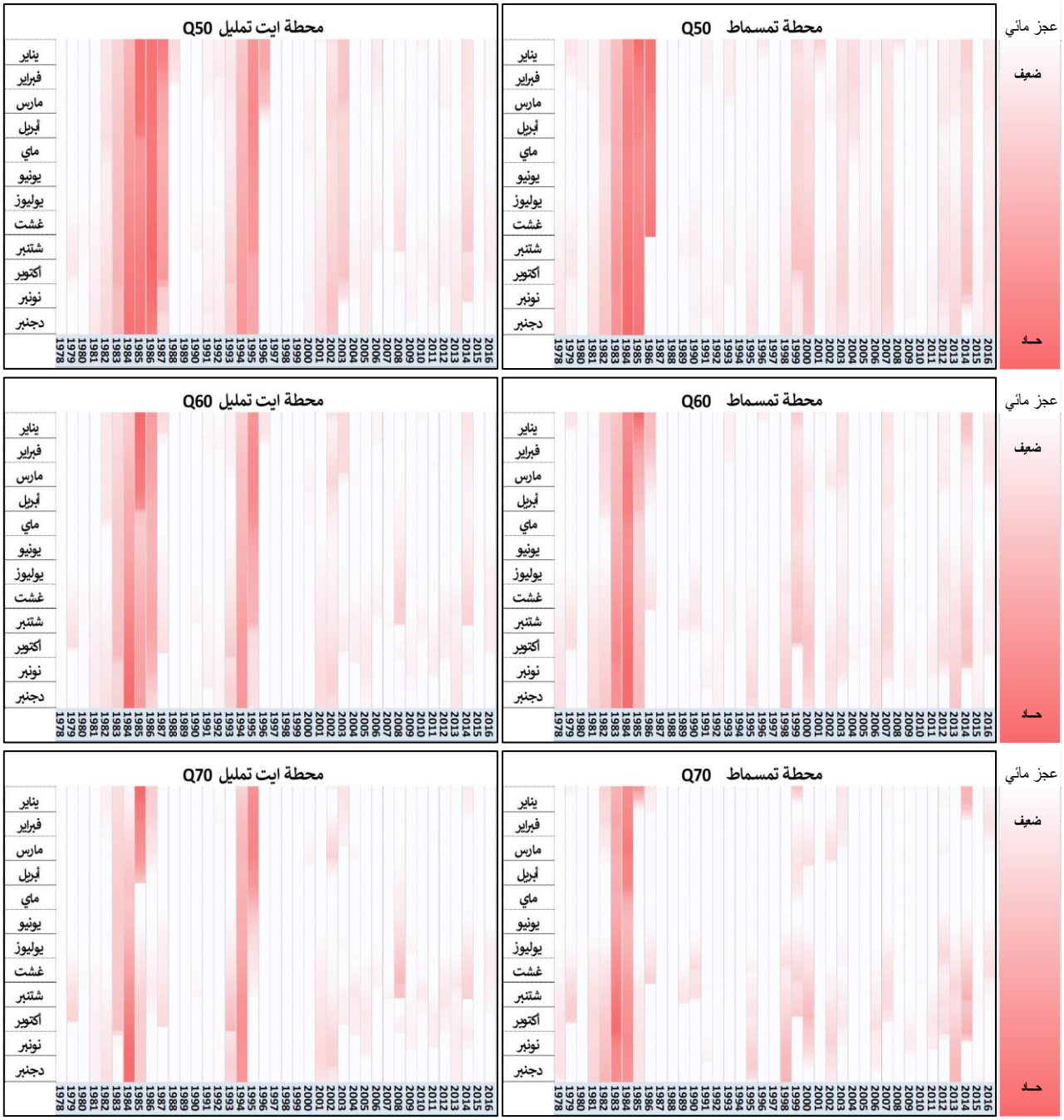
مبيان 113: موسمية فترات العجز المائي حسب معدل الصبيب الشهري الأدنى لفترات الرجوع 2 و5 و10 سنوات



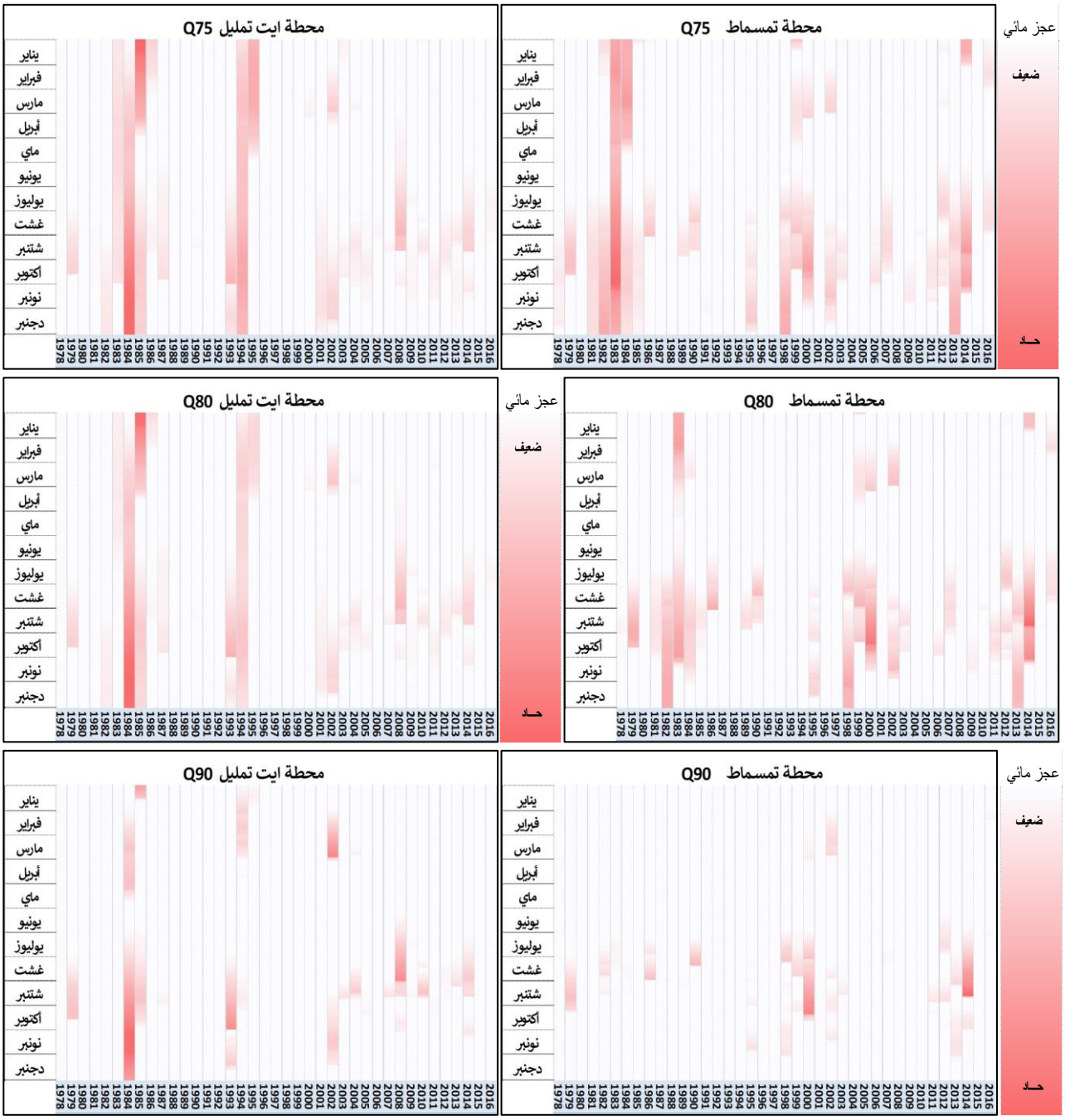
مبيان 114: موسمية فترات العجز المائي حسب معدل الصبيب اليومي الأدنى على لفترات الرجوع 2 و5 و10 سنوات



مبيان 115: موسمية فترات العجز المائي حسب المؤشر المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف (Q70, Q60, Q50)



مبيان 116: موسمية فترات العجز المائي حسب المؤشر المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف (Q90, Q80, Q75)



أبانت نتائج موسمية العجز المائي عن مجموعة من المعلومات المتعلقة بالتوزيع الزمني والمجالي لمستويات الصبيب، وذلك باعتماد مختلف مؤشرات صبيب الشح كعتبات لاستخلاص فترات العجز المائي بمحطتي الدراسة:

- أفرز توزيع فترات العجز المائي حسب معدل الصبيب الشهري الأدنى ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما لفترات الرجوع 2 و5 و10 سنوات نتائج متقارب زمنيا على مستوى حوضي الدراسة (مبيان 113).
- أغلب فترات العجز المائي ترددت خلال فترات نزول الصبيب وخصوصا الفترة الممتدة بين شهري يوليوز وشتنبر.
- عرفت الحوض الفرعي لواد أيت تمليل بعض فترات العجز المائي خلال الفصل الشتوي (بين شهري دجنبر ومارس)، وقد برزت بشكل واضح عند اعتماد العتبات الدنيا ((QMNA(5), QMNA(10)) (مبيان 114).

- تميزت فترات العجز المائي بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل بطول مدتها وبشدة أقل، عكس حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) التي تميزت بقصر هذه الفترات لكن عجز مائي أكثر شدة.
- لم يحدث اعتماد معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما إلى غاية 90 يوما تغيرا كبير في تردد وشدة فترات العجز المائي، غير أن مدة هذه الفترات كانت أطول نسبا خلال بعض السنوات الجافة (1983، 1984، 1994، 1999، 2002).
- أفرز اعتماد المؤشرات الصبيب اليومي المصنف بنسبة 50 و60% (Q50 و Q60) فترات عجز مائي ممتدة لبعض السنوات (مبيان 115)، خصوصا الفترة الممتدة بين 1982 و1987 وسنتي 1994 و1995.
- نتج عن اعتماد مؤشرات الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75 و80 و90% (Q75 و Q80 و Q90) فترات عجز مائي ذات مدد زمنية متوسطة (مبيان 116)، تراوحت بين شهر واحد وستة أشهر في معظم الحالات باستثناء سنوات 1983 و 1984 و 1994 التي عرفت جفافا هيدرولوجيا حادا.

إن اختيار عتبات البدء بالنسبة للشح المائي، لا يمكن أن يتم بشكل عشوائي، كما يجب أن يراعى ذلك تحقيق نوع من التوازن. فاختيار عتبات كبيرة (Q50, Q60) لا تعبر بشكل دقيق عن هذا حدث الشح المائي، وإنما عن حدث هيدرولوجي غير متطرف، كما أن اختيار عتبات منخفضة جدا (QMNA5, QMNA10, Q90) تُمكن من تحديد فترات الشح المائي الأكثر شدة، كما أن الصبيب قد لا ينخفض إلى ما دونها لسنوات عدة، مما يجعلنا أمام دراسة أحداث أقل ترددا.

3. نسبة الموسمية

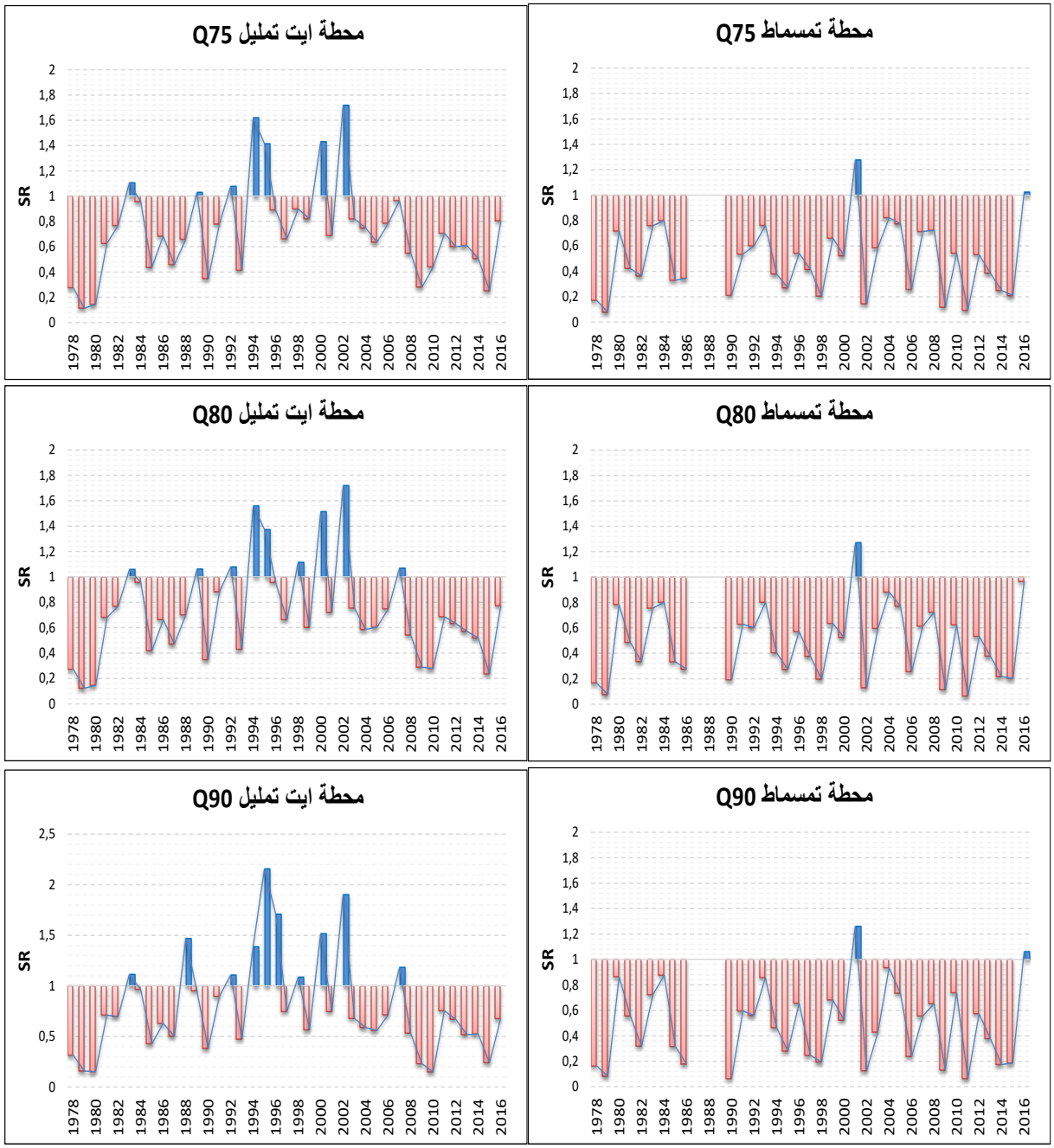
المؤشر الأساسي لدراسة الموسمية هو النسبة الموسمية Ratio Saisonnier (SR) التي اقترحها (Laaha et Blöschl, 2006b). وقد تم تحديده من طرف (Garcia, 2016) من خلال النسبة بين الصبيب اليومي المصنف بنسبة 95% المستخلصة خلال الفترة الصيفية وتلك المستخلصة خلال الفترة الشتوية.

سنعتمد في استخلاص نسبة الموسمية (SR) بحوضي الدراسة على ثلاث مؤشرات وهي مؤشرات الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75 و80 و90% (Q75 وQ80 و Q90) المستخلصة خلال الفترة الصيفية، والتي حددناها حسب النظام الهيدرولوجي للحوض (من 1 يونيو إلى 31 دجنبر)، ثم نفس المؤشرات المستخلصة خلال الفترة الشتوية (من 1 يناير إلى 31 ماي). ونحصل على نسبة الموسمية (بدون وحدة) حسب الصيغة (8.2):

$$SR = \frac{Q75_{\text{الصيف}}}{Q75_{\text{الشتاء}}} \qquad 8.2$$

تقابل النسبة الموسمية التي تقل عن 1 الشح المائي الذي يحدث خلال فترة الصيف، أما النسبة الموسمية التي تفوق 1، فهي توافق الفترات التي تحدث بشكل رئيسي في فصل الشتاء بسبب تخزين التساقطات على شكل ثلوج (Garcia, 2016).

مبيان 117: النسبة الموسمية SR لمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



يُظهر المبيان 117 نتائج متقاربة بالنسبة لمؤشرات الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75 و80 و90% (Q75 وQ80 و Q90). غير أنها تختلف نسبيا على المستوى المجالي بين عالية الحوض وسافلته. تبتعد النسبة الموسمية (SR) عن 1 بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) (أقل من 1) بمعدل SR=0,48 عند محطة تمسماط خلال السلسلة الإحصائية (1978-2016)، باستثناء سنة 2001 التي شهدت جفافا هيدرولوجيا حادا، تدل هذه القيمة المحصل عليها أن الحوض في مجمله يتميز بنظام مطري، يقابله نظام هيدرولوجي متناوب بين فترات صعود ونزول الصبيب بمنوال وحيد. بلغ معدل النسبة الموسمية بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل SR=0,78 عند محطة أيت تمليل، هذه القيمة تقترب من 1، مما يدل أن عالية الحوض يتميز بنظام هيدرولوجي ثلجي- مطري (أنظر الفصل الخامس). كما يعرف الصبيب تغايرية ضعيفة بين فصلي الشتاء والصيف، هذه الخاصية الأخيرة تلعب فيها الركيزة الصخرية، المتميزة بنفاذية قوية، دورا هاما في تنظيم الجريان خلال السنة بعالية الحوض.

خـــلاصـــة

بينت دراسة عدد الأيام تحت العتبات المستخلصة من معدل الصبيب الشهري الأدنى بترددات مختلفة ($QMNA_{(T)}$) أن بعض السنوات عرفت فترات عجز مائي ممتدة لعدة أشهر. وكانت سنتي **1983** بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) **و1984** بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل أكثر السنوات التي عرفت أطول فترات شح مائي. وانطلاقا من العتبات المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف تبين أن مجموع عدد الأيام في كل سنة حسب يختلف من سنة لأخرى وبين عالية الحوض سافلته، حيث أن اعتماد الصبيب اليومي المصنف بنسبة 90 % (Q_{90}) أفرز نسبة أقل من 72 % من السنوات التي عرفت عدد الأيام تحت هذه العتبة، وعند رفع العتبات من 80% إلى 50% تراوحت نسبة السنوات التي عرفت أيام تحت العتبات المحددة ما بين 83% و 97% بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف).

تحدث فترات الشح المائي خلال السلسلة الإحصائية على طول مجرى واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) بدرجات متفاوتة من الشدة والمدة، لا سيما في حالة الأحداث المتطرفة. وقد ترددت فترات العجز المائي خلال سنوات دون أخرى، وبوتيرة تختلف من سنة لأخرى، ويمكن تفسير ذلك بالعوامل المناخية التي تؤثر على النظام الهيدرولوجي للأحواض النهرية. كما اختلفت نتائج استخلاص فترات العجز على المستوى المجالي بين عالية وسافلة الحوض، وهذا راجع بالأساس إلى الخصوصيات الطبيعية المتباينة بين عالية الحوض وسافلته. يعرف الحوض الفرعي لواد أيت تمليل ترددا أكبر في عدد أيام العجز مقارنة بسافلة الحوض، الشيء الذي يمكن تفسيره بتردد الشح المائي خلال فترة التساقطات الثلجية التي تحتجز كميات من المياه؛

وقد أوضحت دراسة شدة الشح المائي أن اختيار عتبات كبيرة جدا (Q60, Q50) أفرز فترات عجز مائي ممتدة لعدة سنوات ومتداخلة فيما بينها، حيث يصعب تحديد بداية ونهاية هذه الفترات بشكل دقيق. وحيث أن حوضي الدراسة ينتميان بشكل عام إلى مناخ شبه جاف الذي تطبعه ندرة أو غياب التساقطات المطرية خلال الأشهر الصيفية، فقد اتضح من خلال مجموعة من المؤشرات الإحصائية أن العتبات الدنيا تعبر فقد عن أحداث قصوى، يمكن اعتمادها هي الأخرى في تحديد مستويات وشدة الشح المائي.

المحور 18: تحديد عتبات ظهور الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

يتم اعتماد مقاربة العتبات على نطاق واسع من طرف الباحثين في الدراسات الهيدرولوجية. حيث تم اعتمادها من طرف (Yevjevich, 1967). ويُعتبر المجرى المائي في حالة عجز مائي خلال الفترات التي يظل خلالها الصبيب أقل من حد صبيب معين، ويتم اختيار قيمة صبيب العتبة حسب هدف الدراسة و/ أو نوع النظام الهيدرولوجي للحوض (Smakhtin, 2001).

I. تعريف ومنهجية العمل

1. تعريف عتبات صبيب الشح

تشترك التعريفات العديدة لمصطلح "الشح المائي" في أنها تشير إلى عتبة معينة لمستوى المياه أو الصبيب الذي لم يتم تجاوزها. وحسب تعريف قاموس المصطلحات للمياه والبيئات البحرية والتنوع البيولوجي فهو " يعتبر صبيب فترة محدودة في السنة عندما ينخفض إلى ما دون قيمة العتبة الخاصة بكل مجرى مائي ويتم حسابها إحصائيًا". وقد اقترح مجموعة من الباحثين عتبات لتحديد وتحليل الشح المائي، ويمكننا الإشارة إلى أنه وفقًا لبعض هؤلاء الباحثين، فإن القيم التي تحدد مستوياته تكون دائمًا أقل من الحد الأدنى لمعدل الصبيب الشهري "الطبيعي " (Larras, 1972) , (Bernier, 1964)، وبالتالي، يصعب تمييز الشح المائي بشكل دقيق، لأن تحديد فترات حدوثه لا يخضع للقواعد المعمول بها.

2. منهجية تحديد عتبات صبيب الشح

من وجهة نظر التحليل الإحصائي، سيتم الاعتماد على أربع طرق مختلفة لتحديد عتبة ظهور الشح المائي، ويتعلق الأمر بـ:

منحنى الصبيب المصنف: من خلال استخلاص ومقارنة النسبة المئوية لكل من السنوات دون شح مائي والسنوات التي تؤدي إلى انخفاض مستوى الصبيب لأكثر من d يومًا.

الصبيب المنوال: عن طريق تحديد الحد الأقصى للشح المائي من خلال الصبيب الأكثر ترددا أو الصبيب المنوال.

المعدل السنوي لأيام العجز: يتم تحديد مدة العجز المائي بعدد الأيام التي لا يتم خلالها بلوغ قيمة العتبة Q_0.

تصنيف المؤشرات حسب الصبيب النوعي: تمكن هذه الطريقة من مقارنة العتبات المقترحة بتلك التي سبق تحديدها من طرف باحثين على مستوى أحواض نهرية مختلفة.

يجب أن يكون اختيار عتبة صبيب الشح نتيجة التوفيق بين العتبات المنخفضة والعتبات المرتفعة. فالعتبات المنخفضة تجعل من الممكن دراسة أحداث أكثر تطرفًا، غير أنها تطرح عدد من المشاكل المنهجية، لأن الصبيب قد لا ينخفض إلى ما دون العتبة لسنوات عديدة، مما يؤدي إلى صبيب شح ذو مدة / حجم منعدم، غير أن اختيار عتبة أعلى يحد من هذه المشكلة، لكنه يؤدي إلى دراسة أحداث هيدرولوجية غير متطرفة فعلا.

3. أهم الدراسات المنجزة

نظرا لندرة الدراسات المتعلقة بالشح المائي في المجالات شبه الجافة، فقد اعتمدنا على عدد من الأبحاث المنجزة في مناخات مختلفة، من أهمها دراسة (Lang, 2007) للشح المائي بشمال فرنسا التي اعتبرت الصبيب المُميّز للشح (DCE) كقيمة يمكن استخدامها للتدفقات المنخفضة ضمن السياق المناخي المحيطي والمتوسطي. أما (Gailliez, 2013) و (Gustard et *al*, 1992) و ((Laaha et Blöschl, 2006a و (Gustard et al., 1992) و (Vezza et al., 2010) فقد حددوا الصبيب اليومي المصنف بنسبة 95% (**Q_{95}**) كعتبة لدراسة خصائص صبيب الشح ضمن المناخات المتوسطية والمحيطية، غير أن (El-Jabi, 1997) في دراسته لهذا الحدث الهيدرولوجي بالنطاق القاري اعتمد الصبيب اليومي المصنف بنسبة 90% (**Q_{90}**) من الصبيب المصنف، لتحديد

سلسلة من فترات العجز، غير أن دراسة (Abi-Zeid, 1997) في دراسته للشح المائي بعدة أحواض في سياقات مناخية مختلفة اقترح عتبتين توافقان الصبيب اليومي المصنف بنسبة 90% و 75% **(Q_{90} و Q_{75})**، علما أن دراسته شملت أحواض نهرية ذات أنظمة هيدرولوجية مركبة (مطرية ثلجية و ثلجية مطرية) حيث تتميز بفصل صيفي قصير وفصل شتوي بارد وتساقطات ثلجية تنتج عنها شح في الصبيب لعدة أشهر بسبب احتجاز الكميات المائية في حالتها الصلبة، وبالتالي يمكن أن يقترب من المناخات شبه الجافة في خصوصيات الجريان وطول فترات الشح المائي. كما حدد (Tallaksen et al, 1997) ثلاث عتبات مختلفة (50 و70 و90 %) لإجراء تحليلا لمدة وحجم العجز اعتمادا (الفصل الثالث). وقد استند (Pardé, 1963) على قيم الصبيب النوعي، لتحديد عتبة ظهوره، وأشار أنه "ضمن النظام المطري، تكون مستويات صبيب الشح الأقصى بين 0,5 و1,5 ل/ث/كلم^2".

على المستوى الوطني، رغم أن هناك بعض الدراسات الهيدرولوجية تطرقت لموضوع الشح المائي، إلا أنها لم تتناوله بشكل دقيق ومفصل، واقتصرت فقط على تحديد عتبات حدوث هذا الحدث. وكمثال على ذلك تقرير (الموارد المائية بالمغرب، 1972) الجزء الأول الذي تضمن دراسات هيدرولوجية على أحواض مغربية، وقد أشار في تحليله للشح المائي، وحدد ميزة الشح المائي (DCE) فقط كعتبة لتحديده، وهو يشير إلى الصبيب الذي يساوي أو يفوق 355 يوم في السنة. أما الدراسة التي همت "الكشف عن التغيرات في الأنظمة الهيدرولوجية لحوض سبو" والذي أنجز في إطار برنامج الدراسة "تغير المناخ: التأثيرات على المغرب وخيارات التكيف العالمي" سنة 2010 فقد تم تحديد عتبة صبيب الشح بالنسبة المئوية التي توافق 15% من الصبيب اليومي المصنف للسلسلة الإحصائية (85% من الصبيب المتجاوز). حاول (Mouhdi, 1993) في دراسته الهيدرولوجية على حوض ملوية اقتراح عتبة لتحديد مستويات صبيب الشح وفقًا لظروف الاستخدامات البشرية للمياه في منطقة الدراسة، وقد اقترح العتبة 1,4 ل/ث/كلم^2. أما الدراسة الهيدرومناخية التي أجراها (Cherrad, 1997) على الحوض النهري كرو الذي أنجز تحليلا إحصائيا لفترات الشح المائي على المستوى الشهري من جهة، استخلاص مؤشر الشدة (SN) من جهة أخرى، وذلك لتسليط الضوء على فترات الجفاف خلال السنوات الاستثنائية. أما الدراسة الهيدرولوجية التي أجرها (Qadem, 2015) بعالية الحوض النهري سبو، فقد اعتمد معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 3 و10 و30 يوما من أجل دراسة خصائص صبيب الشح وفترات الرجوع لهذا الحدث الهيدرولوجي.

II. نتائج تحديد عتبات الصبيب كمؤشرات لدراسة فترات الشح المائي

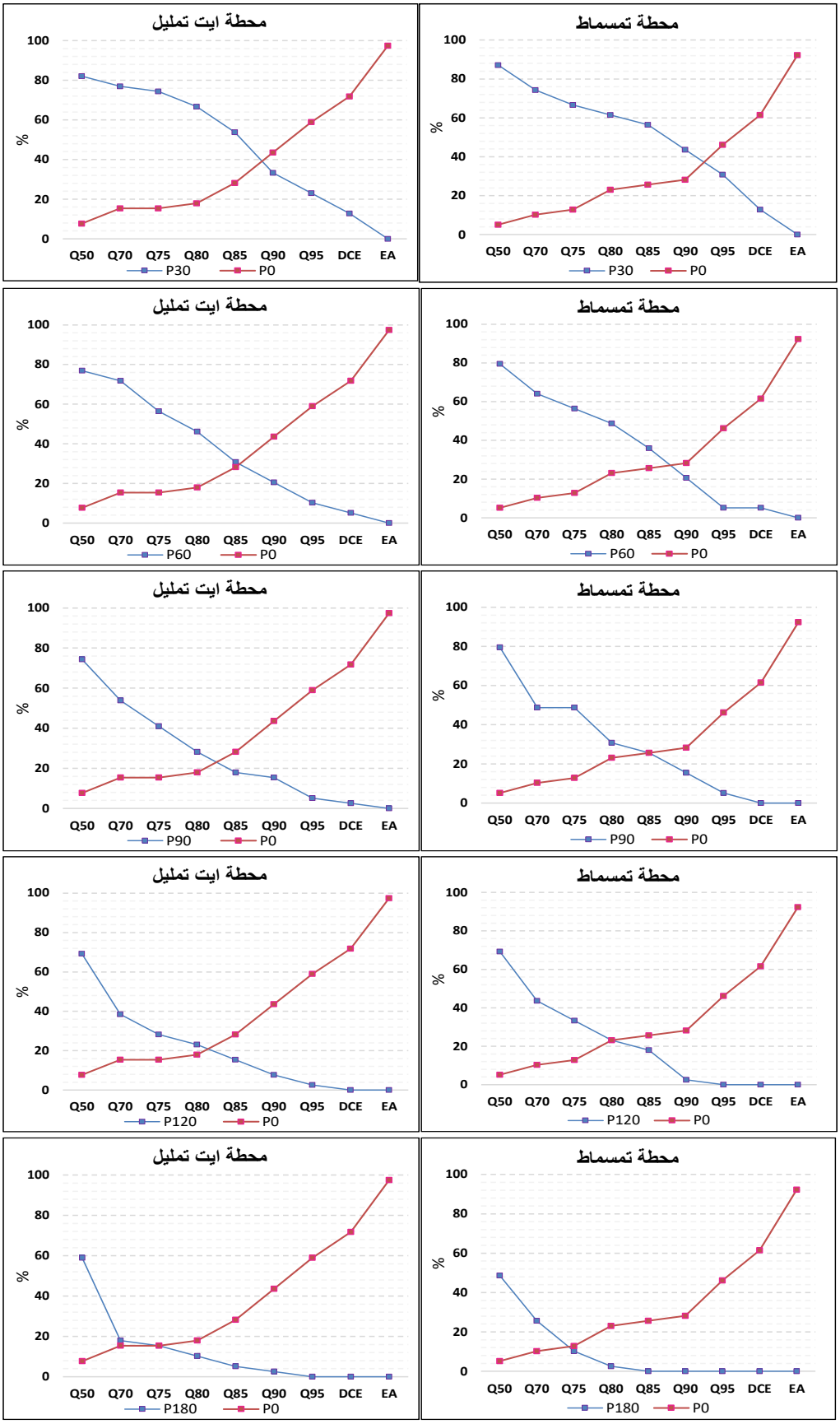
بناء على الدراسة الإحصائية للشح المائي التي تم التفصيل فيها بهذا الفصل، سنعمل على اقتراح عتبة البدء لظهور فترات الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف).

1. عتبات ظهور الشح المائي انطلاقا من منحنى الصبيب اليومي المصنف

من أجل إيجاد أفضل توافق، اعتمدنا النهج التالي (Renard et Giuntoli, 2010): انطلاقا من عدة خيارات لعتبات صبيب الشح المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف انطلاقا من الصبيب المُميّز للشح والصبيب اليومي المصنف بنسبة 50، 70، 80 و90 % (DCE, Q_{90}, Q_{80}, Q_{70}, Q_{50})، قمنا بحساب p_0 النسبة المئوية للسنوات دون شح مائي، و p_d النسبة المئوية للسنوات التي تؤدي إلى انخفاض مستوى الصبيب لأكثر من d يومًا، حيث تم اعتماد عدد الأيام في السنة التي تفوق 30 و60 و90 و120 و180 يوما. حيث أن 180 يوما توافق تقريبا المدة التي تفصل فترة صعود ونزول الصبيب بأحواض الدراسة.

وتشير القيمة العالية لـ p_0 إلى أن العتبة المختارة منخفضة جدا، بينما تشير القيمة العالية لـ p_d إلى عتبة عالية جدًا.

مبيان 118: مقارنة الشح المائي ذو الفترات المنعدمة والذي يفوق d يوم بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016).



يتضح أن الصبيب المُميِّز للشح (DCE) والصبيب اليومي المصنف بنسبة 95% (Q_{95}) عتبة منخفضة للغاية، لأنها أفرزت، بالنسبة لحوضي الدراسة، أكثر من 50 % من السنوات دون شح مائي، وبالتالي يكون الاختيار بين العتبات الأخرى أكثر دقة. حيث أن الصبيب اليومي المصنف بنسبة 90% و 80% أفرز بين 62% و 90% من السنوات التي سجلت الشح المائي الحوض الفرعي لواد أيت تمليل، و بين 74% و 84% بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف).

بشكل عام تتقاطع المنحنيات الممثلة لعدد الأيام التي تفوق 30 إلى 180 يوما بين الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% و 90% (Q_{75} و Q_{90}) بحوضي الدراسة. وقد أفرز الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% (Q_{75}) فترات تحت العتبة بنسبة 85 % من عدد السنوات بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل و 90% بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف).

وكما سبقت الإشارة فإن اختيار عتبة أعلى يمكن أن يؤدي إلى دراسة الأحداث الهيدرولوجية غير المتطرفة، إلا أنها يمكن أن تكون مؤشرا لبداية فترة الشح المائي بالنسبة لحوض يتواجد ضمن السياق المناخي شبه الجاف، وبالتالي يجب توخي الدقة في اختيار عتبات تمثل فعلا شحا مائيا ومستوياته مع مراعاة الخصوصيات المناخية للحوض المدروس.

2. عتبات ظهور الشح المائي انطلاقا من الصبيب المنوال

تبقى مسألة تحديد العتبة الفاصلة بين فترتي نزول الصبيب والشح المائي صعبة ومعقدة للغاية، ويصاحبه، في جميع الحالات وبدرجة كبيرة، شيء من الذاتية (Lang, 2007)، وبالتالي سنعمل في هذه المرحلة على تعيين الحد الأقصى للشح المائي من خلال الصبيب الأكثر ترددا أو الصبيب المنوال، حيث يتم عادة وصف السلوك أو النظام الهيدرولوجي للمجرى المائي من خلال دراسة معدلات الصبيب.

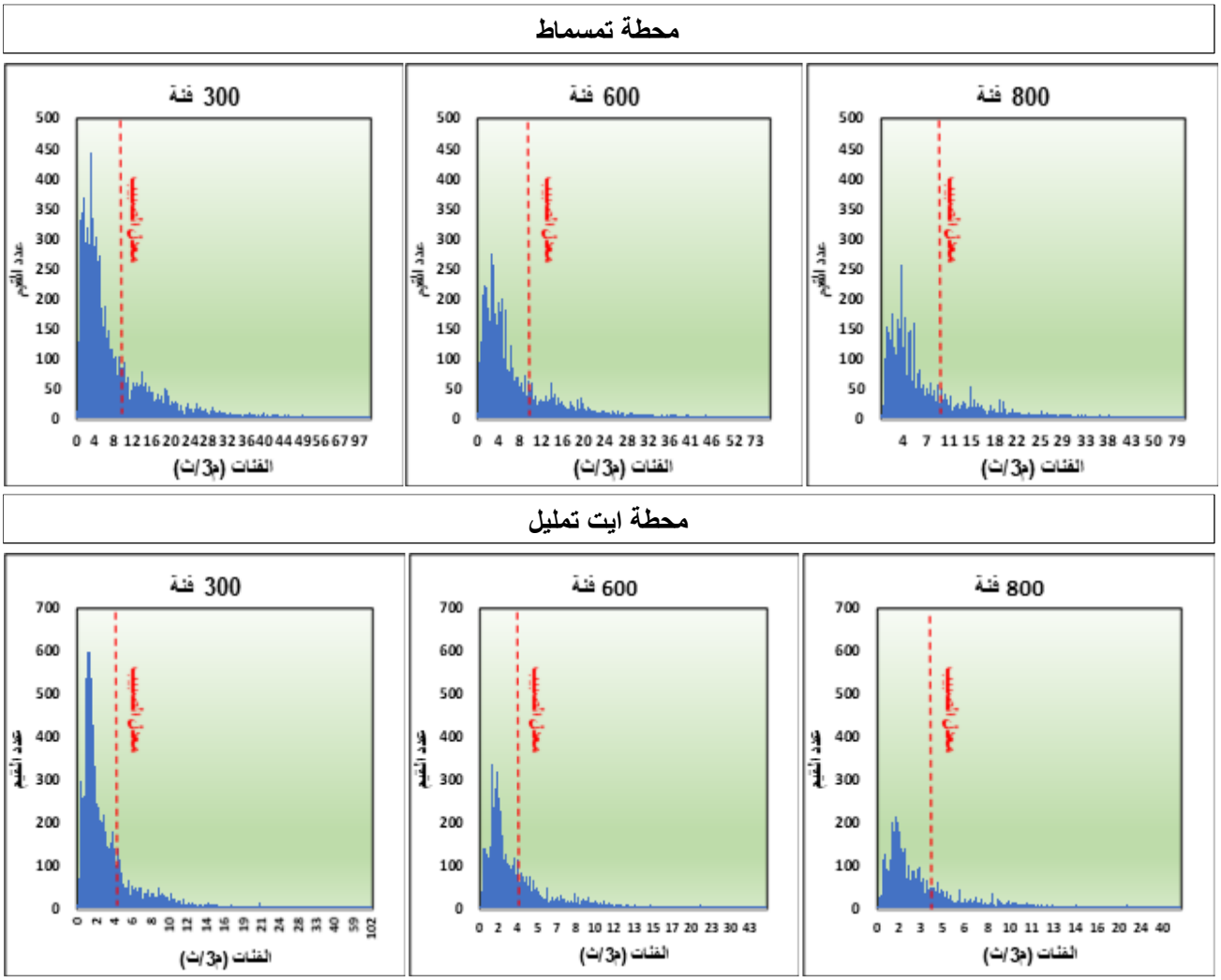
وبالنظر إلى توزيع المعدلات اليومية للصبيب المنحازة جدا، فإنها تمثل احتمالا ضئيلا لإبراز القيم الدنيا من الصبيب (Lang, 2007). وبالتالي سيمثل الصبيب المنوال الصبيب الأكثر احتمالا. وإذا كان معدل الصبيب يفصل بين فترتي نزول الصبيب وصعوده، فإن الصبيب المنوال يمكن أن يظهر كقيمة قصوى لاستخراج عينات الشح المائي.

يمكن تمثيل معدل الصبيب اليومي على شكل مدرج تكراري، من خلال تمثيل فئات الصبيب على محور الأفاصيل وعدد الأيام التي يلاحظ فيها قيم الصبيب على محور الأراتيب، حيث تمكننا قراءة المدرج التكراري من استخراج بشكل سريع قيمة الصبيب المنوال (مبيان 120).

تم تقدير الصبيب المنوال بهذه الطريقة انطلاقا من معطيات الصبيب اليومي لمحطتي أيت تمليل وتمسماط. وقد قمنا بتحديد عدد الفئات، بشكل عشوائي، في 600 فئة. من خلال المدرج التكراري تظهر الفئة المنوال بشكل واضح بمحطتي الدراسة، حيث عرف حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) صبيب منوال بلغ 3,1 $م^3/ث$ عند محطة تمسماط، والتي تقابل تقريبا **75%** من منحنى الصبيب اليومي المصنف. أما بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل فقد بلغ 1,4 $م^3/ث$ عند محطة أيت تمليل، وهذه القيمة أقرب إلى التردد المتجاوز **80%** من منحنى الصبيب اليومي المصنف. وبالتالي فإن هذه القيم تمثل بالنسبة لحوضي الدراسة العتبة القصوى للشح المائي.

تشوب مسألة تحديد القيمة المنوال، انطلاقا من هاته المدرجات التكرارية، درجة من عدم اليقين، لأنها تتباين نسبيا حسب عدد الفئات المحددة مسبقا. ومع ذلك، فإن عملية استخراج الصبيب المنوال تبقى ذاتية إلى حد ما.

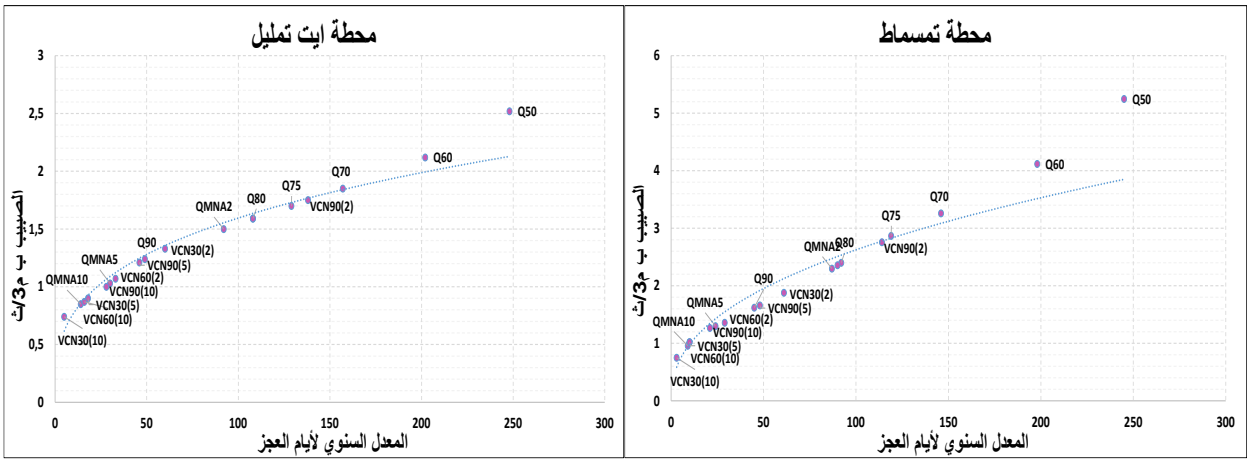
مبيان 120: المدرج التكراري لتوزيع معدل الصبيب اليومي والصبيب المنوال في علاقته بعدد الفئات بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



3. تصنيف المؤشرات الإحصائية حسب المعدل السنوي لأيام العجز

يتم تحديد مدة العجز المائي بعدد الأيام التي لا يتم خلالها بلوغ قيمة العتبة Q_0.، حيث تم الاعتماد في هذه المرحلة على جميع مؤشرات صبيب الشح التي تم الحصول عليها من خلال الدراسة الإحصائية للترددات الجافة، والتي سيم اعتبارها كعتبات لاستخلاص الفترات المقترحة، والتي هي عبارة عن أحداث متفرقة خلال السنة تم حساب المجموع السنوي لهذه الفترات من أجل الحصول على المعدل السنوي حسب المؤشر المعتمد. وقد تم تمثيل النتائج في المبيان 121:

مبيان 121: المعدل السنوي لأيام العجز المائي حسب مؤشرات صبيب الشح بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



كلما تم رفع العتبات ازداد المعدل السنوي لأيام دون بلوغها، كما يظهر جليا أن اختيار عتبات كبيرة (Q_{60}, Q_{50}) أفرز معدل سنوي للأيام دون العتبات فاق 200 يوم في كلتا محطتي الدراسة، مما يؤكد أنها لا تعبر بشكل دقيق عن فترات للشح المائي. في المقابل أفرزت العتبة Q_{75} مدة عجز مائي بلغت 4 أشهر بمحطتي الدراسة، والتي تبدو أكثر منطقية وقريبة من الواقع، بحيث أن منطقة الدراسة تتميز بقلة أو غياب التساقطات المطرية خلال فترات طويلة خصوصا الأشهر الصيفية.

4. تصنيف المؤشرات الإحصائية حسب الصبيب النوعي

يمنحنا تصنيف مؤشرات صبيب الشح الناتجة عن الصبيب اليومي المصنف والترددات الناتجة عن معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم (VCN_d) فكرة أولية عن مستويات صبيب الشح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف).

لكي نضمن تدقيق مستويات صبيب الشح تم اعتماد مؤشرات على المستوى اليومي والشهري كما يلي:

- **VCN_3**: معدل الصبيب الأدنى على مدى 3 أيام لفترات الرجوع 1/2 و 1/5 و 1/10.
- **VCN_{10}**: معدل الصبيب الأدنى على مدى 10 أيام لفترات الرجوع 1/2 و 1/5 و 1/10.
- **VCN_{20}**: معدل الصبيب الأدنى على مدى 20 يوما لفترات الرجوع 1/2 و 1/5 و 1/10.
- **VCN_{30}**: معدل الصبيب الأدنى على مدى 30 يوما لفترات الرجوع 1/2 و 1/5 و 1/10.
- **VCN_{60}**: معدل الصبيب الأدنى على مدى 30 يوما لفترات الرجوع 1/2 و 1/5 و 1/10.
- **QMNA**: معدل الصبيب الشهري الأدنى لفترات الرجوع 1/2 و 1/5 و 1/10.
- **ميزة الصبيب الناتج عن منحنى الصبيب اليومي المصنف**: من Q_{50} إلى غاية DCE.

يتم تصنيف المؤشرات المعتمدة بشكل تصاعدي بتحويل قيم الصبيب المطلق إلى صبيب نوعي (بدلالة المساحة)، حتى يتسنى لنا مقارنة نتائج حوضي الدراسة بالعتبات التي تم اعتمادها من طرف باحثين على أحواض نهرية ذات خصائص مختلفة.

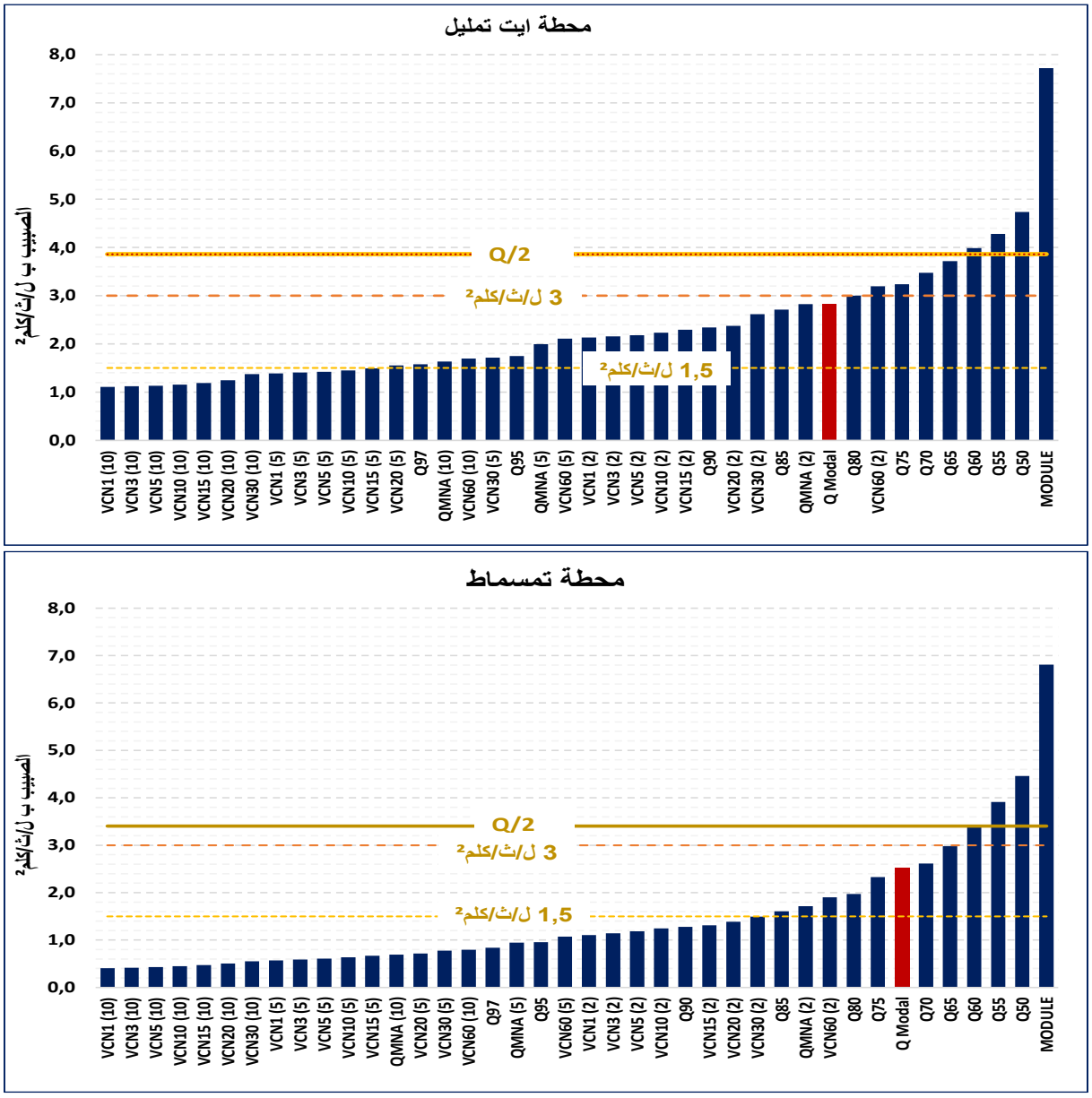
وتبين نتائج الجدول 53 تصنيف المؤشرات بحوضي الدراسة.

جدول 53: المؤشرات الإحصائية بدلالة المساحة

مؤشر الصبيب	الحوض الفرعي لواد أيت تمليل	
	م³/ث	ل/ث/كلم²
VCN1 (10)	0.59	1.11
VCN3 (10)	0.60	1.12
VCN5 (10)	0.60	1.13
VCN10 (10)	0.61	1.16
VCN15 (10)	0.63	1.19
VCN20 (10)	0.66	1.25
VCN30 (10)	0.73	1.37
VCN1 (5)	0.74	1.39
VCN3 (5)	0.75	1.40
VCN5 (5)	0.75	1.42
VCN10 (5)	0.77	1.45
VCN15 (5)	0.79	1.49
VCN20 (5)	0.83	1.56
Q97	0.84	1.58
QMNA (10)	0.87	1.63
VCN60 (10)	0.90	1.70
VCN30 (5)	0.91	1.71
Q95	0.93	1.75
QMNA (5)	1.06	2.00
VCN60 (5)	1.12	2.11
VCN1 (2)	1.13	2.13
VCN3 (2)	1.15	2.16
VCN5 (2)	1.16	2.18
VCN10 (2)	1.19	2.23
VCN15 (2)	1.22	2.29
Q90	1.24	2.34
VCN20 (2)	1.26	2.38
VCN30 (2)	1.39	2.61
Q85	1.44	2.71
QMNA (2)	1.50	2.82
Q Modal	1.50	2.82
Q80	1.59	3.00
VCN60 (2)	1.70	3.19
Q75	1.72	3.24
Q70	1.85	3.48
Q65	1.97	3.72
Q60	2.12	3.99
Q55	2.27	4.28
Q50	2.52	4.74
المعدل السنوي	4.10	7.72

مؤشر الصبيب	حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)	
	م³/ث	ل/ث/كلم²
VCN1 (10)	0.53	0.40
VCN3 (10)	0.54	0.42
VCN5 (10)	0.56	0.43
VCN10 (10)	0.59	0.45
VCN15 (10)	0.62	0.47
VCN20 (10)	0.66	0.51
VCN30 (10)	0.72	0.55
VCN1 (5)	0.75	0.57
VCN3 (5)	0.77	0.59
VCN5 (5)	0.80	0.61
VCN10 (5)	0.83	0.64
VCN15 (5)	0.88	0.67
QMNA (10)	0.91	0.69
VCN20 (5)	0.93	0.71
VCN30 (5)	1.02	0.78
VCN60 (10)	1.04	0.79
Q97	1.09	0.84
QMNA (5)	1.24	0.95
Q95	1.25	0.95
VCN60 (5)	1.40	1.07
VCN1 (2)	1.44	1.10
VCN3 (2)	1.49	1.14
VCN5 (2)	1.55	1.19
VCN10 (2)	1.63	1.25
Q90	1.67	1.28
VCN15 (2)	1.71	1.31
VCN20 (2)	1.81	1.39
VCN30 (2)	1.95	1.50
Q85	2.10	1.61
QMNA (2)	2.24	1.71
VCN60 (2)	2.48	1.90
Q80	2.58	1.97
Q75	3.04	2.33
Q Modal	3.30	2.52
Q70	3.41	2.61
Q65	3.89	2.98
Q60	4.48	3.43
Q55	5.11	3.91
Q50	5.83	4.46
المعدل السنوي	8.90	6.81

مبيان 122: تصنيف المؤشرات الإحصائية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط



تم تحويل المؤشرات الإحصائية إلى الصبيب النوعي، بعد تحديد تردد معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم (VCN_d) بتعديل لقانون Ln Normale بمتغيرين، والهدف من ذلك هو حساب الصبيب المميز للشح المائي.

يمثل المبيان 122 المؤشرات الإحصائية المستخلصة على المستوى الشهري واليومي والتي تم مقارنتها حسب عتبة (Pardé, 1963)، حيث حددها في 1,5 لتر/ث/كلم^2، وحسب عتبة (Lang, 2007) التي حددتها في 3 لتر/ث/كلم^2. توافق عتبة (Pardé, 1963) الصبيب اليومي المصنف بنسبة 97% (Q_{97}) بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، وبالتالي يمكن اعتبارها عتبة منخفضة جدا حيث يتم حفظها للأحداث القصوى من الشح المائي. أما بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) فهذه العتبة توافق الصبيب اليومي المصنف بنسبة 85% (Q_{85}). ويفسر هذا التباين بالتنوع في الخصوصيات الصخارية بين حوضي الدراسة.

لم يتجاوز الصبيب اليومي المصنف بنسبة 80% (Q_{80}) العتبة 3 لتر/ث/كلم^2 بالنسبة لحوضي الدراسة، كما أن قيمة الصبيب المنوال بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل اقتربت من الصبيب اليومي المصنف بنسبة 80% (Q_{80})، أما بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) فقد فاقت الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% (Q_{75}).

يبدو أنه من غير المناسب اختيار عتبة للشح المائي انطلاقا من قيم الصبيب اليومي المصنف الذي يمثل قيم منخفضة (1,5 لتر/ث/كلم^2)، وبالتالي فإن تحديد الحد الأقصى للشح المائي، والذي يعبر عن عتبة بداية فتراته، يجب أن تتم بشكل معقول باعتماد معالجة إحصائية، كما يمكن من خلال هذه العمليات تحديد الأحداث المتطرفة التي تعبر عن شدة الشح المائي في السنوات التي تعرف عجزا مائيا كبيرا.

5. مؤشر Q_{75} كعتبة لتحديد حالة الوضع الهيدرولوجي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

إن تحديد قيمة واحدة كعتبة للشح المائي تبقى مسألة معقدة، وتستند، في النهاية، على سياق وموضوع الدراسة. في الواقع، ليس بالضرورة اختيار معدلات صبيب الشح المنخفضة لتحديد الأحداث الاستثنائية. إن اختيار مؤشر منخفض للغاية يؤدي إلى مجموعة من الأحداث النادرة والقليلة جدًا بحيث لا تتمكن من إجراء علاج إحصائي. كما أن اختيار عتبة مرتفعة يؤدي إلى حجب الأحداث المتطرفة وظهور مشكل العجز المائي المتعدد السنوات، لذا حاولنا من خلال الدراسة الإحصائية لعدد من المؤشرات اختيار وضع حد متوازن لتحديد قيم الصبيب المتعلقة بالشح المائي.

وقد جاء اختيارنا للصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% (Q_{75}) كمؤشر لتحديد عتبة بدء فترات الشح المائي لاعتبارات نجملها فيما يلي:

- ✓ سهولة استخراج هذا المؤشر انطلاقا من منحنى الصبيب اليومي المصنف لمعطيات الصبيب اليومي.
- ✓ بينت الدراسة الإحصائية التي قمنا بها أن نسبة السنوات، حسب الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% (Q_{75})، التي عرفت فترات الشح المائي خلال السلسلة المدروسة (1978-2016) بلغت 84,6% بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل و88,8% بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف).
- ✓ أظهر مقارنة الشح المائي ذو الفترات المنعدمة والذي يفوق 180 يوما (ستة أشهر) تقاطع المنحنيين عند الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% (Q_{75})، وهي توافق مدة فترة نزول الصبيب من السنة التي تعرف أكثر تردد ظهور أحداث الشح المائي.
- ✓ يقترب هذا المؤشر من قيم الصبيب الأكثر ترددا في حوض الدراسة (الصبيب المنوال)، كما أنه أكثر انحيازا إلى العتبة 3 لتر/ث/كلم^2 التي تم اقتراحها من طرف (Lang, 2007).
- ✓ أفرز تطبيق الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% (Q_{75}) فترات عجز مائي بمعدل أربعة أشهر خلال السنة، والتي ترددت في أغلب السنوات خلال الأشهر الصيفية (من شهر يونيو إلى شهر نونبر).
- ✓ يرتبط اختيار عتبة مناسبة للشح المائي بالخصوصيات المناخية للحوض، فأغلب الدراسات في السياقات المناخية المتوسطية والمحيطية اقترحوا الصبيب اليومي المصنف بنسبة 90% و95% (**Q_{90}** و **Q_{95}**) كعتبات لدراسة هذا الحدث. ونظرا للخصوصيات المناخية للأحواض المدروسة (المناخ شبه الجاف) كان لابد من اختيار عتبة أعلى تلائم خصوصيات الجريان في هذه الأحواض.

واعتمادا على الدراسة الإحصائية التي أجريناها فقد تبين أن الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% (Q_{75}) هو عتبة ملائمة لبدء فترة الشح المائي بالنسبة لحوضي الدراسة.

خلاصة

على أساس تحليل مفصل لسجلات الصبيب على المستوى الشهري واليومي، تم تحديد عتبة بدء فترات الشح المائي انطلاقا من مؤشر الصبيب المصنف (Q_{75})، والتي تم اعتبارها عتبة ملائمة للإعلان عن بداية هذه الفترات.

بالإضافة للتحليل الإحصائي والدراسة المقارنة التي تم الخوض فيها، فإن اختيار عتبة ظهور فترات الشح المائي يمكن أن يشوبها نوع من الذاتية حسب خصوصيات الطبيعية والبشرية لحوض الدراسة، وكذا الأهداف التي تتوخاها الدراسة في هذا الشأن.

وتعتبر مرحلة اختيار عتبة الظهور نقطة بداية لسن عدد من الإجراءات وتدابير، للتعامل مع هذا الوضع الهيدرولوجي، لتفادي بلوغ مستويات شح حاد. وهو ما سيتم التطرق له خلال المحور الموالي.

خاتمة الفصل الثامن

من خلال مقارنة مؤشرات صبيب الشح المستخلصة اعتمادا على مقاييس زمنية ثابتة (معدل الصبيب الشهري الأدنى ومتحركة معدل الصبيب اليومي الأدنى)، بالإضافة إلى المؤشرات المستخلصة من منحنى الصبيب المصنف، تم التوصل إلى النتائج التالية:

- شبه تطابق لنتائج استخلاص معدل الصبيب الشهري الأدنى ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما. كما أظهر التقويم الزمني لتاريخ بداية حساب المعدلين أن 80% من الفترات ترددت خلال شهري يوليوز وغشت وشتنبر.
- تقارب معدلات الصبيب الشهري الأدنى لفترة الرجوع سنتين ((QMNA(2)) ومعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 و60 يوما لفترة الرجوع سنتين ((VCN30(2) و (VCN60(2)) من التردد المتجاوز 80% المستخلص من منحنى الصبيب اليومي المصنف. علما أن هذا الأخير أفرز نسبة 82% من السنوات تحت العتبة؛
- شكل الصبيب المُميّز للشح (DCE) والصبيب اليومي المصنف بنسبة 95% (Q_{95}) عتبة منخفضة للغاية، لأنها أفرزت أكثر من 50 % من السنوات دون الشح المائي.
- أفرز الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% (Q75) فترات تحت العتبة بنسبة 85 % من عدد السنوات بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل و 90 % بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف).
- يتموقع الصبيب المنوال ما بين **75% و 80%** من منحنى الصبيب اليومي المصنف بحوضي الدراسة؛
- أفرزت العتبات الأقل من **75%** من منحنى الصبيب المصنف فترات عجز ممتدة لبعض السنوات، فيما أفرزت العتبات الأكثر من **75%** (بين 75 و 90%) فترات عجز ذات الامتداد الزمني القصير إلى المتوسط.

على ضوء النتائج التي تم التوصل عليها، تم اقتراح الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% (Q_{75}) كعتبة ملائمة لبدء فترة الشح المائي بالنسبة لحوضي الدراسة.

وقد تمت مراعاة، في اختيار هذا المؤشر، عدم الخلط بين ظهور الأحداث المتطرفة كحالات الجفاف المتعدد السنوات، وعدم الاقتصار على الأحداث النادرة والقليلة جدًا. لذا حاولنا من خلال الدراسة الإحصائية لعدد من المؤشرات اختيار وضع حد متوازن لتحديد قيم الصبيب المتعلقة بالشح المائي.

الفصل التاسع: النضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978-2016)

مقدمة الفصل التاسع

كشف الجفاف المناخي الذي شهدته سنوات الثمانينيات والتسعينيات عن الهشاشة الكبيرة في الموارد المائية، بالإضافة إلى ضعف الإمكانات البشرية في مواجهة وتدبير الخصاص المائي. إن تدبير الوضعية المائية الراهنة والمستقبلية رهين بدراسة إحصائية للمعطيات الهيدرولوجية التاريخية، من خلال تحليل مختلف فترات الوفرة والندرة التي مر منها المجرى المائي. وتعتبر دراسة النضوب المائي مرحلة أساسية لفهم الميكانيزمات التي تتحكم في تغذية المجاري المائية، حيث تمكننا معالجة وتحليل المعطيات التاريخية من فهم الاشتغال الهيدرولوجي للحوض النهري، وبالتالي إمكانية التنبؤ بالوضع المستقبلي وأخذ التدابير الاستباقية من أجل تفادي الأزمات الناتجة عن الخصاص المائي.

سنتّبع في استخراج وتحليل ومعالجة النضوب المائي مجموعة من الإجراءات، والخطوات من خلال محورين، سيتم تقديمهما على الشكل التالي:

المحور 19: بعد اختيار الطريقة الملائمة، وتحديد المتغيرات المعتمدة لاستخراج حلقات النضوب المائي، تأتي مرحلة معالجة البيانات واستخلاص خصائص المنحنيات. إن تحديد قيمة متوسطة تمثل معامل النضوب المائي مسألة ضرورية، وذلك بهدف تحديد خصائص ووتيرة تفريغ الطبقات الجوفية؛

المحور 20: سيتم في مرحلة ثانية حساب معامل تفريغ الطبقات الجوفية من أجل تحديد الصبيب الأساس انطلاقا من معاملات النضوب المائي، وذلك بهدف معرفة مدى مساهمة الفرشة الباطنية في تغذية المجرى المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) خلال فترات الشح المائي والسنوات الجافة.

يتجلى الهدف الأساسي من هذا التحليل في تحديد التغايرية الزمنية والمجالية لمعاملات النضوب المائي، ومقاربة خصائص وإيقاعات تفريغ الطبقات الجوفية، ومحاولة تفسير ذلك بالخصوصيات الصخارية لحوضي الدراسة.

المحور 19: استخلاص وتحليل فترات النضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

من أجل تحديد دور طبقات المياه الجوفية خلال فترة الشح المائي وتقدير التغذية الباطنية في إمدادات المجاري المائية، تم اختبار عدة طرق على مجموعة من الأحواض النهرية ذات السياقات الهيدروجيومورفولوجية المتنوعة. لذا سيتم، في مرحلة أولى، اختيار الطريقة الأكثر اعتمادا من طرف الباحثين. وهي الطريقة التحليلية التي تعتمد على العلاقة الخطية بين معدل الصبيب وحجم المياه المخزنة في نفس الوقت. والأعمال الأولى المنشورة حول هذا الموضوع هي أعمال Boussinesq (Boussinesq, 1904) و Maillet (Maillet, 1905)، ولا يزال نهج النموذج الخطي هذا أكثر استخداما في البيئة الكارستية.

I. تذكير : تعريف النضوب المائي

تم تعريف النضوب المائي " مرحلة من الجريان لمجرى أو منبع مائي يتوافق مع الانخفاض المطرد للصبيب في غياب أي مساهمة مناخية أو تدخل بشري " (Dacharry ,1997). وبالتالي، فإن الانخفاض في الصبيب هو نتيجة لغياب التساقطات المطرية والتأثير البشري المستمر. خلال هذه الفترات، يتم تغذية الأنهار فقط من خلال مناسيب المياه الجوفية التي تستمر في التناقص بوتيرة مضطردة.

يوافق النضوب المائي جزء الرسم البياني للصبيب في عملية الانحدار في حالة عدم وجود أي تأثير مناخي، والتي تأخذ أشكالها بشكل أساسي استنادا إلى الخصائص الجيولوجية للأحواض النهرية. يتم تفريغ المياه الجوفية خلال هذه المراحل بسرعات مختلفة في الزمان والمكان. لذلك فإن مراحل النضوب المائي معقدة للغاية، ولا يمكن قياسها بسهولة (Tallaksen, 1995). لكن، يمكن تطبيق القوانين التي تتحكم في نضوب العيون على صبيب الأنهار، حيث أن مصدر الجريان السطحي في الأصل هي هذه المنابع.

إن تحليل النضوب المائي يمكّن من وصف كيفية اشتغال الخزانات الجوفية المختلفة الموجودة في تصريف الحوض أثناء فترات الشح المائي (Griffiths Et Clausen, 1997) كما يعطي فكرة عن خصائص المرونة للنظام.

II. أهداف دراسة النضوب المائي

إن تحليل العمليات المتعلقة بنضوب المجاري المائية هو جانب أساسي في فهم الاشتغال الهيدرولوجي للأحواض النهرية خلال فترات الشح المائي. الهدف الرئيسي من تحليل النضوب المائي هو تحديد معاملاته التي تعكس معدلات تفريغ طبقات المياه الجوفية، وفي علاقتها بالخصائص الهيدروجيولوجية للحوض النهري. وهكذا فإن دراسة وتيرة النضوب المائي تجعل من الممكن توصيف تردد أحداث الشح المائي وبالتالي مقاومة الأحواض النهرية للجفاف. إن دراسة وتيرة الجريان الجوفي تتيح إمكانية التنبؤ بالجريان السطحي خلال فترات الشح المائي. وتعتبر توقعات مستويات الصبيب، انطلاقا من بيانات الصبيب على المستوى اليومي تحت فرضية غياب التساقطات المطرية، مسألة مهمة في تدبير فترات الخصاص على المدى القريب والمتوسط وتفادي وقوع الأزمات بين مختلف مستعملي الماء. تستند هذه التوقعات إلى معرفة دقيقة بخصائص النضوب المائي للحوض النهري ودراسة هامش التنبؤ اعتمادا على نماذج إحصائية.

بالتالي، يتيح تحليل النضوب المائي تقدير مخزون المياه الجوفية الموجهة للجريان السطحي، وضمان تلبية احتياجات مختلف المستخدمين (السقي والصناعة والسياحة...)، وفي نفس الوقت الحفاظ على جودة الأوساط البيئية.

III. اختيار طريقة استخلاص فترات النضوب المائي

انطلاقا من مقارنة الطرق الثلاثة لاستخراج فترات النضوب المائي (الفصل الثالث) يتضح أن طريقة المنحنى المغلف يمكن أن تفضي إلى اختيارات ذاتية لا تتوافق مع المنهج العلمي، تتعلق أساسا بالتأثيرات المناخية التي يمكنها أن تخفي بعد مظاهر النضوب المائي. كما أن طريقة المنحنى التنازلي تتميز إلى حد ما بنفس مساوئ المنحنى المغلف، بمعنى أنه لا يوجد ضمان للعملية الكمية. غير أن هذه الطريقة من خلال عملية الاختيار، تُمكّن من الاحتفاظ

بالضرورة بالصبيب المتناقص (Décrue) أو الإفراغ، بينما يكمن الهدف من تحليل النضوب المائي في حذف قيم الصبيب التي يحتمل أن تكون متأثرة بالجريان السطحي.

يتم ضمان صبيب المجاري المائية فقط من خلال إفراغ احتياطيات الخزانات الجوفية، خلال فترة الشح المائي، بالتالي، يمكن تحليل هذه المساهمة استنادا إلى تحديد النضوب المائي (Tarissement). هذا يُمكّننا من تقريب معدل تفريغ احتياطيات الخزان الجوفي اعتمادا على قوانين مختلفة تقترح حساب معامل النضوب المائي (Dewandel et al, 2003). لحساب هذا المعامل، وقع الاختيار على قانون (Maillet, 1905) الأكثر استخدامًا ويتم تحديده بواسطة معادلة في الشكل الأسي (Tallaksen, 1995): $Q_t = Q_0 \times e^{-\alpha t}$ حيث Q_0 هو الصبيب الأولي لفترة النضوب المائي، Qt الصبيب بعد زمن t و α المعامل الزاوي لخط التراجع المنتظم.

عندما يتم رسم قيم الصبيب المرصودة على محور الأراتيب (بالمقياس اللوغاريتمي) والمدة الزمنية (اليوم) على محور الأفاصيل، يتم الحصول على عناصر الحساب بيانياً. ويفسر قانون (Maillet, 1905) بوضوح الانخفاض في معدلات صبيب المجرى المائي عندما يتم تغذية الشح المائي بواسطة منسوب مائي بسيط ومتجانس.

غالبًا ما تصبح مقاطع الخط المتتالية فردية بشكل واضح، مفصولة بنقاط انعطاف، بحيث يمكن بعد ذلك تمييز العديد من معاملات النضوب المائي (Larue et Giret, 2004). تشير هذه القيم المتتالية في الواقع إلى أنماط تغذية ذات طبيعة مختلفة: تمثل أعلى القيم إفراغ خزانات الإمتطاحات السريعة (الجريان السطحي وشبه السطحي) بينما تكشف القيم المنخفضة عن إفراغ طبقات المياه الجوفية. الموجودة في الصخور المسامية، أو في مناطق الشقوق.

ترتكز طريقة استخلاص مراحل النضوب المائي على اختيار قيم الصبيب المتناقصة خلال المراحل التي لا تتأثر بالتساقطات المطرية. غير أنه يمكن الاحتفاظ بالفترات التي يمكن ألا تتأثر بكميات للتساقطات المطرية الضعيفة حيث يتم تحديدها حسب نوع المناخ وكميات التبخر-النتح المميزة للمجال.

تحدث (Roche, 1963) ثم (Larras, 1972) عن المنحنى المغلف على أنه المغلف السفلي للمنحنى الهيدرولوجي، أي المنحنى المماس للنقط الدنيا (الفصل الثالث). لذلك يمكن أن تدمج هذه الطريقة فترات الصبيب المرتبطة بحلقات التساقطات المطرية. هذه الطريقة تعارض نهجًا أكثر صرامة يتمثل في اختيار قيم الصبيب المتناقصة بشكل متتالي، والتي لا تتأثر بشكل صارم بالتساقطات المطرية. صنف (Gille et Lang, 2006) هذين النهجين على التوالي على أنهما "طريقة المنحنى المغلف" و "طريقة المنحنى التسلسلي". كما تم استنتاج، فيما يتعلق بالتنبؤ بمعدلات صبيب الشح، أن نهج المنحنى التسلسلي يتوافق بشكل أوثق مع أهداف تحديد الأنواع المختلفة من المدخلات التي يوفرها تفريغ طبقات المياه الجوفية.

وبالتالي، فإن اعتماد طريقة المنحنى التسلسلي إجراء منهجي يجعل من الممكن وضع معايير اختيار صارمة تضمن خصائص النضوب المائي. بالإضافة إلى ذلك، إذا كان بالإمكان برمجة الإجراء تلقائيًا للاختيار فترات النضوب المائي، فيمكن مراعاة عنصر تحكم ثانٍ يؤديه الباحث.

وأخيرا، تبقى طريقة استخراج فترات النضوب المائي باستعمال طريقة المنحنى التسلسلي أكثر صرامة، باعتمادها على مجموعة من معايير الاختيار لتحديد الفترات بشكل دقيق من جهة، ولاحترامها قواعد تعريف النضوب المائي من جهة أخرى.

IV. المعطيات والمتغيرات المعتمدة في استخلاص فترات النضوب المائي

تعتبر عملية اختيار المنحنيات التسلسلية يدويا صعبة ومرهقة. لذا اعتمدت (Lang, 2007) في استخلاصها على خوارزميات تحدد فيها الشرطين المتعلقين بتعريف النضوب المائي: الأول يحدد متتالية الصبيب التنازلي والثاني الصبيب غير المتأثر بالتساقطات المطرية. ومع ذلك، فإن هذين المعيارين وحدهما غير كافيين، لأنه يجب حذف معدلات الصبيب التي تتأثر إما بعملية إفراغ الجريان السطحي في بداية التسلسل، أو بفعل التأثير البشري، أو بعوامل أخرى. وتتكون الخوارزمية التي تم اقتراحها من مرحلتين: المرحلة الأولى يتم من خلالها تحديد المتغيرات المعتمدة في استخلاص فترات النضوب المائي، والثانية تحديد حدود فترات النضوب المائي.

1. البيانات المستعملة في استخلاص فترات النضوب المائي

لتفعيل برنامج استخلاص فترات النضوب المائي سنعتمد على المعطيات الهيدروميناخية، التي تم الحصول عليها من وكالة الحوض المائي لأم الربيع:

التساقطات المطرية اليومية: نعتمد التساقطات المطرية اليومية كمُدخل أساسي لتحديد فترات الصبيب التي لا تتأثر فعلا بها. توافق بيانات التساقطات المطرية الفترة المشتركة مع بيانات الصبيب الممتدة على طول 39 سنة (1978-2016).

الصبيب اليومي: هذه البيانات ضرورية في تحديد واستخلاص فترات النضوب المائي. والتي تتوافق مع معطيات الصبيب المقيسة عند منفذ الأحواض المدروسة على مستوى محطتي أيت تمليل وتمسماط على مدى السلسلة الإحصائية (1978-2016).

2. المتغيرات المعتمدة في استخراج فترات النضوب المائي

لاستخلاص فترات النضوب المائي يجب تحديد ثلاث متغيرات أساسية، ويتعلق الأمر بعتبة صبيب بداية فترة النضوب المائي وعتبة التساقطات المطرية الفعالة أو الدالة ثم المدة الأدنى لفترة النضوب المائي.

- **عتبة صبيب بداية فترة النضوب المائي (Q_0)**

نعني بعتبة صبيب بداية فترة النضوب المائي أنه ما فوق عتبة معينة لا يمكن أن نعتبر الصبيب ممثلا للنضوب المائي. وبالتالي، سنقوم بحذف جميع الفترات التي يكون فيها الصبيب يفوق معدل السلسلة الإحصائية. يشكل معدل الصبيب قيمة عالية إلى حد ما، ولكنها ليست سوى إجراء تلقائي يؤدي إلى فرز أولي قبل تقديم معايير اختيار أكثر دقة. وبالتالي عتبة صبيب بداية فترة النضوب المائي بالنسبة لمحطة أيت تمليل هي 4,1 م^3/ث وبالنسبة لمحطة تمسماط 8,9 م^3/ث.

- **عتبة التساقطات المطرية الفعالة (SPS)**

لا يمكن للتساقطات المطرية التأثير على الصبيب أقل من عتبة معينة، خاصة خلال الفترات الحارة التي يصل فيها التبخر إلى 8 ملم/اليوم (Oudin et al, 2005). وللتبسيط، تم اعتماد 5 ملم/اليوم كعتبة للتساقطات المطرية المعبرة (**S**euil de **P**récipitations **S**ignificatives)، والتي توافق قيمة معدل ETP اليومي التي تم حسابها بمحطة ايت سكمين خلال السلسلة الإحصائية (1986-2014) بالنسبة للأشهر الممتدة بين يونيو وأكتوبر (Lang, 2007). بالنسبة لتحليل النضوب المائي، ينبغي أن يكون اختيار عتبة التساقطات المطرية الفعالة أكثر صرامة لأنه، اعتمادًا على العتبة المختارة، يمكن أن يختلف عدد الفترات المحتفظ بها اختلافًا كبيرًا.

- **المدة الأدنى لفترة النضوب المائي (DMP)**

أخيرًا، من المنطقي، ألا تقل المدة الأدنى لفترة النضوب المائي (**D**urée **M**inimum des **P**hases de tarissement) عن عدد محدد من الأيام. من أجل إزالة الفترات القصيرة للغاية، تم تحديد المدة الأدنى في 5 أيام.

3. حدود فترات النضوب المائي

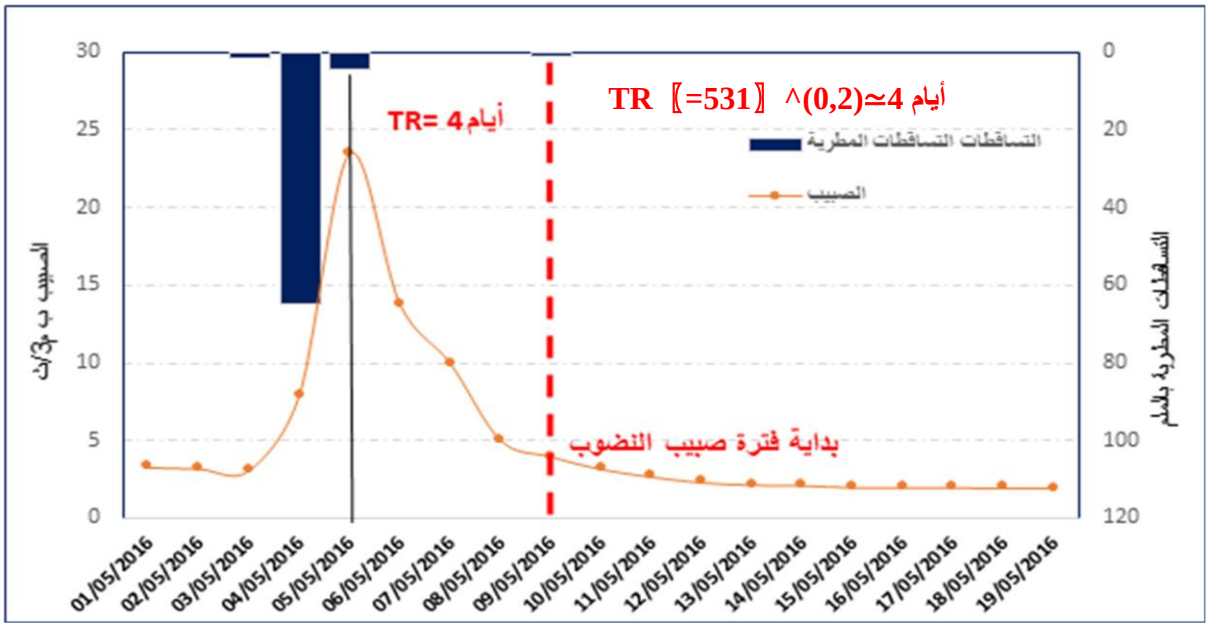
يتم التركيز في هذه المرحلة على التحقق من تجانس الفترات المحددة سابقًا. من أجل إزالة معدلات الصبيب التي لا تزال متأثرة بالصبيب السطحي في بداية فترة النضوب المائي. وبالتالي سنعتمد إجراءين متكاملين:

- **المدة المخصصة للإفراغ Temps de Ressuyage (TR)**

يتعلق الإجراء الأول بتقديم الحد الأدنى لفترة الإفراغ بين نهاية فترة التساقطات المطرية وبداية فترة النضوب المائي. ويتم تحديد فترة الإفراغ حسب الصيغة التالية: $TR = A^{0,2}$ وهي الصيغة التي تُستعمل غالبا في الدراسات الهيدرولوجية (Rutledge et Daniel, 1994)، حيث A هي مساحة الحوض النهري ب كلم^2 وTR مدة الإفراغ بالأيام. هذه الصيغة لديها ميزة هي إمكانية تطبيقها بشكل منهجي، ورغم ذلك، لا يمكن أن تكون الأمثل بسبب

الخصائص الطبيعية لكل حوض نهري. لهذا السبب نضيف إجراءً ثانيا يهدف إلى التحقق من اختيار معدل الصبيب Q_0.

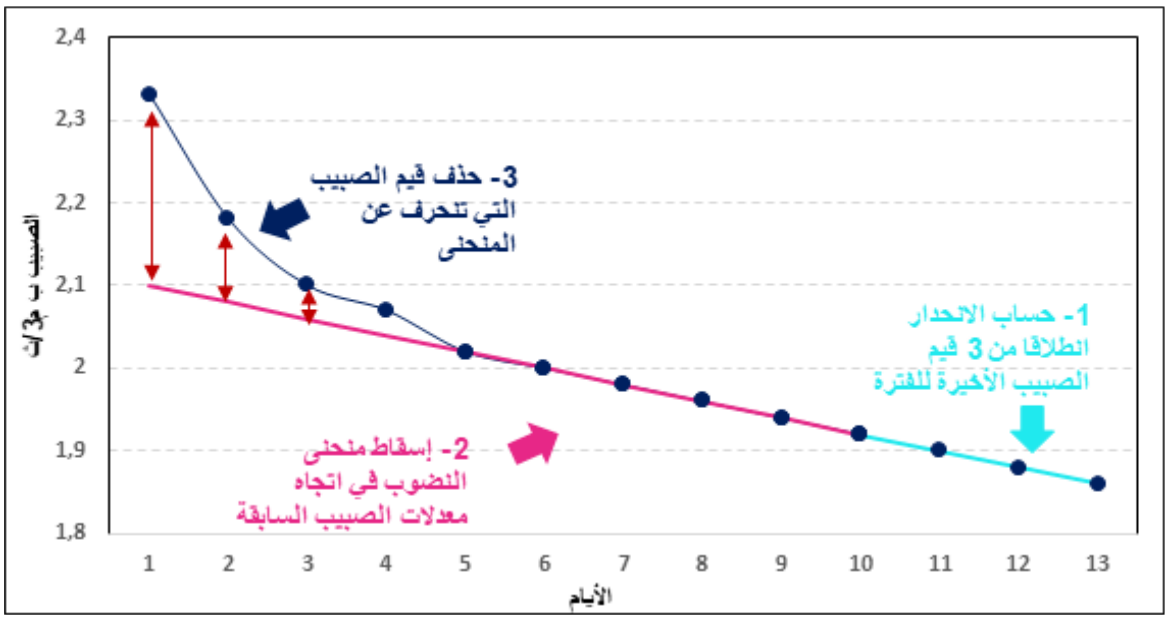
مبيان 123: المدة المخصصة لفترة الإفراغ بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل بمساحة 531 كلم²



- **إجراء المصادقة على المدة المخصصة للإفراغ**

ترتبط الصعوبة الرئيسية، أثناء تحليل فترة النضوب المائي، باختيار صبيب البداية Q_0 للفترة. من أجل التحقق من الاختيارات التي تم إجراؤها بواسطة المتغيرات السابقة، تم اقتراح طريقة المصادقة من طرف (Lang, 2007) للتحقق، أو إذا لزم الأمر، لتصحيح Q_0.

مبيان 124: المصادقة على اختيار صبيب البدء Q0 بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل



تعتمد الطريقة المقترحة على قيم الصبيب الأخيرة من فترة النضوب المائي (مبيان 124). يتم تنفيذ Q_0 على النحو التالي:

- المرحلة الأولى: حساب الانحدار انطلاقا من ثلاث قيم الصبيب الأخيرة لفترة النضوب المائي؛
- المرحلة الثانية: استقراء منحنى النضوب المائي في اتجاه معدلات الصبيب السابقة؛
- المرحلة الثالثة: حذف قيم الصبيب التي تنحرف بشكل واضح عن المنحنى الذي تم استقراؤه.

بعد عدد من المحاولات لتحديد Q_0 بداية فترة النضوب المائي، تم حساب الانحراف بين الصبيب الملاحظ والصبيب المُستقرأ، حيث حُددت في 2 %، غير أنه تم تجريب الانحراف 5 % ولم يحدث أي تغيير في فترات النضوب المائي.

وبالتالي، تم الاعتماد على خوارزمية استخراج المنحنيات التسلسلية بشكل منهجي على معدلات الصبيب اليومي لمحطتي الدراسة (أيت تمليل وتمسماط) خلال السلسلة الإحصائية (1978-2016).

V. نتـــائج استخلاص وتحليل فترات النضوب المائي

إن اختيار قيم النضوب المائي مسألة صعبة، خصوصا في الجوانب المتعلقة بتحديد بداية فترة النضوب المائي الذي يشكل الحد الفاصل بين الجريان السطحي وشبه السطحي، الذي تم التعبير عنه بزمن الإفراغ، وبين فترات النضوب المائي التي تشكل محور الدراسة في هذا المحور. ستمكننا الدراسة الإحصائية من تقييم القوانين الأساسية المطبقة على النضوب المائي للمجاري المائية بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، من خلال تبرير استخدام قانون (Maillet, 1905)، الذي اهتم بشكل خاص بطرق اختيار مراحل النضوب المائي. ويشكل المناخ شبه الجاف، الذي يتميز به مجال الدراسة، ظرفا تفضيليا في تحديد فترات النضوب المائي، التي تتردد بشكل كبير خلال كل سنة. سيتم تحديد هذه الفترات بمعايير محددة وموصوفة عن طريق معادلات خوارزمية، وسيتم تحليلها ثم تعديلها وفقا لقوانين فيزيائية.

1. معالجة وتحليل المنحنيات التسلسلية للنضوب المائي

سنعمل في مرحلة أولى على استخلاص ومعالجة المنحنيات التسلسلية، اعتمادا على قاعدة البيانات المتوفرة لدينا بمحطتي الدراسة (الصبيب اليومي والتساقطات المطرية اليومية). والهدف هو دراسة وتيرة الصبيب أثناء فترات النضوب المائي، وتغيرات مدة هذه الفترات وترددها على المستوى الشهري والسنوي.

1.1. دراسة المنحنيات التسلسلية على المستوى السنوي

تتم عملية التحقق والمصادقة من فترات النضوب المائي المستخرجة تلقائيا بطريقة يدوية. وقد تم حذف بعض الفترات التي بدت أنها لا تمثل فعلا نضوبا مائيا، خصوصا تلك التي تقع في فصول الشتاء، حيث أنها تُظهر منحنى غير منتظم رغم مجموع المتغيرات التي تم ضبطها مسبقا.

1.1.1 استخلاص المنحنيات التسلسلية

بعد ضبط المتغيرات المُحددة مسبقا، وبعد إجراءات تعديل صبيب بداية الفترة Q_0، تم استخلاص فترات النضوب المائي، التي بلغت 177 فترة بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل و198 فترة بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف).

جدول 54: خصائص المنحنيات التسلسلية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)

المحطة	المجرى المائي	عدد الفترات	المدة الأقصى للفترة (يوم)	α الأدنى	α الأقصى	معامل التغيير ل α
أيت تمليل	الحوض الفرعي لواد أيت تمليل	177	26	0,005	0,170	% 52
تمسماط	حوض تساوت (عالية سد م يوسف)	198	28	0,015	0,227	% 41

جدول 55: استخلاص فترات النضوب المائي بمحطة أيت تمليل (1978-2016)

السنوات	تاريخ بداية فترات النضوب المائي	عدد أيام الفترات	عدد فترات السنة	معدل صبيب فترة النضوب المائي (م3/ث)	معامل فترة النضوب المائي	المعدل السنوي للنضوب المائي	المعامل الأدنى خلال السنة	المعامل الأقصى خلال السنة
1979	17/06/1979	5	5	3,63	0,0409	0,0429	0,0309	0,0709
	23/06/1979	6		2,76	0,0709			
	06/07/1979	6		1,88	0,0309			
	22/07/1979	6		1,23	0,0394			
	04/08/1979	6		1,00	0,0323			
1980	03/02/1980	11	4	3,15	0,0275	0,0274	0,0252	0,0312
	11/06/1980	23		3,14	0,0257			
	17/07/1980	7		1,82	0,0312			
	26/10/1980	5		2,38	0,0252			
1981	01/05/1981	5	6	3,73	0,0562	0,0294	0,0211	0,0562
	19/05/1981	7		2,92	0,0211			
	20/06/1981	9		2,39	0,0240			
	30/06/1981	8		1,99	0,0264			
	15/09/1981	5		1,70	0,0252			
	30/10/1981	6		1,87	0,0233			
1982	07/06/1982	7	5	3,27	0,0735	0,0439	0,0188	0,0735
	15/06/1982	5		2,56	0,0342			
	22/06/1982	5		2,24	0,0201			
	12/07/1982	6		1,83	0,0188			
	31/08/1982	6		1,46	0,0732			
1983	11/11/1983	5	3	2,35	0,0369	0,0308	0,0246	0,0369
	25/11/1983	12		1,87	0,0310			
	24/12/1983	6		1,44	0,0246			
1984	25/01/1984	5	8	1,10	0,0226	0,0367	0,0183	0,0771
	30/03/1984	6		1,20	0,0771			
	25/05/1984	6		1,74	0,0345			
	04/06/1984	7		1,39	0,0267			
	19/06/1984	5		1,16	0,0360			
	21/11/1984	5		1,15	0,0183			
	02/12/1984	5		1,66	0,0581			
	31/12/1984	5		1,50	0,0200			
1985	23/01/1985	9	6	2,82	0,0362	0,0324	0,0247	0,0409
	14/03/1985	6		2,54	0,0247			
	22/05/1985	5		2,29	0,0264			
	09/06/1985	9		1,60	0,0368			
	19/06/1985	10		1,22	0,0296			
	29/11/1985	9		1,78	0,0409			
1986	22/05/1986	6	3	2,16	0,0187	0,0325	0,0187	0,0409
	14/06/1986	5		2,10	0,0409			
	24/06/1986	6		1,80	0,0378			
1987	29/04/1987	5	8	2,87	0,0901	0,0543	0,0197	0,0976
	15/05/1987	10		2,44	0,0976			
	15/06/1987	5		1,21	0,0197			
	07/09/1987	8		1,14	0,0449			
	12/10/1987	6		1,31	0,0268			
	12/11/1987	12		2,29	0,0633			
	15/12/1987	6		3,60	0,0431			
	22/12/1987	10		2,41	0,0485			
1988	13/07/1988	10	4	3,59	0,0283	0,0363	0,0245	0,0528
	30/07/1988	5		3,00	0,0394			
	22/09/1988	6		3,18	0,0528			
	25/10/1988	6		3,85	0,0245			

السنوات	تاريخ بداية فترات النضوب المائي	عدد أيام الفترات	عدد فترات السنة	معدل صبيب فترة النضوب المائي (م3/ث)	معامل فترة النضوب المائي	المعدل السنوي للنضوب المائي	المعامل الأدنى خلال السنة	المعامل الأقصى خلال السنة
1989	04/08/1989	6	2	3,31	0,0497	0,0472	0,0447	0,0497
	06/09/1989	9		2,42	0,0447			
1990	12/06/1990	6	8	3,03	0,0207	0,0204	0,0113	0,0378
	22/06/1990	10		2,59	0,0172			
	09/07/1990	6		2,10	0,0378			
	21/07/1990	5		1,81	0,0154			
	03/08/1990	5		1,67	0,0143			
	30/08/1990	11		1,24	0,0348			
	16/10/1990	5		1,96	0,0118			
	19/11/1990	5		1,85	0,0113			
1991	09/05/1991	12	2	3,10	0,0306	0,0182	0,0057	0,0306
	29/05/1991	26		2,42	0,0057			
1992	18/04/1992	6	2	3,27	0,0305	0,0297	0,0289	0,0305
	09/08/1992	7		2,09	0,0289			
1993	13/04/1993	10	3	2,30	0,0482	0,0416	0,0190	0,0577
	07/08/1993	5		0,95	0,0190			
	19/12/1993	15		2,15	0,0577			
1994	10/02/1994	5	9	0,98	0,0436	0,0395	0,0064	0,1589
	14/04/1994	6		1,43	0,1589			
	15/07/1994	7		1,57	0,0064			
	31/07/1994	5		1,44	0,0145			
	15/08/1994	17		1,12	0,0229			
	02/09/1994	15		1,08	0,0168			
	04/11/1994	12		1,96	0,0168			
	29/11/1994	25		2,00	0,0076			
	25/12/1994	8		1,68	0,0676			
1995	17/02/1995	7	6	1,78	0,0166	0,0204	0,0089	0,0398
	11/06/1995	5		3,39	0,0089			
	22/08/1995	9		2,38	0,0198			
	08/09/1995	7		2,30	0,0198			
	16/10/1995	7		2,42	0,0179			
	21/12/1995	5		2,83	0,0398			
1996	01/01/1996	7	3	1,55	0,0288	0,0163	0,0068	0,0288
	19/08/1996	8		3,69	0,0133			
	17/09/1996	5		3,52	0,0068			
1997	11/03/1997	5	6	3,86	0,0258	0,0203	0,0082	0,0345
	03/07/1997	11		3,48	0,0155			
	15/07/1997	5		3,16	0,0082			
	14/09/1997	7		3,62	0,0345			
	10/10/1997	10		2,95	0,0246			
	27/11/1997	6		3,02	0,0134			
1998	06/07/1998	9	1	3,81	0,0118	0,0118	0,0118	0,0118
2000	08/02/2000	6	7	1,86	0,0118	0,0234	0,0118	0,0488
	15/02/2000	10		1,60	0,0203			
	25/05/2000	6		3,45	0,0488			
	10/06/2000	6		3,22	0,0302			
	01/07/2000	6		2,71	0,0141			
	08/07/2000	5		2,56	0,0173			
	20/09/2000	8		1,87	0,0214			
2001	18/02/2001	7	2	3,40	0,0664	0,0480	0,0296	0,0664
	22/03/2001	6		2,53	0,0296			
2002	22/01/2002	6	5	1,65	0,0159	0,0559	0,0159	0,1293
	28/04/2002	5		2,58	0,1293			
	10/06/2002	6		2,29	0,0414			
	06/09/2002	11		1,29	0,0657			
	22/12/2002	10		1,75	0,0270			

السنوات	تاريخ بداية فترات النضوب المائي	عدد أيام الفترات	عدد فترات السنة	معدل صبيب فترة النضوب المائي (م3/ث)	معامل فترة النضوب المائي	المعدل السنوي للنضوب المائي	المعامل الأدنى خلال السنة	المعامل الأقصى خلال السنة
2003	27/02/2003	6	8	2,25	0,0983	0,0559	0,0366	0,0983
	10/03/2003	6		1,51	0,0469			
	27/06/2003	12		1,42	0,0523			
	30/07/2003	5		1,77	0,0511			
	05/09/2003	5		0,68	0,0629			
	25/09/2003	9		1,73	0,0554			
	08/10/2003	5		1,28	0,0366			
	31/12/2003	8		2,64	0,0435			
2004	07/03/2004	5	7	1,39	0,0800	0,0567	0,0391	0,0804
	24/06/2004	6		3,41	0,0391			
	13/07/2004	13		1,60	0,0453			
	06/08/2004	12		1,10	0,0804			
	26/08/2004	5		0,78	0,0540			
	15/09/2004	8		2,57	0,0544			
	24/11/2004	5		3,41	0,0436			
2005	10/12/2005	6	1	3,07	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508
2006	05/04/2006	5	3	3,33	0,0673	0,0499	0,0363	0,0673
	15/04/2006	8		2,96	0,0462			
	10/05/2006	6		2,16	0,0363			
2007	26/02/2007	23	4	2,68	0,0392	0,0727	0,0362	0,1701
	25/05/2007	5		3,72	0,0362			
	25/08/2007	13		2,00	0,1701			
	25/09/2007	5		3,35	0,0454			
2008	24/03/2008	5	4	1,62	0,0814	0,0789	0,0217	0,1634
	02/04/2008	5		1,24	0,0490			
	04/09/2008	5		1,51	0,1634			
	15/10/2008	5		0,78	0,0217			
2009	26/06/2009	7	5	3,70	0,0329	0,0877	0,0329	0,1543
	12/07/2009	6		2,18	0,1543			
	22/07/2009	17		1,85	0,0681			
	30/09/2009	16		1,54	0,0830			
	27/12/2009	5		1,21	0,1003			
2010	29/06/2010	6	4	3,06	0,0455	0,0695	0,0455	0,1194
	01/08/2010	6		1,04	0,1194			
	20/08/2010	5		0,63	0,0596			
	23/09/2010	13		2,68	0,0533			
2011	23/02/2011	8	5	1,47	0,0737	0,0594	0,0421	0,0865
	06/07/2011	5		1,94	0,0455			
	31/08/2011	13		1,52	0,0421			
	29/10/2011	6		1,79	0,0493			
	15/12/2011	5		2,37	0,0865			
2012	03/03/2012	5	3	1,89	0,0339	0,0443	0,0339	0,0545
	31/05/2012	5		2,81	0,0545			
	10/07/2012	5		2,21	0,0443			
2013	10/06/2013	8	5	2,82	0,0345	0,0470	0,0257	0,0950
	18/07/2013	9		1,62	0,0460			
	23/09/2013	7		2,61	0,0950			
	08/10/2013	5		1,24	0,0337			
	06/11/2013	7		1,37	0,0257			
2014	30/05/2014	5	6	2,22	0,0346	0,0537	0,0299	0,0966
	29/06/2014	8		1,22	0,0299			
	26/07/2014	5		0,67	0,0421			
	12/09/2014	7		0,29	0,0797			
	28/09/2014	12		1,59	0,0966			
	12/10/2014	5		0,92	0,0395			
	14/08/2015	6		3,57	0,0332			

السنوات	تاريخ بداية فترات النضوب المائي	عدد أيام الفترات	عدد فترات السنة	معدل صبيب فترة النضوب المائي (م3/ث)	معامل فترة النضوب المائي	المعدل السنوي للنضوب المائي	المعامل الأدنى خلال السنة	المعامل الأقصى خلال السنة
2015	02/09/2015	8	4	2,64	0,0498	0,0293	0,0170	0,0498
	06/11/2015	13		3,39	0,0170			
	16/12/2015	10		2,42	0,0171			
2016	28/01/2016	4	10	1,49	0,0432	0,0344	0,0158	0,0774
	13/03/2016	6		3,47	0,0272			
	19/04/2016	11		3,53	0,0252			
	17/05/2016	8		3,22	0,0460			
	30/05/2016	8		2,49	0,0287			
	08/06/2016	17		1,82	0,0248			
	02/07/2016	6		1,40	0,0302			
	11/07/2016	5		2,07	0,0774			
	01/10/2016	6		3,80	0,0158			
	15/11/2016	7		3,65	0,0252			

جدول 56: استخلاص فترات النضوب المائي بمحطة تمسماط (1978-2016)

السنوات	تاريخ بداية فترات النضوب المائي	عدد أيام الفترات	عدد فترات السنة	معدل صبيب فترة النضوب المائي	معامل فترة النضوب المائي	المعدل السنوي للنضوب	المعامل الأدنى خلال السنة	المعامل الأقصى خلال السنة
1978	21/06/1978	7	6	4,89	0,0231	0,0458	0,0231	0,0458
	06/07/1978	10		3,26	0,0398			
	22/07/1978	5		2,35	0,0388			
	01/10/1978	10		2,59	0,0746			
	31/10/1978	6		2,87	0,0418			
	10/11/1978	7		3,08	0,0569			
1979	23/06/1979	5	2	4,08	0,0424	0,0411	0,0398	0,0411
	05/07/1979	16		2,54	0,0398			
1980	04/02/1980	10	2	4,88	0,0353	0,0366	0,0353	0,0366
	09/10/1980	7		4,07	0,0378			
1981	28/05/1981	5	6	4,97	0,0194	0,0334	0,0194	0,0334
	03/06/1981	5		4,51	0,0216			
	18/06/1981	7		3,29	0,0513			
	30/06/1981	6		2,53	0,0350			
	08/07/1981	5		2,08	0,0414			
	08/11/1981	6		2,73	0,0318			
1982	23/01/1982	6	11	4,11	0,0361	0,0776	0,0231	0,0776
	06/03/1982	8		4,35	0,0231			
	21/03/1982	9		4,55	0,0369			
	21/05/1982	5		5,42	0,0297			
	03/06/1982	11		4,23	0,0429			
	15/06/1982	6		3,45	0,0673			
	13/07/1982	9		1,55	0,0580			
	03/08/1982	5		0,93	0,0840			
	14/08/1982	7		1,33	0,1901			
	28/08/1982	9		1,98	0,1851			
	20/09/1982	7		1,95	0,1010			
1983	26/02/1983	5	9	4,01	0,0276	0,0346	0,0180	0,0346
	11/03/1983	8		2,78	0,0374			
	09/04/1983	10		3,16	0,0180			
	26/04/1983	7		2,38	0,0199			
	16/06/1983	10		1,84	0,0245			
	02/07/1983	7		1,59	0,0387			
	02/09/1983	5		1,66	0,0835			
	23/11/1983	9		3,79	0,0296			

السنوات	تاريخ بداية فترات النضوب المائي	عدد أيام الفترات	عدد فترات السنة	معدل صبيب فترة النضوب المائي	معامل فترة النضوب المائي	المعدل السنوي للنضوب	المعامل الأدنى خلال السنة	المعامل الأقصى خلال السنة
	22/12/1983	6		3,58	0,0319			
1984	09/02/1984	6	8	2,05	0,0395	0,0405	0,0312	0,0405
	02/03/1984	5		1,81	0,0533			
	02/04/1984	8		4,26	0,0453			
	26/05/1984	8		5,00	0,0312			
	09/06/1984	7		3,92	0,0431			
	16/07/1984	8		1,87	0,0423			
	21/11/1984	5		3,20	0,0373			
	09/12/1984	6		3,76	0,0318			
1985	02/06/1985	28	6	4,00	0,0156	0,0762	0,0156	0,0762
	19/07/1985	6		3,35	0,0924			
	26/07/1985	5		2,90	0,1485			
	29/08/1985	5		1,43	0,0435			
	16/09/1985	5		2,35	0,1028			
	06/10/1985	5		2,28	0,0541			
1986	14/01/1986	6	6	4,18	0,0348	0,0681	0,0348	0,0681
	14/05/1986	14		3,98	0,0358			
	21/06/1986	5		1,96	0,0600			
	06/07/1986	5		1,51	0,0472			
	12/07/1986	5		1,24	0,0818			
	18/07/1986	5		0,96	0,1489			
1990	21/02/1990	10	8	7,84	0,0307	0,0658	0,0307	0,0658
	30/04/1990	5		7,43	0,0711			
	09/06/1990	9		5,18	0,1120			
	24/06/1990	7		2,30	0,0607			
	02/07/1990	20		1,17	0,0762			
	16/08/1990	8		3,26	0,0532			
	27/08/1990	8		2,35	0,0405			
	29/09/1990	5		7,59	0,0819			
1991	29/07/1991	8	8	4,17	0,0842	0,0664	0,0235	0,0664
	26/08/1991	6		1,89	0,1863			
	07/09/1991	5		3,56	0,0235			
	05/10/1991	5		3,22	0,0676			
	20/10/1991	6		3,19	0,0474			
	27/10/1991	5		2,59	0,0523			
	21/12/1991	5		8,01	0,0369			
	28/12/1991	5		6,84	0,0332			
1992	09/08/1992	5	2	6,40	0,1468	0,1064	0,0660	0,1064
	20/08/1992	7		3,97	0,0660			
1993	12/01/1993	5	7	3,65	0,0677	0,0435	0,0323	0,0435
	16/04/1993	7		7,03	0,0615			
	10/05/1993	7		4,82	0,0353			
	23/05/1993	5		5,00	0,0337			
	02/06/1993	8		4,10	0,0381			
	26/11/1993	6		7,15	0,0358			
	20/12/1993	7		7,69	0,0323			
1994	12/01/1994	5	4	8,49	0,0314	0,0539	0,0171	0,0539
	11/06/1994	7		8,62	0,0304			
	02/07/1994	6		6,07	0,0171			
	11/08/1994	5		6,19	0,1368			
1995	19/02/1995	8	10	6,38	0,0448	0,0537	0,0264	0,0537
	25/05/1995	12		7,26	0,0388			
	07/06/1995	6		5,78	0,0264			
	03/07/1995	18		4,12	0,0400			
	25/07/1995	7		1,82	0,0743			
	19/08/1995	11		1,69	0,0530			
	12/10/1995	9		3,02	0,1356			

السنوات	تاريخ بداية فترات النضوب المائي	عدد أيام الفترات	عدد فترات السنة	معدل صبيب فترة النضوب المائي	معامل فترة النضوب المائي	المعدل السنوي للنضوب	المعامل الأدنى خلال السنة	المعامل الأقصى خلال السنة
	23/10/1995	10		1,48	0,0460			
	30/11/1995	7		1,84	0,0435			
	22/12/1995	5		5,16	0,0345			
1996	29/08/1996	5	1	9,02	0,0166	0,0166	0,0166	0,0166
1997	12/10/1997	7	3	4,29	0,0665	0,0417	0,0277	0,0417
	23/10/1997	11		3,21	0,0277			
	12/11/1997	5		3,25	0,0309			
1998	27/02/1998	6	6	8,36	0,0470	0,0746	0,0470	0,0746
	15/03/1998	9		4,84	0,0923			
	02/05/1998	8		6,13	0,0547			
	29/05/1998	15		2,64	0,0852			
	21/06/1998	10		1,91	0,0819			
	11/08/1998	14		5,84	0,0863			
1999	28/01/1999	10	5	5,35	0,2201	0,0943	0,0347	0,0943
	03/06/1999	17		3,15	0,0910			
	20/07/1999	5		1,26	0,0713			
	05/09/1999	7		2,00	0,0543			
	19/09/1999	9		1,26	0,0347			
2000	24/03/2000	7	4	1,33	0,0347	0,0809	0,0347	0,0809
	07/06/2000	5		3,66	0,0415			
	22/06/2000	5		2,66	0,0415			
	30/06/2000	6		1,20	0,2061			
2001	28/10/2000	5	1	4,61	0,0496	0,0496	0,0496	0,0496
2002	11/07/2002	15	5	5,18	0,0488	0,0784	0,0385	0,0784
	11/08/2002	9		1,27	0,0385			
	06/09/2002	10		1,72	0,1220			
	27/10/2002	6		1,11	0,0790			
	20/12/2002	7		4,11	0,1038			
2003	28/01/2003	6	10	3,18	0,0224	0,0595	0,0224	0,0595
	05/03/2003	7		3,29	0,0263			
	03/04/2003	6		6,81	0,0551			
	24/04/2003	5		5,05	0,0312			
	17/06/2003	11		3,28	0,0366			
	07/07/2003	6		2,08	0,0393			
	15/08/2003	5		2,80	0,2274			
	25/09/2003	9		1,39	0,0758			
	06/11/2003	5		3,26	0,0450			
	15/12/2003	13		5,97	0,0355			
2004	18/01/2004	7	6	3,75	0,0271	0,0382	0,0234	0,0382
	12/02/2004	7		2,83	0,0338			
	14/06/2004	12		6,61	0,0403			
	30/06/2004	5		4,72	0,0320			
	06/08/2004	11		4,82	0,0728			
	20/09/2004	5		3,36	0,0234			
2005	23/08/2005	7	3	2,83	0,0435	0,0901	0,0435	0,0901
	11/10/2005	5		2,98	0,1290			
	24/10/2005	7		5,23	0,0978			
2006	14/05/2006	7	5	7,09	0,0265	0,0543	0,0265	0,0543
	24/06/2006	6		3,97	0,0566			
	02/11/2006	5		3,43	0,1138			
	19/11/2006	6		2,78	0,0364			
	16/12/2006	13		4,29	0,0379			
2007	06/03/2007	7	7	3,95	0,0397	0,0612	0,0366	0,0612
	04/05/2007	10		4,70	0,0687			
	10/07/2007	5		1,65	0,0471			
	25/07/2007	5		1,30	0,0366			
	14/08/2007	6		1,83	0,0849			

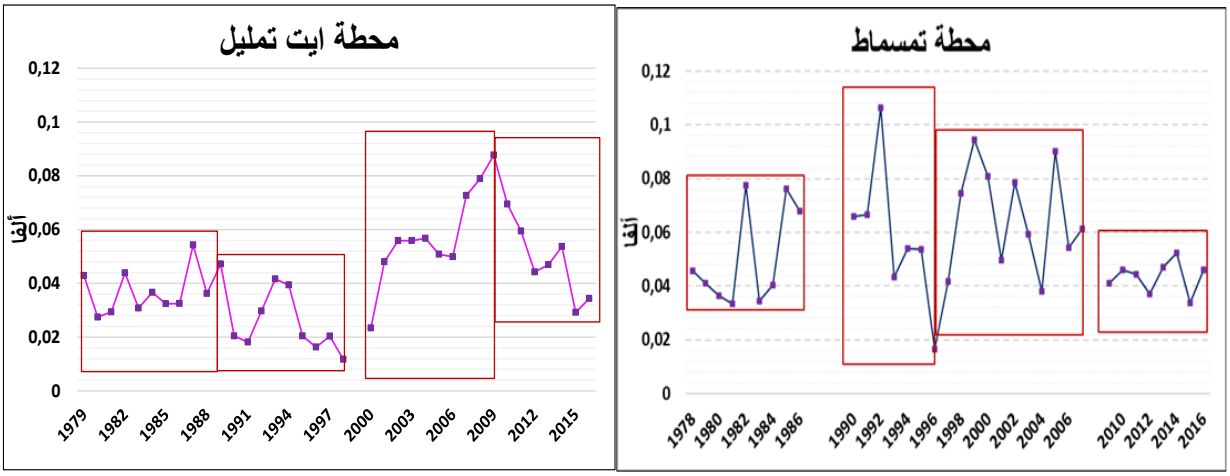
السنوات	تاريخ بداية فترات النضوب المائي	عدد أيام الفترات	عدد فترات السنة	معدل صبيب فترة النضوب المائي	معامل فترة النضوب المائي	المعدل السنوي للنضوب	المعامل الأدنى خلال السنة	المعامل الأقصى خلال السنة
	13/09/2007	6		2,36	0,0568			
	22/09/2007	6		3,87	0,0947			
2009	30/10/2009	6	1	1,77	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410
2010	19/01/2010	5	4	7,65	0,0983	0,0459	0,0176	0,0459
	20/05/2010	6		7,78	0,0435			
	27/05/2010	5		6,64	0,0244			
	21/07/2010	5		6,22	0,0176			
2011	15/10/2011	5	2	2,97	0,0478	0,0443	0,0407	0,0443
	19/12/2011	6		2,93	0,0407			
2012	10/02/2012	5	5	3,57	0,0284	0,0371	0,0171	0,0371
	25/05/2012	5		2,53	0,0403			
	31/05/2012	6		1,88	0,0813			
	07/06/2012	6		1,40	0,0184			
	14/06/2012	6		1,24	0,0171			
2013	10/06/2013	8	5	2,82	0,0345	0,0470	0,0257	0,0470
	18/07/2013	9		1,62	0,0460			
	23/09/2013	7		2,61	0,0950			
	08/10/2013	5		1,24	0,0337			
	06/11/2013	7		1,37	0,0257			
2014	10/04/2014	6	8	4,92	0,0557	0,0523	0,0299	0,0523
	30/05/2014	5		2,22	0,0346			
	29/06/2014	8		1,22	0,0299			
	26/07/2014	5		0,67	0,0421			
	12/09/2014	7		0,29	0,0797			
	28/09/2014	12		1,59	0,0966			
	12/10/2014	5		0,92	0,0395			
	14/11/2014	5		5,28	0,0402			
2015	09/06/2015	6	8	8,84	0,0258	0,0338	0,0170	0,0338
	20/06/2015	8		6,83	0,0360			
	20/07/2015	6		5,36	0,0551			
	27/07/2015	7		4,45	0,0369			
	14/08/2015	6		3,57	0,0332			
	02/09/2015	8		2,64	0,0498			
	06/11/2015	13		3,39	0,0170			
	16/12/2015	10		2,42	0,0171			
2016	28/01/2016	5	14	1,44	0,0432	0,0459	0,0158	0,0459
	12/03/2016	7		3,59	0,0415			
	10/04/2016	20		4,10	0,0305			
	13/05/2016	12		3,62	0,0504			
	30/05/2016	8		2,49	0,0287			
	08/06/2016	17		1,82	0,0248			
	02/07/2016	6		1,40	0,0302			
	11/07/2016	5		2,07	0,0774			
	30/08/2016	6		4,68	0,0816			
	01/10/2016	6		3,80	0,0158			
	27/10/2016	6		4,64	0,1422			
	15/11/2016	7		3,65	0,0252			
	10/12/2016	6		3,97	0,0332			
	24/12/2016	6		4,38	0,0178			

بلغت أقصى مدة لفترات النضوب المائي 26 يوما بمحطة أيت تمليل في أكتوبر 1985 والتي تزامنت مع فترة عرفت غيابا للتساقطات المطرية. كما بلغت أقصى مدة بمحطة تمسماط ب 28 يوما في ماي 1991 ، وقد تزامنت أيضا مع سنة جافة عرفت تساقطات مطرية ضعيفة التردد.

2.1.1 التغيرات السنوية لمعامل النضوب المائي

تم حساب معدل معامل النضوب المائي لفترات كل سنة، بهدف دراسة تغيرات معاملته خلال السلسلة الإحصائية.

مبيان 125: التغيرات السنوية لمعامل النضوب المائي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



تُظهر النتائج أن بعض السنوات لم تُسجل أي فترة للنضوب المائي، كسنة 1978 و1999 بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل، و2008 بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف). كما عرف معامل النضوب المائي تغايرية مهمة بسافلة الحوض، والذي تراوح بين 0,016 و0,106 بمعدل بيسنوي بلغ 0,055 خلال السلسلة المدروسة على مستوى محطة تمسماط. أما بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، فقد تميزت معاملاته بتغايرية أقل حدة، تراوح بين 0,011 و0,087 بمعدل بيسنوي بلغ 0,041.

تميزت سنة 1996، التي عرفت تساقطات مطرية مهمة، بمعامل النضوب المائي ضعيف بلغ 0,016. غير أن علاقة الترابط بين التساقطات المطرية ومعامل النضوب المائي كانت ضعيفة جدا، لذا فإننا نستبعد وجود علاقة قوية بين هذين المتغيرين، باعتبار أن فترة النضوب المائي تتوافق مع الانخفاض المطرد للصبيب في غياب أي مساهمة للتساقطات المطرية. ويمكن تجزيء التغيرات السنوية لمعاملاته إلى أربع فترات خلال السلسة الإحصائية، والتي كانت متقاربة بالنسبة لحوضي الدراسة:

الفترة الممتدة بين (1978-1989): عرفت تذبذب معامل النضوب المائي، ولم نسجل أي نزعة واضحة في أحد الاتجاهين (باتجاه التناقص أو باتجاه الصعود).

الفترة الممتدة بين (1990-1996): اتجهت نزعة معامل النضوب المائي إلى التناقص ب 0,08- بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) و0,03- بالنسبة للحوض أيت تمليل. هذه النزعة نحو الانخفاض نتيجة سنوات الجفاف التي عرفتها هذه الفترة.

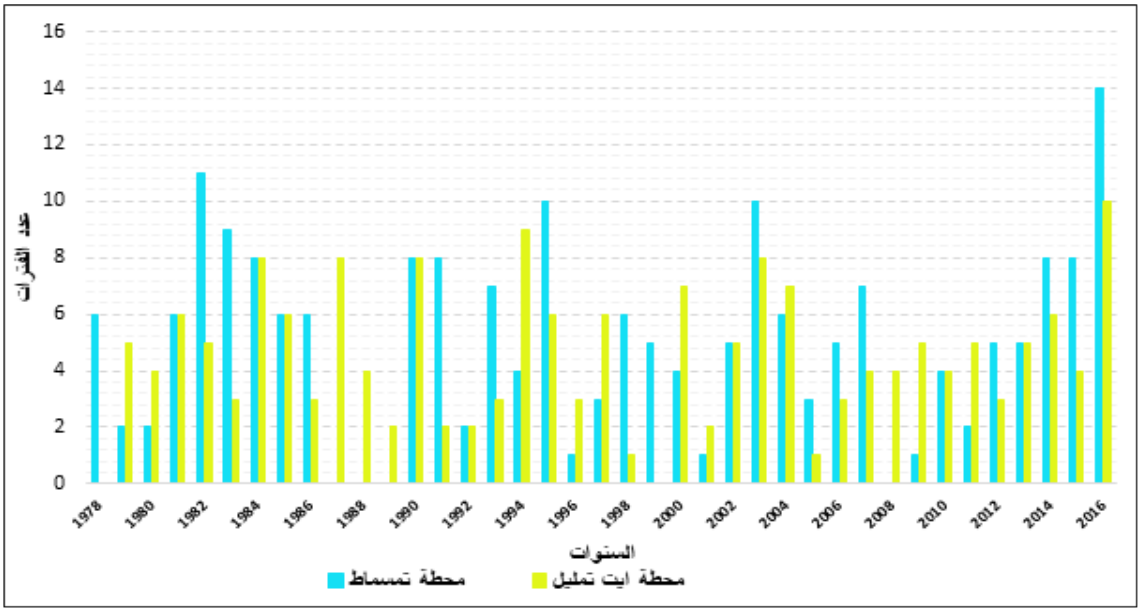
الفترة الممتدة بين (1997-2009): عرفت هي الأخرى نزعة موجبة ب 0,08 بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) و0,04 بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل.

الفترة الممتدة بين (2010-2016): تميزت بنزعة قوية في اتجاه الانخفاض لمعامل النضوب المائي بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، وبنزعة ضعيفة في اتجاه الانخفاض بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف).

3.1.1 التردد السنوي لعدد فترات النضوب المائي

يختلف عدد فترات النضوب المائي من سنة إلى أخرى، حيث بلغ عدد الفترات 14 فترة خلال سنة 2016، ونجد أن بعض السنوات لم تسجل أي فترة.

مبيان 126: تردد عدد فترات النضوب المائي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



يرتبط تردد عدد فترات النضوب المائي بالحالة المناخية للسنة الهيدرولوجية، حيث أن السنوات التي تميزت بتساقطات مطرية ضعيفة سجلت عددا مهما من فترات النضوب المائي، ويتعلق الأمر بالسنوات 1982 و1984 و1990 و2003 و2016. كما أن بعض السنوات سجلت فترتين أو أقل أو لم تسجل أي واحدة، وهي تلك التي عرفت تساقطات مطرية مهمة، كسنوات 1989 و1996 و2008 و2009 و2010. وبالتالي، يمكن القول بوجود علاقة بين وفرة التساقطات المطرية وعدد فترات النضوب المائي خلال السنة.

2.1. دراسة المنحنيات التسلسلية على المستوى الشهري

تختلف وتيرة وتردد فترات النضوب المائي حسب أشهر السنة وفصولها، وذلك مرتبط بنظام الجريان بالأحواض المائية.

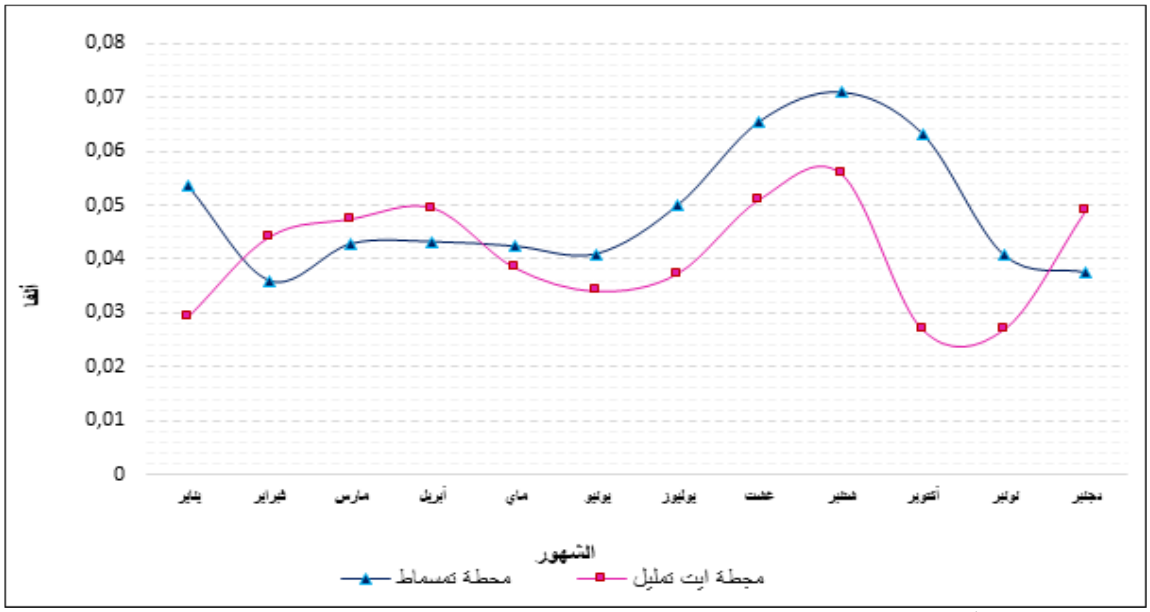
1.2.1 نظام معاملات النضوب المائي

لفهم خصائص النضوب المائي على المستوى الشهري، تم تمثيل نظام معاملاته، من خلال حساب معدل معاملات فترات نفس الشهر خلال السلسلة الإحصائية (1978-2016) انطلاقا من 177 فترة بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل و198 فترة بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) موزعة بشكل متباين على أشهر السنة.

إن الهدف من دراسة نظام معاملات النضوب المائي هو معرفة علاقة تغير هذه المعاملات بنظام الجريان خلال فترتي نزول وصعود الصبيب بحوضي الدراسة. ويتضح من خلال النتائج المبينة في المبيان 127 أن معاملات النضوب المائي تعرف تغيرات على المستوى الزمني (من فصل لآخر) وعلى المستوى المجالي (بين عالية الحوض وسافلته):

- **حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف):** تعرف معاملات النضوب المائي استقرارا نسبيا خلال فصل الشتاء، مع انخفاض طفيف خلال شهر يونيو، ليبدأ بعد ذلك في الارتفاع ابتداء من شهر يوليوز ليسجل أعلى قيمة خلال شهر شتنبر، ثم يبدأ في التراجع. وقد سُجلت أدنى قيمة في معامل النضوب المائي بهذه المحطة خلال شهر فبراير.
- **الحوض الفرعي لواد أيت تمليل:** سجلت معاملات النضوب المائي بهذه المحطة قيما أقل من التي سُجلت بمحطة تمسماط، باستثناء أشهر فصل الشتاء (شهر دجنبر وفبراير ومارس وأبريل). وقد عرفت المعاملات قيما منخفضة خلال ثلاث فترات مختلفة من السنة وهي شهر يناير ثم خلال أشهر ماي ويونيو ويوليوز ثم شهري أكتوبر ونونبر.

مبيان 127: معدل نظام معامل النضوب المائي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)

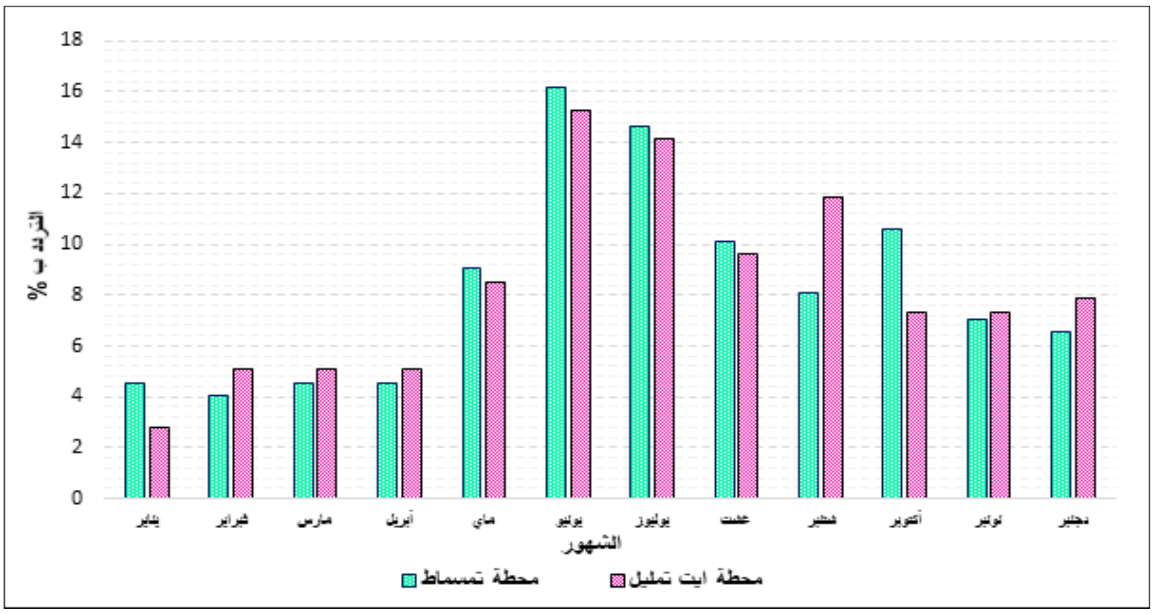


يمكن القول أن دراسة نظام معاملات النضوب المائي، خلال السلسلة الإحصائية (1978-2016) بحوضي الدراسة، تعكس السلوك الهيدرولوجي بصفة شاملة للمجرى المائي خلال فترات النضوب المائي. من جهة أخرى نستنتج أن معاملات النضوب المائي تعرف تغيرات مجالية بين عالية الحوض وسافلته، وهو ما يمكن ربطه بالخصائص الطبيعية لكل حوض والطبيعة الصخارية على الخصوص. أما التغيرات على المستوى الزمني فيمكن ربطها بتغيرات ملء وإفراغ الفرشة المائية ووتيرة تغذية المجرى المائي خلال أشهر السنة. وهذا ما سيتم التحقق منه في محاور لاحقة من هذه الدراسة.

2.2.1 التردد الشهري لفترات النضوب المائي

نقصد بالتردد الشهري نسبة عدد الفترات التي سُجلت خلال كل شهر خلال السلسلة الإحصائية 1978-2016. والهدف من ذلك معرفة الأشهر التي تعرف ترددا أكثر لفترات النضوب المائي.

مبيان 128: التردد الشهري لفترات النضوب المائي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)

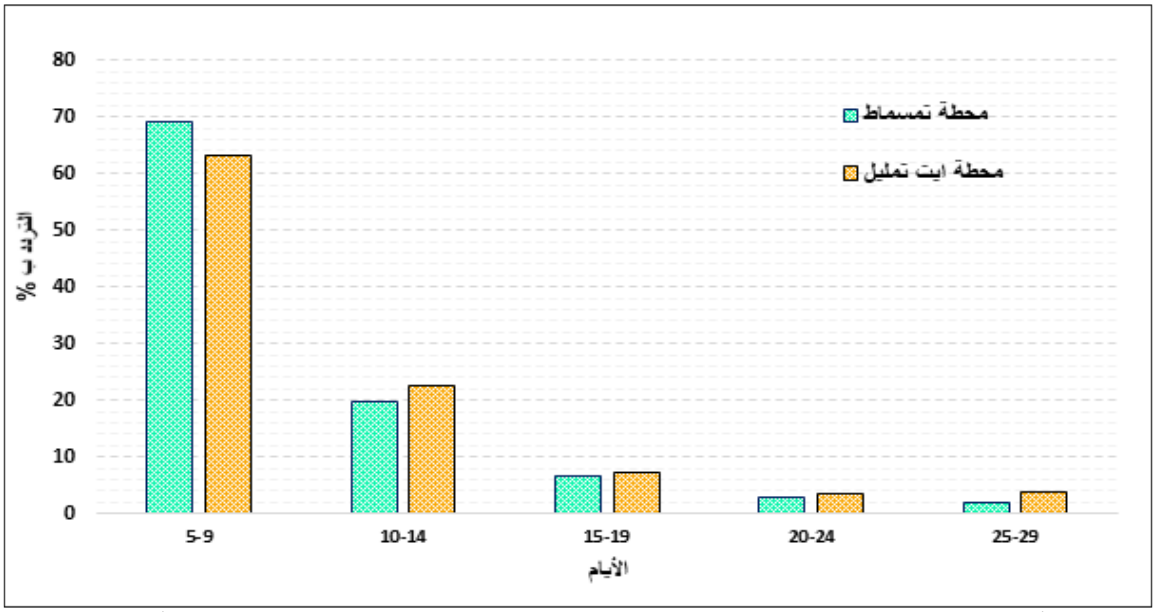


سجل شهرا يونيو ويوليوز أكثر نسبة تردد عدد فترات النضوب المائي ب 32 و29 فترة على التوالي خلال السلسلة الإحصائية المكونة من 39 سنة، أي ما يعادل 31% من مجموع عدد الفترات لسنوات الدراسة. وهذه الفترة توافق قلة في التساقطات المطرية وانخفاض مستوى الصبيب إلى القيم الدنيا. كما أن باقي الأشهر سجلت فترات النضوب المائي بترددات متفاوتة، بحيث سجلت الفترة الممتدة بين شهري يناير وأبريل أدنى تردد بنسب لم تتجاوز 5 % ، وهي الفترة التي توافق وفرة في التساقطات المطرية والثلجية، التي تساهم بشكل مباشر في عملية ملء الخزانات الجوفية بالحوض المدروس.

3.2.1 تردد مدة النضوب المائي

تم تحديد، فيما سبق، المدة الأدنى لفترة النضوب المائي (DMP) في 5 أيام، وبالتالي فإنها تتراوح بالنسبة لحوضي الدراسة بين 5 أيام و28 يوما. غير أن بعض الفترات تعرف ترددا أكثر وهذا ما سيتم التعرف عليه من خلال النتائج المبينة في المبيان 129.

مبيان 129: تردد مدة النضوب المائي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



يتضح أن معدل مدة فترات النضوب المائي ضعيف جدا، حيث بلغ بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل 7,6 يوم وحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) 7,4 يوم. حيث أن أغلب الفترات (مبيان 129) تتراوح مدتها بين 5 و9 أيام بتردد يفوق 60 %. وتمثل الفترات ذات المدد الطويلة ترددا ضعيفا. ورغم أن الفترات التي تعرف غياب في التساقطات المطرية طويلة بمجال الدراسة، باعتبار الخصوصيات المناخية التي تميز النطاق شبه الجاف، إلا أن مدد فترات النضوب المائي لم تكن ممتدة على مستوى الزمن. وهذا يجعلنا نطرح فرضية التأثير البشري على الصبيب، حيث أن المجال يتميز بنشاط فلاحي سقوي عبر شبكة هيدروفلاحية يتم من خلالها جلب المياه من المجاري المائية، خصوصا في الفترات التي تعرف غيابا في التساقطات المطرية.

2. تغايرية معاملات النضوب المائي

على الرغم من المعايير والشروط المُتخذة لاختيار فترات النضوب المائي، إلا أن معاملات النضوب المائي المُحصل عليها ليست ثابتة خلال الزمن. فهي تختلف، في نفس المجرى المائي، من شهر إلى آخر ومن سنة إلى أخرى. وقد تمت الإشارة في العديد من البحوث إلى التغايرية الزمنية لمعاملات النضوب المائي (Lang, 2007)، غير أن هناك العديد من العوامل المفسرة لهذه التغيرات. وتفرض هذه التغيرات صعوبات في تحليل كيفية الاشتغال الهيدرولوجي للأحواض النهرية خلال فترات النضوب المائي، لأنه ليس من السهل استنتاج معدلات تصريف طبقات المياه الجوفية من هذه القيم المختلفة. وبالتالي فإن البحث عن قيمة متوسطة تمثيلية، تبقى مسألة ضرورية لتحديد

خصائص إفراغ الخزانات الجوفية والتمكن من وضع نمذجة لاستخدام معاملات النضوب المائي. كما أنه من الضروري أيضا البحث عن العوامل التي يمكن أن تكون الأصل في هذا التباين.

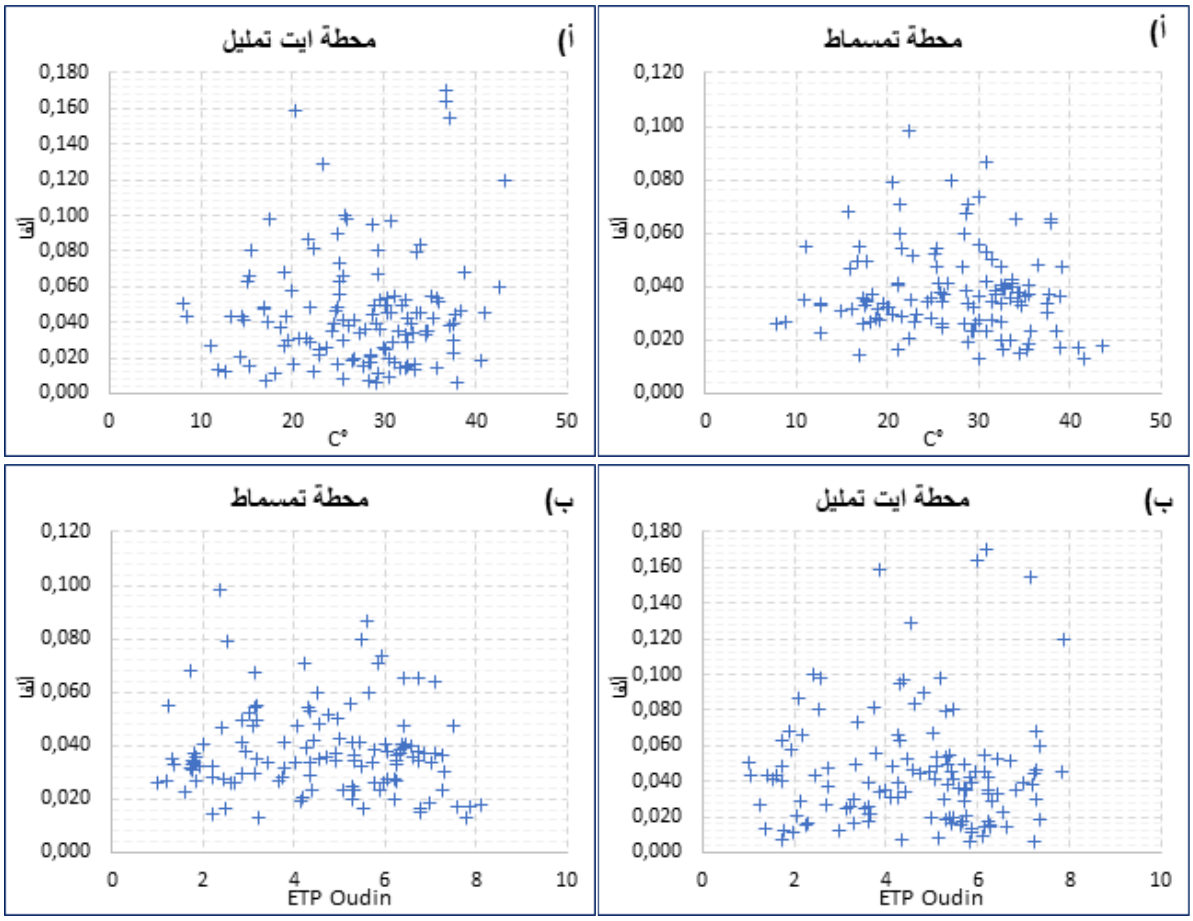
1.2. عوامل التغير الزمني لمعامل النضوب المائي

أظهرت دراسة التغيرات السنوية والشهرية للنضوب المائي لحوضي الدراسة، تباينا في معاملاته بين عالية الحوض وسافلته. وبالتالي فإن المعايير التي تم تحديدها مسبقا، حسب خصوصيات أحواض الدراسة، يجب أن تضمن تجانسا في استخلاص الفترات المحصل عليها. غير أنه يمكن لهذه العملية الآلية أن تمرر بعض الفترات التي لا تعبر فعلا عن النضوب المائي رغم مراجعة وفحص الفترات المستخلصة بشكل يدوي (Lang, 2007). وسيتم دراسة بعض العوامل التي يمكن أن تفسر هذا التباين، والمتمثلة في التغيرات الموسمية للنضوب المائي في علاقته بارتفاع معدلات التبخر-النتح خلال الفترات المشمسة من السنة، وكذلك علاقته باختيار صبيب بداية فتراته الذي يشكل معيارا في عمليات الاختيار.

1.1.2 علاقة معامل النضوب المائي بالتبخر-النتح

يعتبر التبخر-النتح أول عامل ستتم دراسة تأثيره على تغيرات النضوب المائي. وهناك العديد من الباحثين الذين طرحوا، في أعمالهم، فرضية النضوب المائي التي برزت بشكل كبير خلال المواسم الحارة، بموجب نشاط عملية التبخر-النتح (Tallaksen, 1995 ; Lambert, 1996). وقد حاول بعض الباحثين تفسير توزيع معاملاته، غير أنهم لم يتوصلوا إلى نتائج مرضية. يمثل مبيان 130 العلاقة بين معامل النضوب المائي ومعدل قيم التبخر-النتح المسجلة خلال فترات النضوب المائي بحوضي الدراسة.

مبيان 130: أ) الترابط الخطي بين معاملات النضوب المائي ودرجات الحرارة ب) وبين معاملات النضوب المائي والتبخر -النتح بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016).

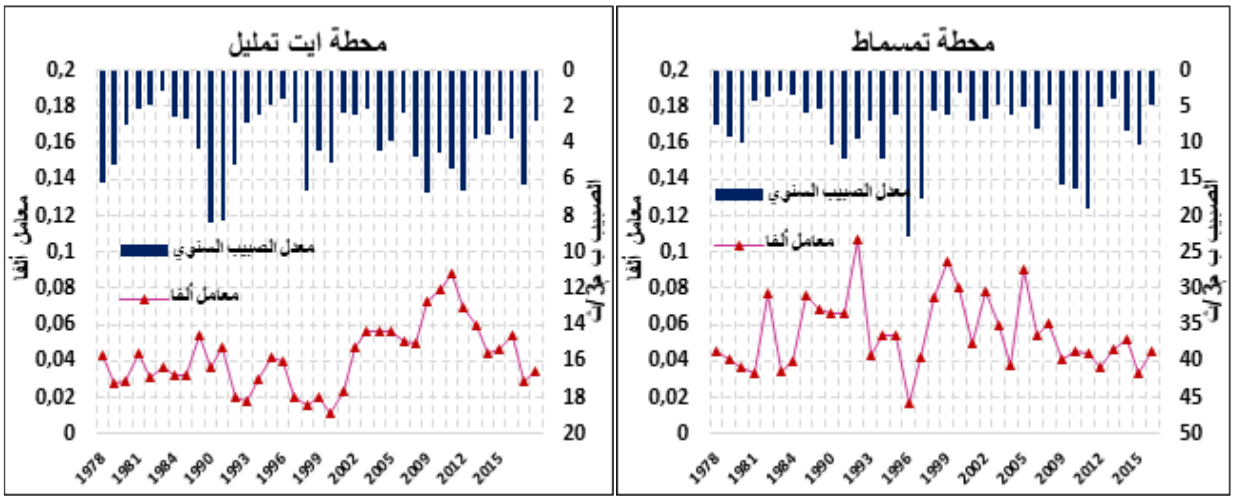


يبين تناثر سحابة النقطة على عدم وجود علاقة بين هذين المتغيرين. وقد تمت محاولة إجراء علاقات أخرى من هذا القبيل، لا سيما بالنسبة للحد الأقصى للتبخر أو درجات الحرارة، ولكن مرة أخرى بدون نتائج. وبالتالي لا يمكن ربط تغيرات معامل النضوب المائي بتغيرات درجات الحرارة ونشاط عمليات التبخر-النتح بحوض الدراسة. أي أن النضوب المائي مرتبط بشكل أساسي بعمليات ملء وتفريغ الخزانات الباطنية للفرشة المائية.

2.1.2 علاقة تغير معاملات النضوب المائي بمعدل الصبيب السنوي

كما سبقت الإشارة لذلك، فمعاملات النضوب المائي مرتبطة بشكل أساسي بتغيرات ملء وتفريغ الفرشة الباطنية. وبما أن عدد من الباحثين يربطون ضعف الصبيب بقلة التساقطات المطرية، فقد حاولنا مقارنة تغيرات معدل الصبيب بمعدلات النضوب المائي السنوي لحوضي الدراسة.

مبيان 131: تغير معاملات النضوب المائي في علاقته بالصبيب السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



يوضح تحليل مبيان 131 أن هناك علاقة عكسية بين المتغيرين. عند تسجيل معدلات مرتفعة للصبيب تأخذ معاملات النضوب المائي قيما ضعيفة. وتظهر هذه العلاقة العكسية بشكل جلي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، خصوصا أنه يتميز بتشكيلات صخارية ذات نفاذية ضعيفة بسافلته، وهو ما يفسر التغايرية المهمة لمعاملات النضوب المائي.

تشبه علاقة الصبيب السنوي بتغيرات معاملات النضوب المائي على المستوى السنوي إلى حد ما تغيرات نظام معاملات النضوب المائي على المستوى الشهري، حيث أن الفصول الشتوية تتميز بمعاملات منخفضة. وهذا السلوك الهيدرولوجي يدفعنا إلى التساؤل حول خصائص ملء وإفراغ الطبقات الجوفية، باعتبارها المساهم الأساسي في تغذية المجاري المائية خلال الفترات التي تغيب فيها التساقطات المطرية.

3.1.2 صبيب بداية فترة النضوب المائي Q_0

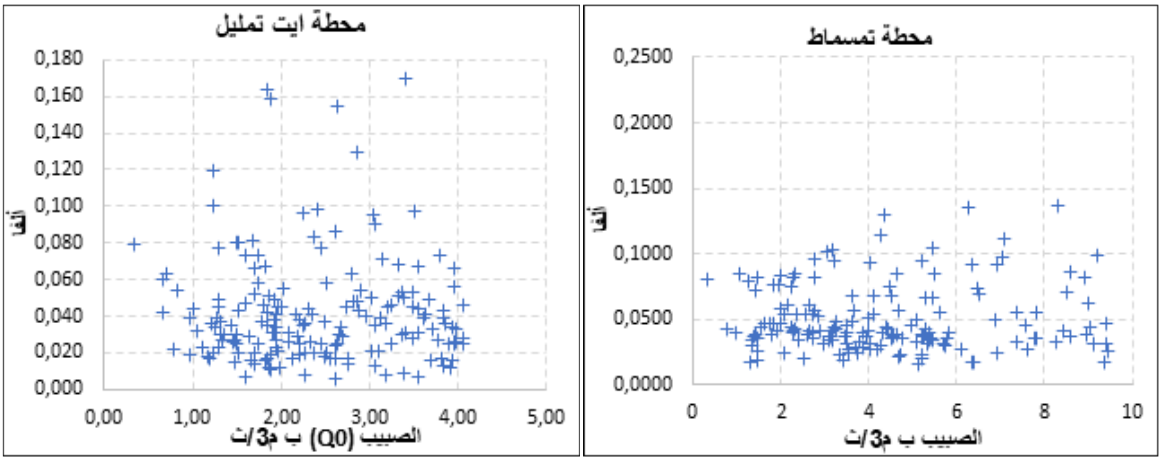
من الضروري التحقق من أن تباين معاملات النضوب المائي لا يرتبط بسوء اختيار قيم الصبيب، وعلى الخصوص صبيب بداية فتراته. وبالتالي، إذا كان النضوب المائي يعكس قيمة مرتفعة للصبيب، هذا يعني أنه تم اختياره خلال فترات الإفراغ السطحي، وبالتالي فإن قيمة معامله ستكون غير معبرة بشكل جيد للنضوب المائي.

إن الإجراءات الخاصة بضبط خيارات صبيب بداية النضوب المائي، التي تم تقديمها في المرحلة سابقة، من أجل استخراج الفترات لا تضمن بشكل تام أننا بصدد فترة النضوب المائي فعلا، لكنها تضمن التجانس الحاصل خلال الفترة. ويتم التحكم في خصائص النضوب المائي بمعايير أخرى، وخاصة المدة المخصصة لفترة الإفراغ. ورغم ذلك، لا يمكن أن يكون هذا الوقت ثابتا تماما مع مرور الوقت (Lang, 2007).

ومن أجل التحقق من الاستقلالية بين قيم معاملات النضوب المائي العالية وقيم الصبيب المرتفعة، وصحة العلاقة العكسية، يجب دراسة علاقة الترابط بين صبيب بداية فتراته (Q_0) ومعاملاته (α).

وتُظهر هذه الارتباطات استقلالية بين هذين المتغيرين بشكل واضح (مبيان 132) بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل الذي يستفيد من تغذية الخزانات الجوفية للمجرى المائي، مما يؤكد الخصائص الداخلية لتغيرات معاملات النضوب المائي. أما بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) تبرز هذه العلاقة بشكل طفيف باعتباره يتطور في أوساط تغلب فيها التشكيلات الصخارية ذات النفاذية الضعيفة.

مبيان 132: الترابط الخطي بين معاملات النضوب المائي α وصبيب بداية فترة النضوب المائي (Q0) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



يكون مصدر صبيب المجاري المائية خلال فترات النضوب المائي المياه الجوفية. ومع ذلك، فبالنسبة للأحواض التي تتطور فوق بيئات ذات نفاذية ضعيفة، يمكن أن نتساءل عما تم تقديره خلال هذه الفترات. لذا، يبدو أن معاملات النضوب المائي المرتفعة بشكل خاص لهذه الأحواض تتوافق مع قيم التفريغ السطحي أكثر من تلك التي توافق فترات النضوب المائي. بالإضافة إلى ذلك، فاستقلالية العلاقة بين صبيب بداية النضوب المائي (Q_0) والمعاملات α يتوافق مع قانون النضوب المائي حسب Maillet، ويبدو أنه يؤكد هذه الفرضية.

2.2. البحث عن قيمة وحيدة لمعاملات النضوب المائي انطلاقا من المنحنيات التسلسلية

إن الحساب البسيط للمعدلات الحسابية لمعاملات النضوب المائي ليس مرضياً، طالما أن هذه العملية سوف يتم من خلالها الجمع بشكل عشوائي بين الفترات ذات المدد المختلفة ومعدلات صبيب متباينة. وبالتالي، يجب البحث عن طريقة لصياغة ترجيح يجمع بين معاملات النضوب المائي. ومن أجل اقتراح قيمة معامل واحدة والتحقق من صحتها، تخضع منحنيات التسلسل لمعالجتين متميزتين: أولاً، وضع منحنى نضوب متوسط، ثم تحليل إحصائي لمعاملات النضوب المائي (EL Ghachi, 2010). يتوافق هذا النهج مع المخطط الذي اقترحه (Tallaksen, 1995)، حيث يوضح أن تحليل النضوب المائي يمكن تناوله إما عن طريق بناء منحنى متوسط يلخص جميع المعطيات من خلال قيمة شاملة، أو من خلال نهج أكثر تحليلا يأخذ بعين الاعتبار جميع متواليات النضوب المائي بشكل فردي.

1.2.2 إعداد المنحنى الرئيسي للنضوب المائي

اهتم العديد من الباحثين بطرق مختلفة لبناء منحنى متوسط للنضوب المائي، وقد تم نعته في المراجع ب "المنحنى الرئيسي" وهي ترجمة للتعبير الإنجليزي «Master Recession Cuvre». ومن بين أكثر الطرق المستخدمة نجد طريقة الجدولة (Jonhson et Dils, 1956)، وطريقة الترابط الخطي (Langbein, 1938) إلا أن لهذه الطرق بعض المساوئ وخصوصا المتعلقة بالجانب الذاتي في تخطيط المنحنيات المتوسطة.

سنعمل، في هذه المرحلة، على اعتماد طريقة أخرى تم تطويرها من طرف (Lang, 2007) لإعداد المنحنى الرئيسي على أساس اتباع خطوات متوالية، تأخذ بعين الاعتبار جميع فترات النضوب المائي المستخلصة من الصبيب اليومي بمحطتي الدراسة خلال السلسلة الإحصائية (1978-2016). ويعتمد هذا النهج بالأساس على طريقة الترابط الخطي.

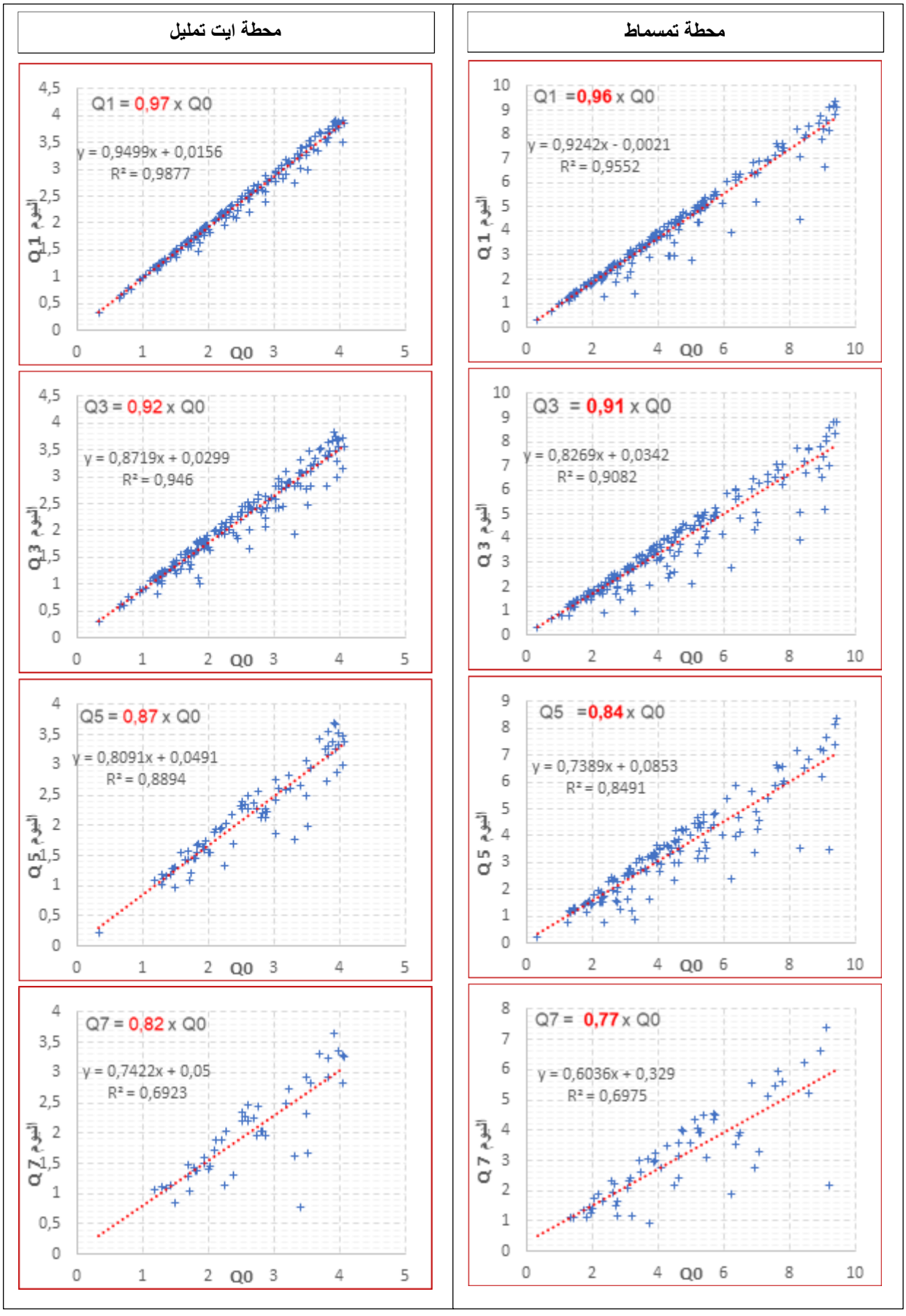
1.1.2.2 تحقيق الارتباط بين الفترات t وحساب الانحدارات باعتماد طريقة الترابط الخطي

اقترح بعض الباحثين طريقة الترابط الخطي من أجل ربط العلاقة بين قيم الصبيب خلال فترات النضوب المائي بخطوات زمنية مختلفة. ويتم تطبيق هذه الطريقة سواء من أجل تحديد معدل الانحدار لفتراته على الخصوص، أو لحساب علاقة التناسب a_t ، من خلال ربط الصبيب بداية الفترة Q_0 و الصبيب Q بعد مرور t يوم (Q_t)، في فترة مستخلصة. وفي هذا الصدد يمكن أن نستحضر عمل (Lebaut, 2000) الذي استعمل طريقة الترابط الخطي لاقتراح علاقة التناسب 5 أيام (a_t) التي توافق خط الانحدار التراجعي لقيم الصبيب Q_0 وقيم الصبيب عند مرور 5 أيام. ولتطبيق طريقة الترابط الخطي بحوضي الدراسة سنعمل على ربط صبيب بداية فترة لنضوب Q_0 بالصبيب اليومي لنفس الفترات خلال مرور الفترة الزمنية من يوم واحد إلى 7 أيام، وبالتالي يمكن تمرير خط الانحدار من أجل استخراج معادلة الدالة الخطية والحصول على علاقة التناسب a_t حسب الصيغة (9.1):

$$Q_t = a_t \times Q_0 \quad \text{ويمكن كتابتها على الشكل:} \quad a_t = \frac{Q_t}{Q_0} \qquad 9.1$$

ولإنشاء منحنى النضوب المائي الرئيسي، نستخدم أسس طريقة الارتباط. ولتجنب أي خلط بين هذه الطرق المختلفة، نقترح اعتماد الطريقة الموضحة أدناه "طريقة الانحدار"، التي تأخذ بعين الاعتبار جميع فترات النضوب المائي لتشكيل المنحنى الرئيسي. من خلال تحقيق ترابط خطي لجميع المدد t، والهدف من ذلك هو حساب الانحدار في اليوم t. وتعتمد هذه الطريقة على المبدأ المطبق من قبل (Lebout, 2000)، حيث يتم وضع الصبيب (Q_1) على رسم بياني للإحداثيات الحسابية كدالة لتغير الصبيب، في فترة زمنية بعد (Qt+dt). إذا كان النضوب المائي يتبع انخفاضًا أسيا فإن النقط تنتظم لرسم خط مستقيم، وبالتالي يمكن حساب الانحدار $a_t = \frac{Q_{t+dt}}{Q_t}$ حيث تمثل نسبة الصبيب Q_{t+dt} في علاقته بالصبيب Q_t. عن طريق رسم خط الارتباط من هذه النقاط نحصل على a_t، وبالتالي فهذه العملية تسمح بالتحكم في طبيعة العلاقة بين قيم الصبيب Q_0 و Q_t وربما تحديد القيم المتطرفة، من أجل إزالتها إذا لزم الأمر. تمكننا جودة التعديلات، المحصل عليها من خلال القيم العالية لـ r^2 ، من التفكير بشكل عام في العلاقة بين معدل Q_0 ومعدل Q_t ، لذلك يمكننا أن نكتب: $a_t = \frac{\bar{Q}_t}{\bar{Q}_0}$

مبيان 133: حساب علاقة التناسب بين Q0 و Qt بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



يوضح المبيان 133 علاقة التناسب باعتماد الارتباط الخطي بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل وحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، ومن خلال تحليل النتائج نستخلص ما يلي:

الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: بالنسبة للترابط الخطي بين الصبيب Q_0 عند بداية الفترة والصبيب $Q_{t=3أيام}$ بعد مرور 3 أيام حصلنا على $Q_3 = 0{,}92 \times Q_0$، حيث أن الانحدار يساوي 92%، وهذا يعني أن الصبيب خلال اليوم الثالث يساوى 92% من قيمة الصبيب Q_0، والذي تم اعتباره في بداية الفترة يوافق النسبة 100%. أما خلال اليوم السابع (t=7) فقد بلغت نسبة الصبيب 82% من قيمة الصبيب Q_0 عند بداية فترة النضوب المائي.

حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): بلغ الصبيب في اليوم الثالث $Q_{t=3يوم}$ نسبة 91% من قيمة الصبيب عند بداية فترة النضوب المائي. أما خلال اليوم السابع (t=7) فقد بلغت النسبة 77% من قيمة الصبيب Q_0. وبالتالي، يلاحظ أن الصبيب يعرف وتيرة تناقص بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) أكثر من تلك المسجلة بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل

2.1.2.2 إنشاء المنحنى الرئيسي للنضوب المائي باعتماد طريقة الانحدار

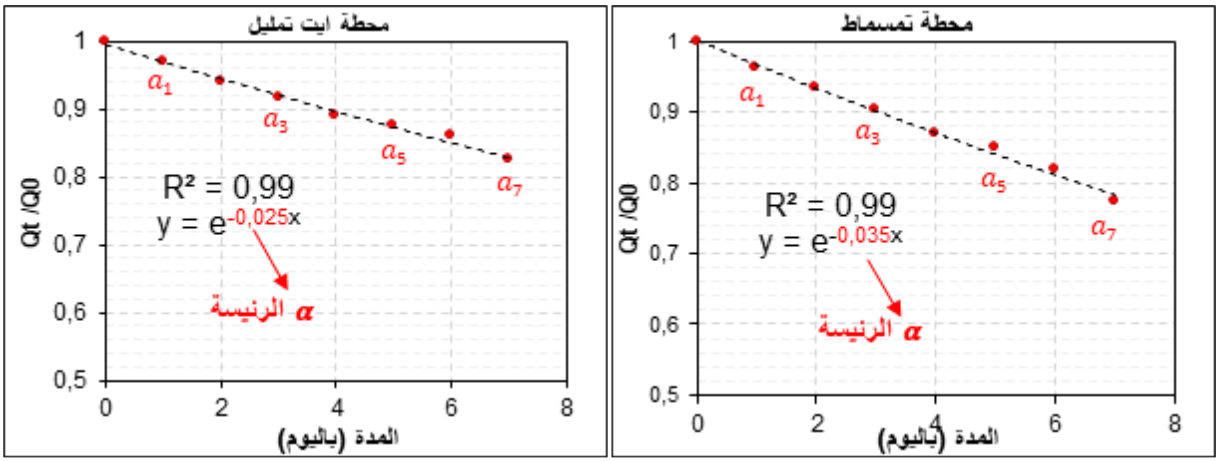
المنحنى الرئيسي للنضوب المائي هو منحنى يمثل وتيرة تناقص الصبيب في علاقته بالمدة t. تتم هذه العملية من خلال دراسة العلاقة بين قيم الصبيب عند بداية فترة النضوب المائي Q_0 وقيمة الصبيب Q_t من جهة والمدة الزمنية t من جهة أخرى. حيث يتم ربط العلاقة بين معامل التناسب a_t بالمدة t التي تم التعبير عليها بالأيام. وبالتالي فإن تناقص معامل التناسب، مع مرور الأيام، سيمثل بدوره معدل تناقص الصبيب في فترات النضوب المائي (Lang, 2007). نحصل على تعديل النقط الممثلة بواسطة دالة أسية على الشكل التالي: $a_t = e^{-\alpha t}$. وبالتالي كتابة المتساوية كما يلي:

$$e^{-\alpha t} = \frac{\bar{Q}_t}{\bar{Q}_0} \qquad 9.2$$

تحيلنا الصيغة (9.2) من جديد على المتساوية التي تمثل قانون Maillet: $Q_t = Q_0 \times e^{-\alpha t}$

يمثل المعامل α في المتساوية الأسية معامل النضوب المائي حسب قانون Maillet. وللتمييز بين المعامل α الناتج عن المنحنى الرئيسي و α الناتجة عن صبيب فترات النضوب المائي أو المعدل الحسابي ل α فقد تم تسميته، حسب (Lang, 2007)، ب " α الرئيسية".

مبيان 134: تعديل المنحنى الرئيسي وتحديد معامل النضوب المائي حسب Maillet بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



يظهر المنحنى الرئيسي المحصل عليه انطلاقا من معاملات التناسب a_t والمدد الزمنية، اختلافا واضحا في الانحدار بحوضي الدراسة (مبيان 134). بلغ معامل النضوب المائي بالحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) (α

الرئيسية) 0,035 عند محطة تمسماط وهذه القيمة تعبر عن انحدار قوي، يعكس سرعة الإفراغ بهذا الحوض. أما بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل فقد سجلت α الرئيسية 0,025 عند محطة أيت تمليل، والتي بدورها تعبر عن بطء في الإفراغ بالنسبة للخزانات الجوفية للحوض، وكما سبقت الإشارة فإن غالبيته تتشكل من قاعدة صخرية منكسرة ذات نفاذية قوية تسمح بملء خزانات الفرشة الباطنية والتي بدورها تستمر بتغذية المجرى المائي خلال فترات النضوب المائي، وبذلك يتم تجديد الاحتياطي من خلال التساقطات المطرية.

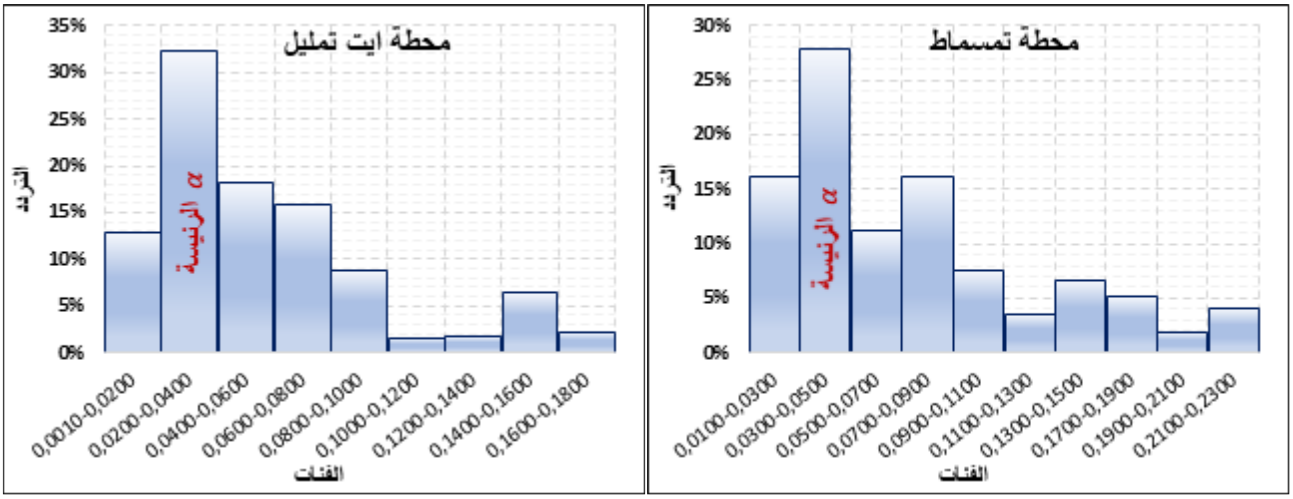
تبدأ العلاقة a_t بالاختلال ابتداءً من اليوم الثامن وما فوق بالنسبة للسلسلة الإحصائية المدروسة، لأن أغلب الفترات تمتد على طول 5 إلى 7 أيام، لذا تشكل عينة ملائمة لدراسة هذه العلاقة. وبالتالي فإن حجم العينة يتلاشى كلما كانت مدة الفترات أطول. إن هذه الطريقة تصبح غير مجدية في دراسة العلاقة لفترات النضوب المائي ذات المدد الممتدة. وبالتالي فإن استخلاص α الرئيسية يتسنى بالضرورة من خلال إعطاء أولوية أكبر للفترات القصيرة.

تُظهر معاملات النضوب المائي للمنحنيات التسلسلية (تسلسلات α) تشتتًا كبيرًا، بحيث لا يحتفظ إلا بقيمة تجريبية واحدة كما سبق تحديدها (α الرئيسية)، لذا فإنه من المهم معرفة خصائص هذا التشتت من حيث الاحتمالات الإحصائية. لهذا السبب، سنعمل على تحليل إحصائي لمعاملات النضوب المائي.

2.2.2 التوزيع الإحصائي لمعامل النضوب المائي

سجل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) عند محطة تمسماط 198 فترة نضوب، أما الحوض الفرعي لواد أيت تمليل عند محطة أيت تمليل فقد سجل 177 فترة. لذا فإن هذا العدد الكبير من العينات المستخلصة سيُمكّننا من إجراء تحليل إحصائي مفصل. وللقيام بذلك، سنعمل في هذه المرحلة بدراسة منحنيات التسلسلية بشكل تحليلي ومستقل.

مبيان 135: تردد معاملات النضوب المائي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



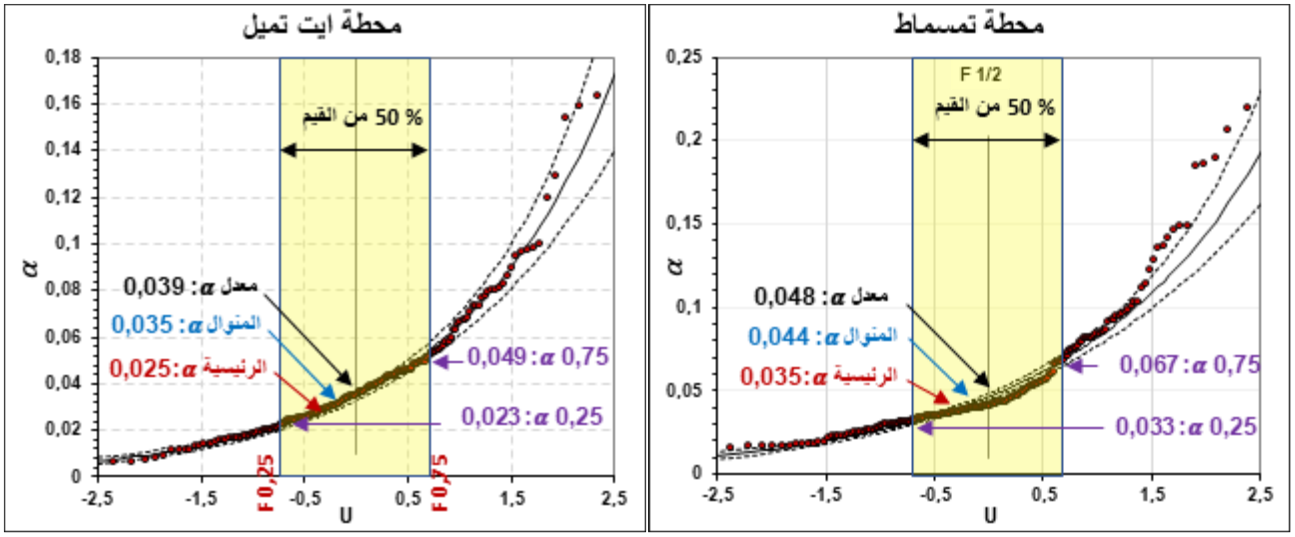
يبين توزيع معاملات النضوب المائي المستخلصة، بالمدرج التكراري لحوضي الدراسة، من جهة وجود منوال واضح، ومن جهة أخرى، تحيز المعاملات أكثر نحو القيم الضعيفة. كما أن "α الرئيسية" التي تم التوصل إليها باعتماد طريقة الانحدار للمنحنى الرئيسي توافق مجالات المنوال بالنسبة لتردد معاملات النضوب المائي.

أغلب القيم المرتفعة لمعامل النضوب المائي التي تتجاوز 10% بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل تشكل نسب ضعيفة من حيث التردد، حيث سجلت أقل من 2% في ثلاث فئات باستثناء الفئة [0,120-0,140]. أما بالحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) فقد تميزت بقيم معامل النضوب المائي مرتفعة، إذ سجلت الفئات الخمسة الأخيرة ترددا تراوح بين 3% و 7%، وهي تشكل نسبة مهمة في مجموعها، بحيث تمثل 21% من مجموع العينة الإحصائية. ولفهم أكثر لخصوصيات هذا التوزيع سنعتمد التعديل الإحصائي لمعاملات النضوب المائي.

3.2.2 التعديل الإحصائي لمعامل النضوب المائي

تم تجريب عدد من القوانين للتعديل الإحصائي لقيم معامل النضوب المائي كقانون Racine Gumbel وقانون Normale و Racine Normale ...، إلا أنها لم تعطِ نتائج مرضية، نظرا لانحياز العينة وتسجيل بعض القيم الكبيرة. غير أنه تم تعديلها بشكل جيد باعتماد قانون Ln-Normale. يمثل المبيان 136 نتائج التعديل الإحصائي ل α التسلسلية بحوضي الدراسة.

مبيان 136: التعديل الإحصائي ل α التسلسلية حسب قانون Ln Normale بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



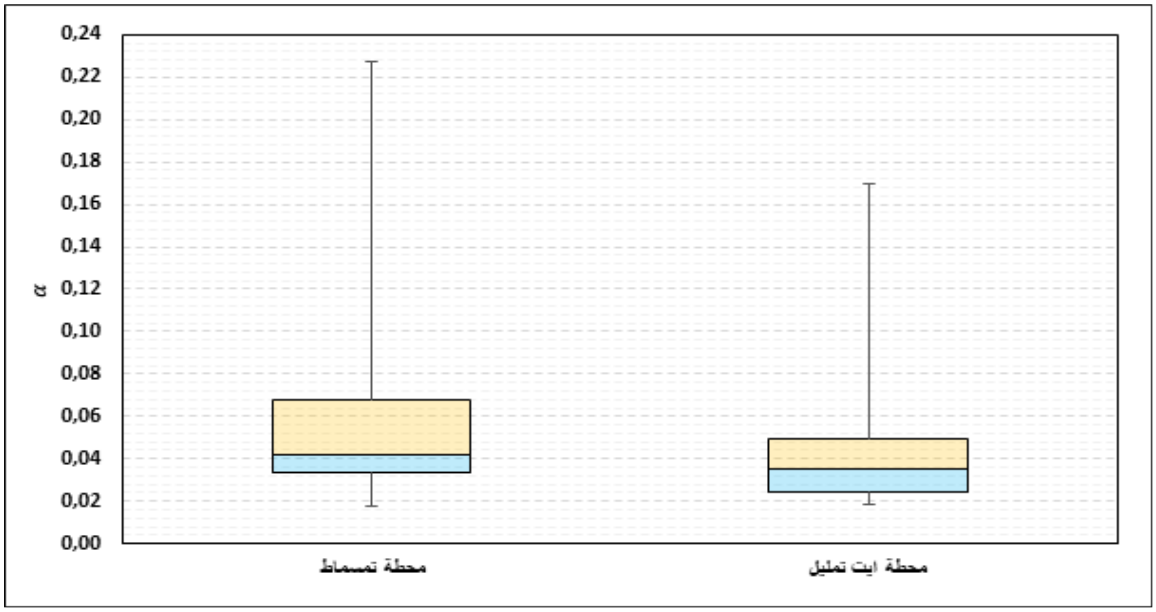
الملاحظة الأساسية في توزيع معاملات النضوب المائي هو وجود قيم عالية وبعيدة عن التوزيع. هذه المعاملات التي تظهر منعزلة قد لا تنتمي إلى نفس عينة α التسلسلية، حيث تشير قيمها العالية إلى أنها أشبه بمعاملات الإفراغ السطحي. وبالتالي يمكن اعتماد التعديلات الإحصائية لتحديد القيم المشكوك في تحصيلها كما هو مبين في النتائج المحصل عليها. بالإضافة إلى ذلك، فإن التحليل الإحصائي لتسلسل α يُمكّن من تحديد احتمال حدوث معاملات النضوب المائي. ويتضح ذلك من خلال تحديد كميتي التردد 0,25 و 0,75 التي تسمح بتأطير 50٪ من القيم. وقد تم تحديد، انطلاقا من التحليل الإحصائي، معامل النضوب المائي المنوال الذي يدل على قيم المعاملات الأكثر ملاحظة في العينة المدروسة، التي سجلت قيم مرتفعة بالنسبة لمحطتي الدارسة مقارنة مع "α الرئيسية".

أدى التحليل الإحصائي في النهاية إلى حساب، في كل من حوضي الدراسة، معدل α، والقيمة المنوال لـ α، بالإضافة إلى قيم الرُّبيعات $\alpha_{0,25}$ $\alpha_{0,75}$ ثم تحديد موقع α الرئيسية بالنسبة للقيم المحصل عليها.

4.2.2 تمثيل معاملات النضوب المائي حسب مخطط الصندوق

ولفهم أكثر للتوزيع الإحصائي لمعاملات النضوب المائي سنعمل على تمثيل قيم العينة حسب المخطط الصندوق. تعتمد هذه الطريقة على تمثيل القيم العددية لمعاملات النضوب المائي من خلال تمثيل القيم الإحصائية الخمس المحددة للعينة وهي القيمة الدنيا والرُّبيع الأدنى ($\alpha_{0,25}$) والرُّبيع الوسيط ($\alpha_{0,50}$) والرُّبيع الأعلى ($\alpha_{0,75}$) وأخيرا القيمة العليا.

مبيان 137: معاملات النضوب المائي لمحطتي أيت تمليل وتمسماط باعتماد مخطط الصندوق



يُظهر التمثيل البياني لمعاملات النضوب المائي، باعتماد هذه الطريقة، المسافة المختلفة في الصندوقين بين القيم الدنيا والعليا من جهة والربيع الأدنى والأعلى من جهة أخرى، وهذا يعكس درجة التشتت في العينة الإحصائية.

حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): بلغ المدى الربيعي (الفرق بين الربيع الأعلى 0,067 =$\alpha_{0,25}$ والربيع الأدنى0,033 =$\alpha_{0,75}$) 0,034، والذي يضم 50% من قيم العينة الإحصائية. أما الربيع الوسيط، الذي بلغ $\alpha_{0,50}$=0,041، فقد عرف انحيازا واضحا للربيع الأدنى. كما تميزت هذه المحطة بتباعد كبيرٍ في القيم خصوصا العليا التي بلغت 0,22، وهذا يفسر التشتت والانتشار الكبير في معاملات النضوب المائي.

الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: بلغ المدى الربيعي (الفرق بين الربيع الأعلى 0,049 =$\alpha_{0,25}$ والربيع الأدنى 0,023 =$\alpha_{0,75}$) 0,025، وهذا المجال أضيق من الذي سُجل بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، مما يفسر تجانس العينة وتقارب القيم. أما الربيع الوسيط الذي بلغ $\alpha_{0,50}$=0,034 فقد عرف توسطا بين الربيعين الأعلى والأدنى. كما تم تسجيل قيما عليا بلغت أقصاها 0,17 عند محطة أيت تمليل. وعلى العموم تبقى معاملات النضوب المائي المستخلصة بهذه المحطة أكثر تجانسا، وهذا ما وضحه المدى الربيعي للعينة العينة الإحصائية.

خلاصـــة

تم استخلاص فترات النضوب المائي باعتماد طريقة المنحنيات التسلسلية، التي تستند على معايير ومتغيرات صارمة. وقد أظهر التحليل الإحصائي لفترات النضوب المائي تباينا زمنيا ومجاليا لمعاملات النضوب المائي بحوضي الدراسة. على المستوى الزمني يتأثر معامل النضوب المائي بنظام الجريان خلال فترتي نزول وصعود الصبيب، هذه التغيرات مرتبطة بفترات ملء وإفراغ الفرشة الباطنية خلال فترات السنة. أما على المستوى المجالي فقد سجلت عالية الحوض (الحوض الفرعي لواد أيت تمليل) معاملات نضوب ضعيفة، وهو ما يعكس تفريغا بطيئا للفرشة الباطنية، التي تشكل تغذية مستمرة ومدعمة للمجرى المائي حتى خلال فترات الشح المائي الحادة.

المحور 20: النضوب المائي وعلاقته بالجريان السطحي والباطني بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

إن تحديد النضوب المائي، الذي يؤدي إلى الصبيب الأدنى للمجرى المائي، يقودنا إلى طرق فصل مستويات الصبيب (الصبيب الأساس، الصبيب السطحي...). وذلك لكون صبيب المجاري المائية والأنهار يتوافق، خلال فترات النضوب المائي، فقط مع تصريف المياه الجوفية، حيث يمكن تحديد الصبيب الأساس (Débit de base) بالاعتماد على المنحنيات التسلسلية وطرق أخرى. وبالتالي، يمكن أن تتيح هذه الطريقة تقدير مؤشرات الصبيب الأساس، وإمكانية فصل وتحديد نوع الجريان خلال فترة معينة.

I. تعريف ومنهجية العمل

من خلال اقتراح نظرية لتوليد التدفقات بناءً على فصلها بين الجريان السطحي الجريان الباطني، كان (Horton, 1933) أول من اقترح هذا النموذج في الهيدرولوجيا. ويشكل هذا الفصل، القائم على فكرة قدرة السطح على التسريب، أحد القواعد العلمية الأولى للهيدرولوجيا. نظرًا لما تم التوصل إليه فقد حقق مكانة مهمة في المجالات العلمية الأخرى، كما تنوعت دراسة العمليات الهيدرولوجية بسرعة. ويمكن بالتالي التذكير بالنظرية الهورتونية للجريان السطحي التي تعود إلى عام 1933 فقط. وقد اكتمل على هذا النحو بمفهوم الهيدروغراف الوحدوي الذي اقترحه (Sherman, 1932) وكذلك بمفهوم الحصيلة الهيدرولوجية التي اقترحها (Hursch, 1938). بالتالي، شهد علم الهيدرولوجيا ولادة الكثير من المفاهيم والنظريات الجديدة.

1. تعريف أنواع الجريان

نظرًا لتنوع أشكاله، لم يعد بإمكاننا التحدث عن نوع واحد من الجريان، بل عن أنواع الجريان. يمكننا أولاً التمييز بين نوعين رئيسيين، وهما: الجريان "السريع" وعلى النقيض من ذلك، الجريان الجوفي "البطيء" والذي يمثل الجزء المتسرب من التساقطات المطرية التي تمر ببطء عبر الشقوق والفجوات، فيشكل بعد ذلك صبيبا أساسيا، يتم من خلاله تغذية المجرى المائي. كما ينقسم الجريان "السريع"، الذي يصل بسرعة إلى منفذ الحوض لتشكل الامتطاحات، إلى جريان سطحي مباشر وجريان تحت سطحي.

- **الجريان السطحي:** يتحكم في هذا النوع من الجريان عدة عوامل مرتبطة بالسطح المستقبل للتساقطات المطرية؛ وحسب (Andry, 1998) يتم التمييز بين نوعين من الجريان السطحي:

الجريان السطحي الناتج عن تجاوز قدرة التسرب (Ecoulement par dépassement de la capacité d'infiltration): يحدث الجريان السطحي الزائد عندما تتجاوز شدة التساقطات المطرية قدرة التربة القصوى على استيعاب الماء. ومن المفترض أن تتناقص هذه السعة، التي تتميز بقدرة نفاذية التربة، بمرور الوقت إلى قيمة ثابتة. في تربة متجانسة ذات منسوب مائي عميق، يمكن أن تصل قدرة النفاذية النهائية هذه إلى الموصلية الهيدروليكية عند التشبع.

يعتبر هذا النوع من الجريان ملائم لشرح الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض في المناخات شبه الجافة وكذلك في ظل ظروف شدة التساقطات المطرية. ومن المقبول عمومًا أنه حتى التربة الطبيعية ذات الموصلية الهيدروليكية العالية في المناخات المعتدلة والرطبة قد تكون لها قدرة التسريب أقل من الحد الأقصى لشدة التساقطات المطرية المسجلة.

الجريان السطحي على الأسطح المشبعة (Ecoulement sur surfaces saturées): يحدث الجريان السطحي فوق الأسطح المشبعة عندما تصبح سعة التربة عاجزة على تخزين مياه إضافية وتتجاوز القدرة على نقل صبيب المياه بشكل جانبي. لذلك، فإن كمية المياه التي تزيد عن سعة تخزين التربة والانتقال الجانبي عن طريق التدفق تحت السطحي لن تكون قادرة على التسرب وسيتم صرفها تمامًا إلى السطح. يشير هذا التعريف إلى أن جريان التشبع ينتج فقط عن طريق التساقطات المطرية. ومع ذلك، فإن التساقطات المطرية على الأسطح المشبعة ليست سوى مكون واحد من هذا التدفق، والآخر هو التدفق العائد.

- **الجريان تحت السطحي:** الشرط الأساسي لظهور التدفقات تحت السطحية هو أن الموصلية الهيدروليكية الجانبية للوسيط يجب أن تكون أكبر بوضوح من الموصلية الهيدروليكية العمودية. في هذه الحالة، يتدفق الماء بشكل جانبي في المنطقة غير المشبعة، بواسطة آلية من نوع "سقف من القش"، أو، في حالة التدفق في منطقة مشبعة، عندما يتشكل منسوب المياه لفرشة مائية طافية في جزء من السطح ضعيف النفاذية. وقد أظهر (Hewlett, 1961) أن التدفق تحت السطحي غير المشبع قادر على أن يصبح صبيب أساس في التضاريس شديدة الانحدار، أو حافة منخفضة مشبعة عند سفح المنحدر يتم إمدادها باستمرار بالتدفقات غير المشبعة. ونميز في الجريان تحت السطحي بين:

الجريان بفعل تأثير المكبس (Ecoulement dû à l'effet piston): تفترض الآلية المسماة "تأثير المكبس" أن دفعة من الماء يتلقاها المنحدر تنتقل باستخدام موجة ضغط في اتجاه السافلة، مما يتسبب في حدوث تسرب فوري في أسفل المنحدر. يمكن تفسير مبدأ هذه الظاهرة عن طريق التشبيه بعمود تربة مشبع يتم تطبيق حمولة من الماء عليه. يتحرك الماء تحت تأثير الجاذبية، وبالتالي يتم دفع الماء في الطرف الآخر من العمود (Andry, 1998).

تدفق المسام الكبيرة (Ecoulement par macropores): المسام الكبيرة هي مسام لا تتضمن الخاصية الشعيرية وقد تنشأ عن طريق تأثير الكائنات الحية في التربة أو الغطاء النباتي أو تشقق الركيزة الصخرية. يمكن أن يلعب وجود المسام الكبيرة المرتبطة بالسطح دورًا مهمًا في عملية التسريب، التي تساهم بشكل مهم في الجريان تحت سطحي.

- **الجريان الجوفي:** تشكل المياه الجوفية أهمية بالغة بنفس القدر في توليد التدفقات وخاصة من خلال مكون "الصبيب الأساس" للهيدروغراف. وتتحكم في عمليات الجريان الجوفي مجموعة من العوامل(Andry, 1998):

الجريان الجوفي في بيئة مشبعة (L'écoulement souterrain en milieu saturé): جزء من الماء الذي يُضاف إلى منسوب الفرشة الباطنية بعد الترشيح، سوف يمر عبر الطبقات الجوفية بسرعة من بضعة أمتار في اليوم إلى بضع مليمترات في السنة قبل الوصول إلى المجرى المائي. وبالتالي يضمن الجريان الأساسي تدفق الأنهار في حالة غياب التساقطات المطرية لفترة طويلة، كما يغذي المجاري المائية خلال فترات الشح المائي.

عملية الجريان الناتج عن ملء الفرشة الباطنية (intumescence de la nappe): يتفاعل منسوب المياه الجوفية، في حالة التوازن، مع مجرى مائي بشكل سريع أثناء التساقطات المطرية في المناطق الضحلة (على بعد أمتار قليلة على جانبي المجرى المائي). يمكن أن تؤدي هذه العملية وحدها إلى مضاعفة الصبيب الأساس للمجرى المائي من مرتين إلى ثلاث مرات.

جريان العودة (Les écoulements de retour): إذا كان منسوب المياه الجوفية أو الهداب الشعري قريبًا من السطح، فإن كمية صغيرة من الماء تكفي لإشباع المقطع. لذلك إذا انخفضت قدرة التربة على نقل الجريان تحت السطحي، فإنها تعود لتجري على السطح.

2. علاقة الصبيب الأساس بالنضوب المائي

يمثل الصبيب الأساس جزءًا من تدفق مجرى مائي يأتي بشكل أساسي من المياه الجوفية، ولكنه يأتي أيضًا من إفراغ البحيرات وذوبان الأنهار الجليدية، خلال فترات طويلة بما فيه الكفاية عندما لا تحدث التساقطات المطرية، ولا يذوب الثلج (Glossaire International d'Hydrologie, 1992). كما أنه يمثل جزءاً من إجمالي الصبيب الطبيعي (جزء من المخطط الهيدروغرافي لمجرى مائي) والذي يتم تأجيله، مقارنة بالجريان الفوري، تحت التأثير المنتظم للخزانات الطبيعية المختلفة، ولا سيما طبقات المياه الجوفية ذات المنافذ ضمن الأحواض النهرية.

يشكل الصبيب الأساس إجمالي الصبيب خلال فترة النضوب المائي (Dictionnaire français d'hydrologie, 1997). ويشير الصبيب الأساس إلى تحليل التغيرات بمرور الوقت لمكونات للصبيب الكلي للمجرى المائي، ويشير صبيب المياه الجوفية إلى التحليل المكاني للأوساط (Davoust, 2018).

يوجد عادةً استخدامان لهذا المصطلح:

- يمكن مقارنة الصبيب الأساس بالصبيب الذي يحدث في مجرى مائي خلال فترات غياب التساقطات المطرية، وبالتالي فإن الجريان مصدره نضوب الفرشة الباطنية في غياب أي تأثير للمناخ، ومعظم الجريان في الفصول الصيفية، في المناطق شبه الجافة، توافق الصبيب الأساس؛
- بالإضافة إلى ذلك، أثناء حدوث الامتطاحات أو الفيضانات، تم تعريف الصبيب الأساس على أنه الصبيب الذي كان سيحدث في حالة غياب التساقطات المطرية. في الواقع، في المفهوم القديم للهيدرولوجيا، كان ارتفاع منسوب المياه في المخطط الهيدروغرافي يُعزى حصريًا إلى الجريان السطحي. ثم بعد ذلك تم اعتبار صبيب الامتطاحات ناتجًا عن مجموع الصبيب الأساس، المقابل لتفريغ منسوب المياه الجوفية، والجريان السطحي (Davoust, 2018).

3. منهجية تحديد الصبيب الأساس

إن المخطط الهيدروغرافي للامتطاحات لمجرى مائي، لحدث معين، هو نتيجة لثلاثة مكونات رئيسية هي: الجريان السطحي المباشر، الجريان تحت السطحي أو الجريان المتأخر والجريان الجوفي. لا يمكن فصل هذه المكونات على مستوى الهيدروغرافي دون فهم العمليات المختلفة التي تولد الصبيب الكلي للمجرى المائي. وقد وصفنا، فيما سبق، هذه الأنواع المختلفة من الجريان.

حاول عدد من الباحثين الهيدرولوجيا تحليل مخططات هيدروغراف الامتطاحات وفقًا للإسهامات المختلفة للجريان. وغالبًا ما تمت معالجة ذلك من خلال الميزانية المائية، عن طريق تحليل نسبة المدخلات والمخرجات للخزانات الهيدرولوجية أو من خلال دراسة التباين في حجم المياه في الخزانات المشاركة في هذه الميزانية. وهكذا تم ابتكار عدة طرق للفصل بين مكونات الجريان (Gnouma, 2002).

غير أن جميع الإجراءات التي تستند إلى تحليل المخططات الهيدروغرافية المقترحة في المراجع (cf. Chapman, 1999) تفتقد إلى عنصر عدم اليقين. في الواقع، لا تسمح التقنيات المطورة، انطلاقا من المخطط الهيدروغرافي، بتحديد حصة الصبيب الأساس من الجريان الكلي بشكل دقيق. ونتيجة لذلك، فإن العديد من الأبحاث التي تم إجراؤها تستند إلى منطق متباين مرتبط بمفاهيم مختلفة للمعدل الأساسي. على سبيل المثال، هناك مؤلفون يعتبرون أن الصبيب الأساس يستجيب على الفور لنبضات التساقطات المطرية، وأولئك الذين يقترحون استجابة متأخرة للصبيب الأساسي في علاقته بالتساقطات المطرية (Lang, 2007).

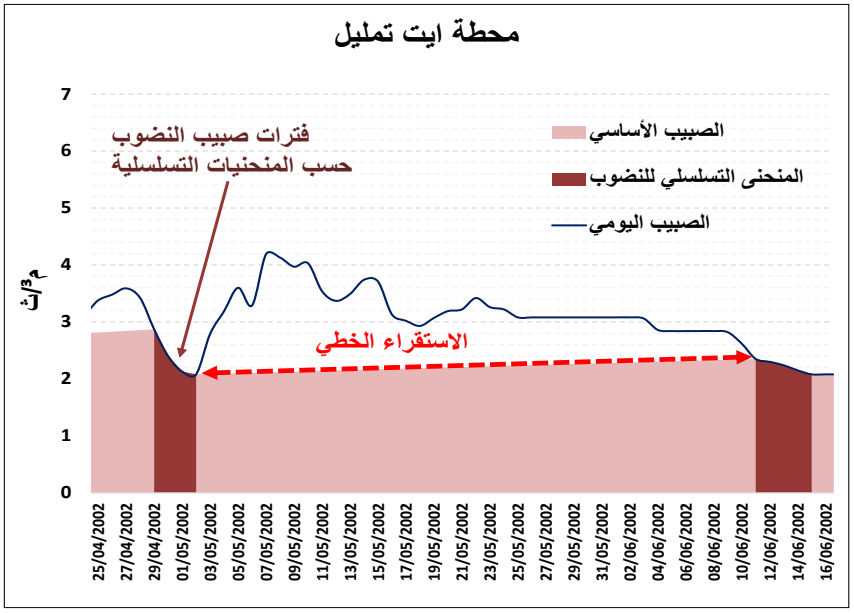
بالإضافة إلى التناقضات النظرية، هناك اختلافات في تقنيات تتبع الصبيب الأساس حيث اعتمد (Sloto et Crouse, 1996) الطريقة التجريبية، واعتمد (Gamez et Zumstein, 1993) الطريقة الإحصائية، أما (Lambert, 1975) فقد فضل الطريقة اليدوية في فصل الصبيب الأساس عن الجريان السطحي وشبه السطحي. في النهاية، بصرف النظر عن الأحواض النهرية المجهزة جيدًا (بيزومتر، تتبع الينابيع والعيون)، أو باستخدام طرق التحليل الفيزيائي الكيميائي والهيدرولوجيا النظيرية (Uhlenbrook et Hoeg, 2003). لا توجد طريقة تسمح بالتحقق من صحة فصل الجريان. لذلك هناك دائمًا هامش كبير من عدم اليقين بشأن قيم معدل الصبيب الأساس.

لهذه الأسباب سيتم الاعتماد على طريقة **تحليل فترات النضوب المائي باعتماد المنحنيات التسلسلية** لفصل المخطط الهيدروغرافي وتمييز الصبيب الأساس بشكل منهجي، واستنتاج مؤشر الصبيب الأساس BFI (*Base Flow Index*)(*Indice de débit de base*).

- **فصل الصبيب بناءً على تحليل فترات النضوب المائي**

تسمح لنا الصرامة المفروضة بتحديد فترات النضوب المائي، حيث أن القيم المختارة، تمثل حصة ضعيفة أو منعدمة من الجريان السطحي. والهدف من ذلك هو الاحتفاظ بجميع التدفقات التي تمثل فترات النضوب المائي، و التي ستشكل نقاط الربط لمسار الصبيب الأساس. ونحصل على الصبيب الأساس، من خلال التعديل بين نقاط الربط هاته، بطرق مختلفة، إلا أن (Lang, 2007) اقترحت ببساطة الربط بينها عن طريق الاستقراء الخطي، لأنه في جميع الحالات يكون من المستحيل تحديد كيفية ملء الخزانات الجوفية بشكل دقيق (Chapman, 1999). ولا تكون فترات النضوب المائي كافية دائمًا لرسم معدل الصبيب الأساس، لذا فإن الإجراء تشتمل أيضًا معدلات الصبيب المنخفضة أسفل مخطط نقاط الاستقراء. يوضح مبيان 138 فصل الصبيب الأساس التي تم الحصول عليها بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل عند محطة أيت تمليل.

مبيان 138: مثال لإجراء الاستقراء الخطي لمخطط الصبيب الأساس باعتماد طريقة المنحنيات التسلسلية للنضوب المائي.



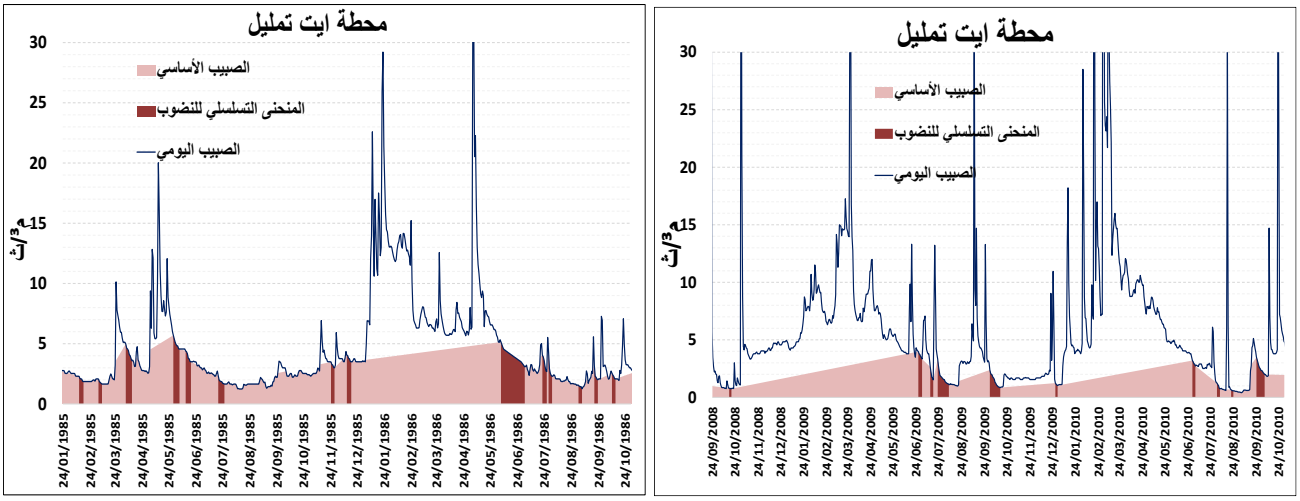
II. نتائج فصل الصبيب الأساس عن الصبيب الكلي

بعد تقديم منهجية وأدوات العمل، سيتم في هذه المرحلة تقديم وتحليل المخططات الهيدروغرافية لفصل الصبيب، وذلك بهدف حساب وتصور تغيرات مؤشر الصبيب الأساس (*BFI*) بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل وحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف).

1. فصل وتحديد الصبيب الأساس

الهدف من الطريقة البيانية هو تبسيط مكونات هيدروغراف الامتطاح، بافتراض أنه عند مستوى المجرى المائي، يكون الصبيب نتيجة تراكب تدفقين: الصبيب الجوفي الذي يأتي من تصريف المياه الجوفية للحوض المائي من جهة، وإجمالي الجريان السطحي الناتج عن التساقطات المطرية من جهة أخرى.

مبيان 139: مثال لتحديد الصبيب الأساس على مستوى محطتي أيت تمليل وتمسماط



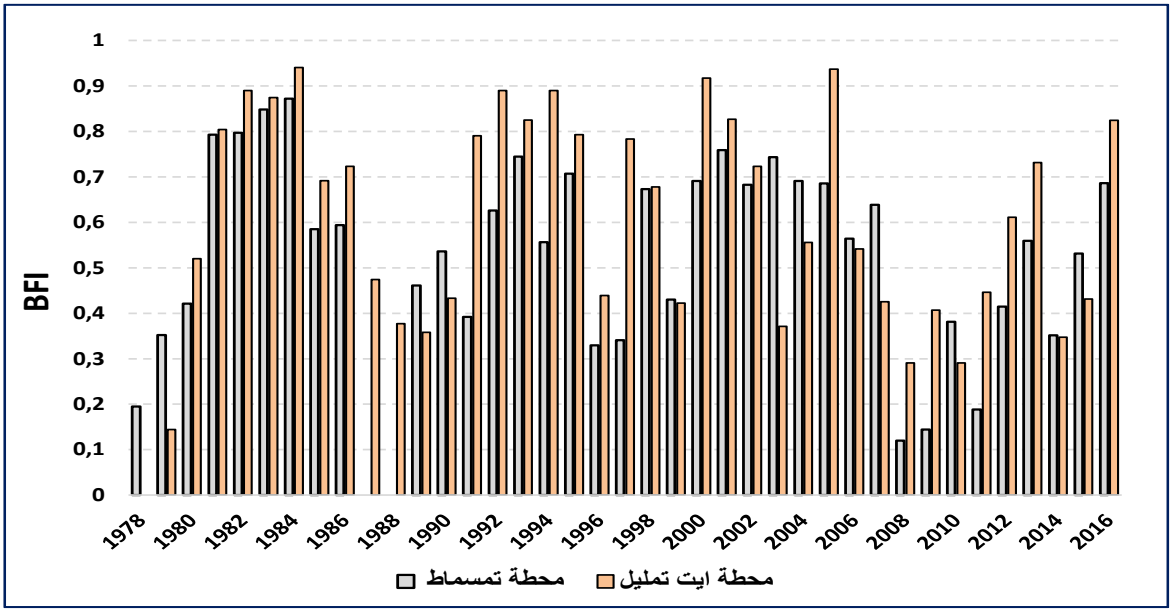
قد تبدو طريقة تحليل المخطط الهيدروغرافي للصبيب، في النهاية، موجزة بالمقارنة مع الإجراءات الأخرى المقترحة في البليوغرافيا (Chapman, 1999)، غير أن لها عدة مزايا: من أهمها استخدام تحليل النضوب المائي يضمن دقة الإطار الأولي؛ وسهولة التنفيذ والحصول على نتائج مُرضية لفصل الهيدروغراف من الناحية البيانية (Ven Te Chow et al., 1988)، وأخيرا قربها من الطرق الأخرى التي تدمج تغذية الخزانات الجوفية. (Rutledge, 1998).

وقد أبرزت (Lang, 2007) صعوبة التحقق والمصادقة على بيانات الصبيب الأساس المستخلصة بهذه الطريقة، لعدم وجود وسيلة لذلك. إلا أنه يمكن التأكد من تناسق نتائج مؤشرات الصبيب الأساس (BFI) مع الخصوصيات الصخارية للحوض النهري.

2. مؤشر الصبيب الأساس

يقصد بمؤشر الصبيب الأساس الذي يعرف اختصارا باللغة الإنجليزية BFI (*Base Flow Index*) وباللغة الفرنسية (Indice de débit de base) نسبة الصبيب الأساس ضمن الصبيب الكلي للمجرى المائي. حيث يعتبر مؤشرًا جيدًا على السعة التخزينية للحوض وبالتالي حساسيته لفترات الشح المائي. وقد تم تقديمه في البداية من طرف (Lvovich, 1972) وتم تطويره لاحقًا في إطار أوسع في العمل الأنجلو ساكسوني لمعهد الهيدرولوجيا سنة 1980. إن تحليل مؤشر الصبيب الأساس سيمكننا من تصنيف حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، من وجهة نظر إحصائية، حسب الفئات المقترحة من طرف (Pardé, 1967): "المجاري المائية ذات التغذية الباطنية الضعيفة تمثل أقل من 30%، والمجاري المائية ذات التغذية الباطنية المهمة نسبيا تمثل من 30 إلى 50%، أما المجاري المائية ذات التغذية الباطنية القوية فتمثل من 50 إلى 90%".

مبيان 140: مؤشر الصبيب الأساس (BFI) على مستوى محطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)

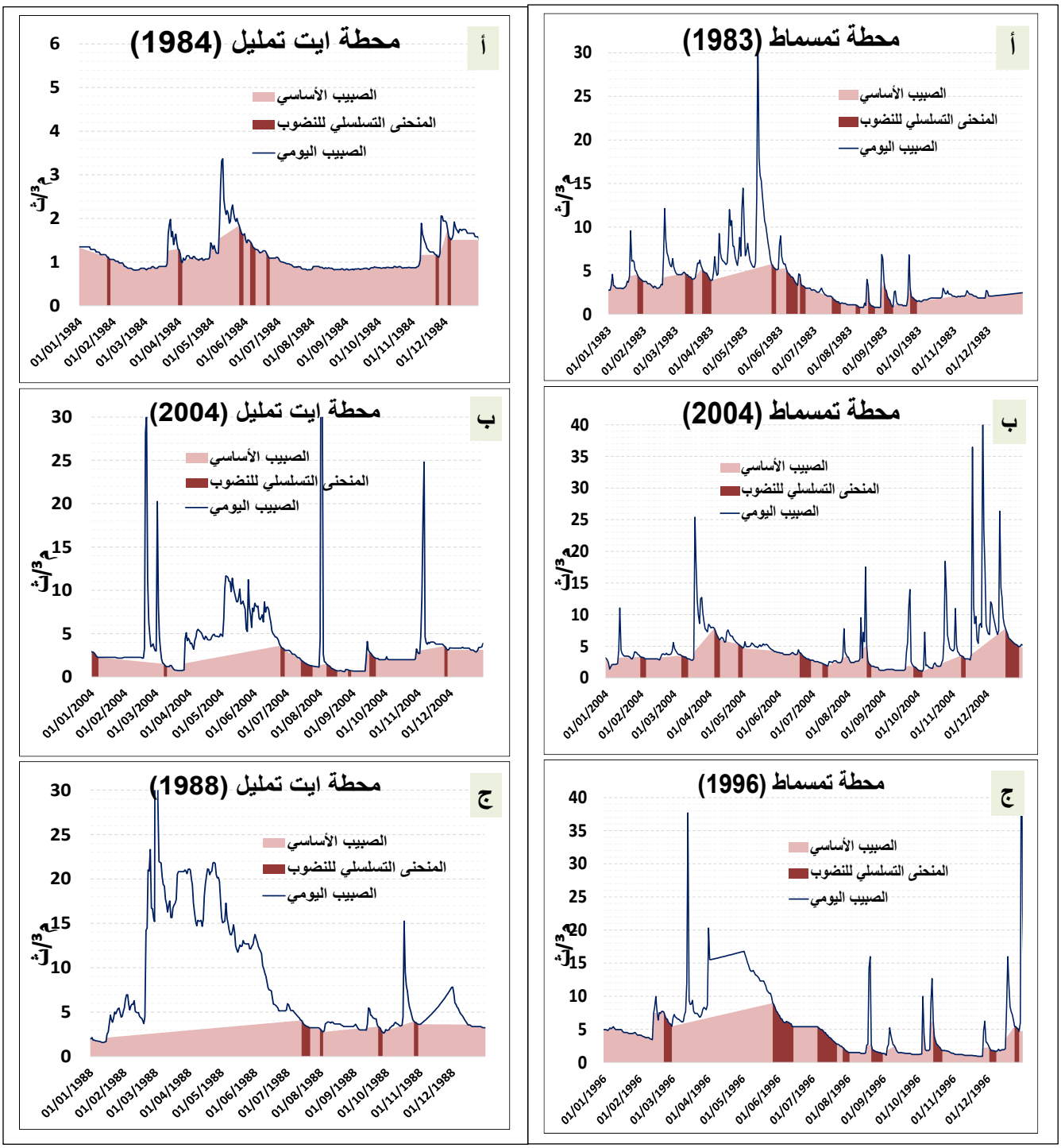


بلغ المعدل البيسنوي لمؤشر الصبيب الأساس بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل وحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) على مستوى محطتي أيت تمليل وتمسماط على التوالي 60% و 54%، مما يعني أن نسبة التغذية الجوفية فاقت 50% بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، وهو ما يضعه ضمن تصنيف المجاري المائية ذات التغذية الباطنية المهمة جدا، حسب تصنيف (Pardé, 1967). وقد عرف المؤشر تباينا طفيفا بين حوضي الدراسة، حيث أن عالية الحوض (محطة أيت تمليل) يعرف تغذية باطنية أكثر أهمية، وهذه النتيجة لا تتعارض مع الخصوصيات الصخارية التي تميز العالية، والمتشكلة أساسا من التكوينات ذات النفاذية المهمة (تكوينات كلسية منكسرة، الدولوميت...). كما عرف هذا المؤشر تباينا من سنة إلى أخرى، إذ تميزت بعض الفترات بقيم قوية لمؤشر الصبيب الأساس (BFI) تجاوزت 70%، كالفترة الممتدة بين 1981 و1984 والفترة بين 1991 و1995 والفترة بين 2000 و 2006، وهي نفس الفترات التي شهدت جفافا هيدرولوجيا. يمكن أن نفسر القيم المرتفعة لمؤشر الصبيب الأساس خلال فترات الجفاف بالمساهمة القوية للطبقات الجوفية في تغذية المجاري المائية في ظل غياب أو قلة التساقطات المطرية لفترات زمنية ممتدة لعدة أشهر. يوضح مبيان 141 الصبيب الأساس خلال السنوات القصوى بحوضي الدراسة.

يغلب الجريان السطحي وتحت السطحي على الجريان الجوفي خلال السنوات الرطبة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، حيث أن التساقطات المطرية تفصل بينها فترات قصيرة إلى متوسطة. وقد سجل مؤشر الصبيب الأساس قيم ضعيفة بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل وحوض تساوت عالية سد م يوسف) وهي على التوالي 37% سنة 1988 و 32% سنة 1996.

وقد سجلت السنوات المرجعية للجفاف الهيدرولوجي مؤشرا مهما للصبيب الأساس، والتي بلغت على التوالي بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل وحوض (تساوت عالية سد م يوسف) 94% سنة 1984 و 85% في سنة 1983. هذا يدل على الدعم الكبير للطبقات الجوفية للجريان السطحي خلال سنوات الجفاف. وتتردد فترات النضوب المائي، بشكل أكبر، خلال الفترات الصيفية (من شهر يونيو إل شهر أكتوبر)، حيث يمثل الصبيب الأساس مجموع الصبيب في المجرى المائي للحوض. كما أنه خلال هذه الفترة تتضاءل استجابة الصبيب الأساس للتساقطات المطرية، إذ يستمر في الانخفاض بشكل متواتر.

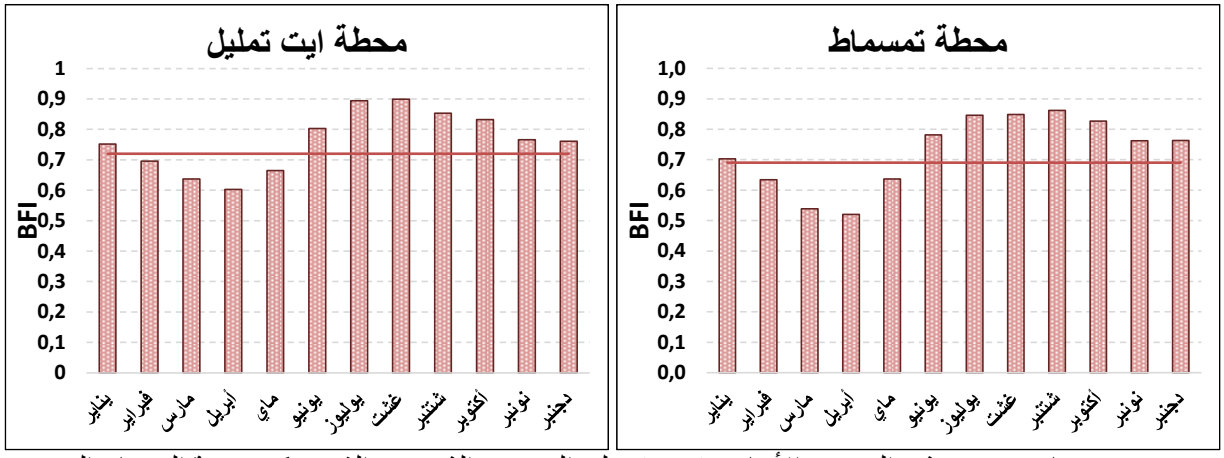
مبيان 141: الصبيب الأساس خلال السنوات القصوى بمحطتي أيت تمليل وتمسماط، (أ): سنة جافة (ب): سنة عادية (ج): سنة رطبة.



3. نظام الصبيب الأساس

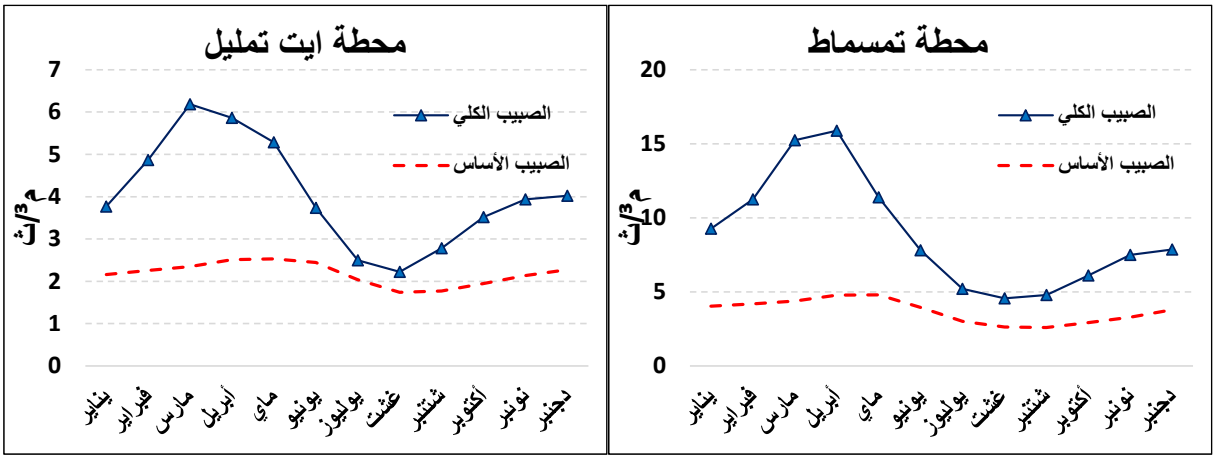
تتميز الدينامية الطبيعية لأنظمة الطبقات الجوفية، بالتغايرية في إمداداتها، وأحيانا بعدم استقرار الظروف عند مستويات معينة، التي تحدد التغيرات المحتملة في مستوياتها، وبالتالي ظهور أو اختفاء الجريان (العيون والينابيع) في السطح. هذا الجريان قابل للقياس بشكل مباشر، غير أن انتشاره الكبير وصعوبة تحديد مواقعه بشكل مضبوط يجعل من الصعب القيام بهذه العملية. وبالتالي، فإن التحليل الإحصائي لبيانات الصبيب التي تمثل الجريان السطحي مكننا من مقاربة وتقدير صبيب الجريان الجوفي باعتماد طريقة المنحنيات التسلسلية للنضوب المائي، وتحليل التغيرات الموسمية للصبيب الأساس بالحوض المدروس.

مبيان 142: مؤشر الصبيب الأساس (BFI) على المستوى الشهري بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



يوضح مبيان 142 مؤشر الصبيب الأساس (BFI) على المستوى الشهري، الذي يعكس نسبة الجريان الجوفي ضمن الصبيب الكلي بحوض الدراسة. وكما سبقت الإشارة، فإن القيم المرتفعة لمؤشر الصبيب الأساس تدل على هيمنة التغذية الجوفية للمجرى المائي. وباعتبار الحوض يتميز بالتشكيلات الصخارية ذات النفاذية المهمة فإن هذا النمط من التغذية الباطنية القوية، حسب تصنيف (Pardé, 1967)، تمتد على طول السنة، ونجده بشكل مهم خلال الفترة الممتدة بين شهري يونيو وأكتوبر، حيث أن هذه الفترة تتميز بقلة التساقطات المطرية. بالنسبة للأشهر الشتوية (نونبر، دجنبر ويناير) تعرف هي الأخرى مؤشر مرتفع والذي يُعزى إلى التساقطات الثلجية التي تحتجز جزء من المياه في حالتها الصلبة، لتستمر التغذية الباطنية في إمداداتها للمجاري المائية. يوضح المبيان 143 نظام الصبيب الأساس في علاقته بالنظام الهيدرولوجي للصبيب:

مبيان 143: نظام الصبيب الأساس بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016)



بلغ الانحراف المعياري للصبيب الأساس بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل وحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) على التوالي 0,21 م^3/ث و 0,67 م^3/ث، والتي تعبر عن ضعف التغايرية للصبيب الجوفي، كما يبلغ ذروته خلال شهري أبريل وماي بالنسبة لحوضي الدراسة، أي بفارق زمني يُقدر بشهر على الأقل بعد بلوغ صبيب الجريان السطحي ذروته.

خلاصة

أوضح تحليل البيانات الإحصائية لمعاملات النضوب المائي ومؤشرات الصبيب الأساس أن حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) يتميز بطبقات جوفية ذات سعة مهمة بما يكفي لتنظيم الصبيب على المستوى الشهري والسنوي وحتى البيسنوي. وبالتالي فإن أهمية طاقة التخزين الجوفي تتمظهر خصوصا خلال توالي السنوات الجافة. كما أن صبيب المياه الجوفية ومدة التفريغ ترتبطان بشكل وطيد بالسعة التخزينية للفرشة الباطنية.

خـــــاتمة الفصل التاسع

أبرز تباين معاملات النضوب المائي بحوضي الدراسة صعوبة في تحليل حدث النضوب المائي في جانبه الكمي وأصل الصبيب الأساس خلال فترات نزول الصبيب. وبالتالي، كان لازما البحث عن قيمة متوسطة حتى يتسنى ربط معدل معامل النضوب المائي بخصائص الحوض النهري. ومن أهم النتائج التي تم التوصل إليها من خلال دراسة النضوب المائي:

- غياب علاقة ترابط بين معاملات النضوب المائي وتغيرات درجات الحرارة ونشاط عملية التبخر-النتح، لكون النضوب المائي بأحواض الدراسة مرتبط بجريان باطني (هيدروجيولوجي)، لذا فالتأثير المناخي المباشر سيكون أقل وقعا في هذه الحالة.
- بينت دراسة العلاقة بين معاملات النضوب المائي وصبيب بداية فترات النضوب المائي استقلالية واضحة بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل لكونه يستفيد من تغذية الخزانات الجوفية بشكل كبير. وقد ظهرت هذه العلاقة بشكل طفيف بالحوض الكلي تساوت (عالية سد م يوسف) لتطوره بأوساط تغلب فيها التشكيلات الصخارية ذات النفاذية الضعيفة.
- انطلاقا من علاقة التناسب بين Q_0 و Q_t تم استنتاج المنحنى الرئيسي للنضوب المائي، من خلال ربط هذه العلاقة بالمدة t (الأيام). وبتعديل المنحنى حسب قانون Maillet، تم استنتاج α الرئيسية التي تعكس درجة الانحدار، وبالتالي سرعة الإفراغ بكل حوض. وأظهرت النتائج بطء الإفراغ بالنسبة للخزانات الجوفية للحوض الفرعي أيت تمليل. لذا فإن هذه النتائج تتوافق مع السياق الهيدروجيولوجي للحوض.
- أدى التعديل الإحصائي لمعامل النضوب المائي إلى حساب معدل α، والقيمة المنوال ل α، بالإضافة إلى قيم الرُّبيعات وبالتالي تحديد موقع α الرئيسية بالنسبة للقيم المحصل عليها.

أدى التحليل الإحصائي لمعاملات النضوب المائي، حسب قانون Maillet، إلى نتائج مرضية، مكّنت من مراعاة تغيرات هذا المعامل باعتبار الخصوصيات الطبيعية والمناخية للحوض.

كما أظهرت نتائج فصل الصبيب الأساس أن حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) يعرف تغذية باطنية مهمة تجاوزت 50% من مجموع الصبيب الكلي حسب مؤشر الصبيب الأساس BFI، وهي نتيجة لا تتعارض مع خصوصيات الحوض والمتميز بنفاذية متوسطة إلى قوية. إن الدعم المهم الذي توفره الطبقات الجوفية تساهم بنسبة مهمة في الإمدادات المائية للمجرى المائي خلال فترات الشح المائي، وكذا السنوات الجافة التي تسجل عجزا كبيرا في التساقطات المطرية.

خـــاتمة القسم الثالث

يوجد عدد كبير من الطرق، في البيليوغرافية، لتحديد واستخلاص الشح المائي. وفي هذه الدراسة، اقتصرنا على استخدام ثلاث طرق لاستخلاص مؤشرات صبيب الشح: معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA)، معدل الصبيب اليومي الأدنى على (VCN_d)، ثم منحنى الصبيب اليومي المصنف (DC).

بناءً على هاته الطرق، تم إجراء تحليل التردد لربط فترة العودة بمعدلات الصبيب. وقد تم اختبار العديد من قوانين التعديل المستخدمة بشكل كبير في دراسة الشح المائي. اتضح من هذا التحليل أن القيم المستخلصة لفترات الرجوع من سنتين إلى 10 سنوات لمعدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى يوم واحد إلى 60 يوما متقاربة جدا، مما يدل على طول فترات الشح المائي. غير أن دراسة فترات العجز المائي اعتمادا على مؤشرات الصبيب المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف بنسبة 50% و 60% (Q60, Q50) أفرزت فترات عجز ممتدة جدا استمرت في بعض الحالات لعدة سنوات، لذا لا يمكن أن تمثل فعلا شحا مائيا. وبالتالي، فإن اختيار عتبات البدء بالنسبة لفترات الشح المائي يجب أن يراعى في اختيارها تحقيق نوع من التوازن.

أفرزت دراسة علاقة مؤشر الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% (Q75) بالمعدل السنوي لأيام العجز أن مدة العجز بلغت أربعة أشهر بحوضي الدراسة، كما أن هذا المؤشر يقترب من قيم الصبيب الأكثر ترددا (الصبيب المنوال). وبالتالي، فقد تبين أن هذا المؤشر يمكن اعتباره عتبة البدء لفترة الشح المائي بالنسبة لحوضي الدراسة.

من جهة أخرى، أبرزت دراسة خصائص معامل النضوب المائي وجود تباين مجالي واضح بين عالية الحوض سافلته. وانطلاقا من التعديل الإحصائي لهذه المعاملات تم حساب معدل α، والقيمة المنوال ل α، بالإضافة إلى قيم الرُّبيعات التي تحدد موقع α الرئيسية بالنسبة للقيم المحصل عليها. وقد سجلت α الرئيسية 0,035 عند محطة تمسماط والتي تعبر عن انحدار قوي، يعكس سرعة الإفراغ بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، أما بالنسبة لمحطة أيت تمليل فقد سجلت 0,025، والتي بدورها تعبر عن بطء في الإفراغ بالنسبة للخزانات الجوفية للحوض الفرعي أيت تمليل. كما بينت نتائج فصل الصبيب الأساس أن حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) يعرف تغذية باطنية مهمة، تجاوزت 50% من مجموع الصبيب الكلي حسب مؤشر الصبيب الأساس (BFI) وتتجاوز 80% خلال بعض السنوات الجافة. ويساهم الدعم المهم الذي توفره الطبقات الجوفية بنسبة مهمة في الإمدادات المائية للمجرى المائي خلال فترات الشح المائي، وأيضا السنوات الجافة التي تسجل عجزا كبيرا في التساقطات المطرية.

القسم الرابع:

مظاهر وتجليات الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): التتبع والقياس و النمذجة والتدبير

الفصل العاشر:

تتبع وقياس الصبيب خلال فترات الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (2017-2020)

الفصل الحادي عشر:

نمذجة صبيب الشح والنضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي

الفصل الثاني عشر:

الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): المظاهر والتجليات والتأثير وآفاق التدبير

مقدمة القسم الرابع:

في ظل الطلب المتزايد على الموارد المائية، فإن تدبير الأزمات والتوترات المرتبطة بتناقص هذا العنصر الحيوي خلال فترات الشح المائي يؤدي بمعظم البلدان المعنية إلى تنفيذ إجراءات تنظيمية تهدف إلى التوفيق بين الاستخدامات المختلفة والحفاظ على الأوساط البيئية المائية، إذ تهدف هذه القوانين إلى الحفاظ على النظم الإيكولوجية المائية، وحمايتها من أي تلوث واستعادة جودة المياه، وتطوير المياه كمورد اقتصادي وتوزيعها لإرضاء أو التوفيق بين متطلبات الصحة والصرف الصحي وإمدادات مياه الشرب للسكان، والاحتياجات المائية للزراعة وتربية الأحياء المائية والصناعة وتوليد الطاقة والترفيه...

تعتبر الدراسة الميدانية مرحلة أساسية في استكمال المعالجة الإحصائية لمؤشرات صبيب الشح. وانطلاقا من عمليات قياس وتتبع الصبيب لعدد من النقط على مستوى المجاري المائية، خصوصا خلال فترات نزول الصبيب، يمكن استخلاص مجموعة من المعطيات والمعلومات التي ستساعدنا على فهم أنماط الجريان على المستوى المجالي، بالأحواض الفرعية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). ومن أجل استكمال فهم جيد للاشتغال الهيدرولوجي خلال الأحداث المتكررة للشح المائي سيتم نمذجة الصبيب على المستوى اليومي بحوضي الدراسة، وذلك من أجل التنبؤ بالصبيب خلال فترات الشح المائي. وتكمن الغاية الأساسية من النمذجة الهيدرولوجية اعتمادا على الخصائص الهيدرولوجية القصوى، في المساعدة على تدبير جيد للموارد المائية خلال فترات الخصاص الماء بشكل منهجي ومبني على أسس علمية محضة، من خلال التنبؤ على المدى القصير والمتوسط، لاتخاذ إجراءات استباقية، وتفادي وصول مرحلة الأزمة. وستتم هذه الدراسة على مستوى ثلاثة فصول كالتالي:

الفصل العاشر: اعتماد الدراسة المجالية للشح المائي من خلال تتبع قياسات الصبيب على مدى أربعة سنوات (2017-2020). والغاية من ذلك هو تحديد أنماط الجريان للأحواض الوحدوية المقيسة.

الفصل الحادي عشر: اختيار وتقديم النماذج الهيدرولوجية المعتمدة في نمذجة الصبيب بالحوض النهري المدروس، وتقييم فعاليتها باعتماد عدد من مؤشرات الأداء. وذلك بهدف التنبؤ على المدى القصير والمتوسط بمستويات الشح والنضوب المائي.

الفصل الثاني عشر: تحديد الممارسات والأنشطة البشرية بالحوض، من أجل فهم علاقة التفاعل بين تردد فترات الشح المائي من جهة والاستغلال البشري للموارد المائية وجودة المياه من جهة أخرى، وذلك بهدف الخروج بتدابير لهذه الأحداث المترددة لتحقيق تنمية مستدامة.

الفصل العاشر: تتبع وقياس الصبيب خلال فترات الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (2017-2020)

مقدمة الفصل العاشر

سنعمل خلال هذا الفصل على تقديم منهجية تقييم كمي للموارد المائية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). وتدخل هذه المنهجية في إطار إشكالية الاستغلال المفرط للموارد المائية في مجال جبلي يتميز بوعورة المسالك. وفي هذا السياق سنحاول فهم الاشتغال الهيدرولوجي اعتمادا على قياسات نقطية للصبيب على طول المجاري المائية في فترات مختلفة مع التركيز على الفترات التي يكون فيها الصبيب منتظم، أي في غياب تأثير التساقطات المطرية.

تمتد القياسات النقطية على مدى أربع سنوات (2017-2020) مر خلالها الحوض بسلسلة من مراحل التغذية والتفريغ. وبالتالي تمثل هذه العينات قاعدة متينة لتحديد وتصنيف الأحواض حسب معايير محددة. كما سنهدف من خلال التمثيل الكارطوغرافي والخطي (المقطع الهيدرولوجي) للصبيب بتدقيق هذا التصنيف من خلال تسليط الضوء على التباين المكاني للشح المائي بحوض الدراسة.

سنمر من خلال هذا الفصل على محورين سيتم التطرق من خلالهما إلى مختلف الطرق والمنهجيات التي تم اعتمادها في الدراسة الميدانية للشح المائي وأهم النتائج والخلاصات المُتوصل إليها:

المحور 21: تقديم الإشكالية والصعوبات التي تواجه دراسة الشح المائي، والمنهجية والطرق المعتمدة في تحليل وتفسير الاشتغال الهيدرولوجي خلال فترات الشح المائي انطلاقا من حملات القياس التي ستكون متمركزة، في أغلب الأحيان، خلال فترات نزول الصبيب. من المهم أيضا اختيار نقط القياس بعناية وحذر لأنها تمثل محطات لتتبع قياس الصبيب لمدة غير قصيرة، وكذلك مراعاة مجموعة من المعايير والشروط المتعلقة باختيار الأحواض الوحدوية المقيسة.

المحور 22: تعكس قياسات الصبيب لنقط القياس المختارة خصوصيات وأنماط الجريان للأحواض الوحدوية، التي تتميز بخصوصيات طبيعية وبشرية مختلفة. وسيتم تحليل معطيات القياس النقطية باعتماد طرق مختلفة، من أهمها: منحنى المعايرة، معامل النضوب المائي، المقطع الهيدرولوجي والعائد الهيدرولوجي لكل حوض فرعي.

إن تحليل ومعالجة معطيات قياسات الصبيب بالأحواض الوحدوية تعكس الإمكانات المائية المتوفرة وتوزيعها مجاليا، خصوصا عندما يتعلق الأمر بدراسة الشح المائي، حيث يلعب المخزون المائي الباطني دورا أساسيا في تغذية الجريان السطحي.

المحور 21: الإشكالية والمنهجية المعتمدة في الدراسة الميدانية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

تعتبر عملية إنتاج المعطيات الهيدرومترية أداة أساسية لفهم جيد للاشتغال الهيدرولوجي للأحواض النهرية غير المقيسة أو المقيسة. لأنها تساهم بشكل مباشر أو غير مباشر في عمليات اتخاذ القرار في تدبير الموارد المائية والمخاطر الهيدرولوجية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تساعد البيانات الهيدرومترية في التنبؤ وتدبير الأوضاع الهيدرولوجية للأودية على مدى عدة فترات (الشح المائي والامتطاحات) وكذا الحالات القصوى مثل الجفاف والفيضانات. حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) مجهز بمحطتين هيدرومتريتين على طول المجرى المائي الذي يبلغ طوله أكثر من 110 كلم. ولفهم جيد للسلوك الهيدرولوجي بالحوض اعتمدنا القياسات النقطية على طول المجرى المائي (6 نقط قياس)، بالإضافة إلى قياس الأحواض الفرعية. وبالتالي سنقدم خلال هذا المحور الإشكالية والغاية من القياسات الميدانية، بالإضافة إلى العمليات المعتمدة في إنتاج البيانات الهيدرومترية.

I. الإشكالية

ترتكز الإدارة الفعالة على المعرفة الدقيقة والموضعية للموارد المائية. ومع ذلك، تخضع العمليات الهيدرولوجية السطحية والجوفية للتغيرات المكانية والزمنية التي تعتمد على المدخلات المناخية والخصائص الطبيعية للحوض. يوفر قياس معدلات الصبيب، خلال فترات الشح المائي، في نقط مختلفة من الحوض غير محطات القياس الدائمة بيانات مفيدة للغاية لفهم الاشتغال الهيدرولوجي بالحوض المدروس. كما يمكن ربط هذا الصبيب المقيس بالمعطيات التي تمت ملاحظتها في نفس الوقت في المحطات المرجعية لتحديد خصائص صبيب الشح في المواقع غير المقيسة. وللتأكد من النتائج التي تم التوصل إليها من خلال المعالجة الإحصائية لمعطيات محطتي الدراسة من جهة، ولتشخيص النظام الهيدرولوجي للأحواض الفرعية غير المقيسة بالحوض من جهة أخرى. عملنا خلال هذه المرحلة على قياس صبيب المجاري المائية بالحوض في فترات مختلفة من السنة من أجل معرفة خصائص السلوك الهيدرولوجي للحوض، وتشكيل منحنى المعايرة لمختلف الأحواض الفرعية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). كما تم التركيز في عملية قياس الصبيب على فترات الشح المائي لأنه الوضع المناسب لفهم مساهمة طبقات المياه الجوفية في تغذية المجرى المائي عبر إنجاز مقاطع هيدرولوجية.

تواجه دراسة الشح المائي في الهيدرولوجيا عددا من الصعوبات. حيث لا يتم إعطاؤها الأهمية اللازمة حتى من طرف بعض المختصين في الهيدرولوجيا. ويمكن أن يكون السبب في ذلك هو الطبيعة غير المثيرة للاهتمام لهذا الحدث مقارنة بالأحداث الأخرى الأكثر إثارة، مثل الفيضانات، أو الأكثر كلاسيكية، مثل التدفقات الوافدة (Oberlin et *al*, 1973). كما أن هناك مشاكل مرتبطة بجودة المعطيات الهيدرومترية خلال فترت نزول الصبيب. كما أن الباحث يجد صعوبة في الحصول على البيانات والنتائج المعتمدة في الدراسات والمشاريع خصوصا في الأحواض النهرية غير المقيسة.

ولمعالجة هذه الصعوبات، سيتم إجراء عدد مهم من القياسات اللحظية، ومحاولة استقراء هذه القياسات كلما أمكن ذلك، ويمكن ذلك في حالة غياب تأثير التساقطات المطرية على الصبيب. كما أن القياسات التي تفصلها فترات عرفت امتطاحات أو فترات صعود الصبيب، والتي لا يمكن استقراء بياناتها، فإنها تفيدنا كذلك في تشكيل منحنى المعايرة انطلاقا من العلاقة صبيب-ارتفاع مستوى الماء.

II. المنهجية المعتمدة

نظرا لتعدد المقاييس وتنوع المجالات وتفاعلاتها وحصر الحدود، والتي تشكل إحدى الإكراهات الرئيسية في الجغرافيا الطبيعية بالأساس، فهي تسعى باستمرار إلى تشكيل الوحدة المكانية ذات الصلة بين مكونات الوسط. إن الفكرة التي يقوم عليها هذا المنهج هو التوفيق بين المقياس الهيدرولوجي والهيدروجيولوجي، وبالتالي توزيع نتائج القياس وفق معيار للموارد المائية الجوفية والسطحية على نطاق واسع لتخطي الظروف الموضعية وفي نفس الوقت دقيقة بما يكفي لدمج عوامل طبيعية متجانسة (الصخارة، الغطاء النباتي...)، وهذا ما يطلق عليه الحوض النهري

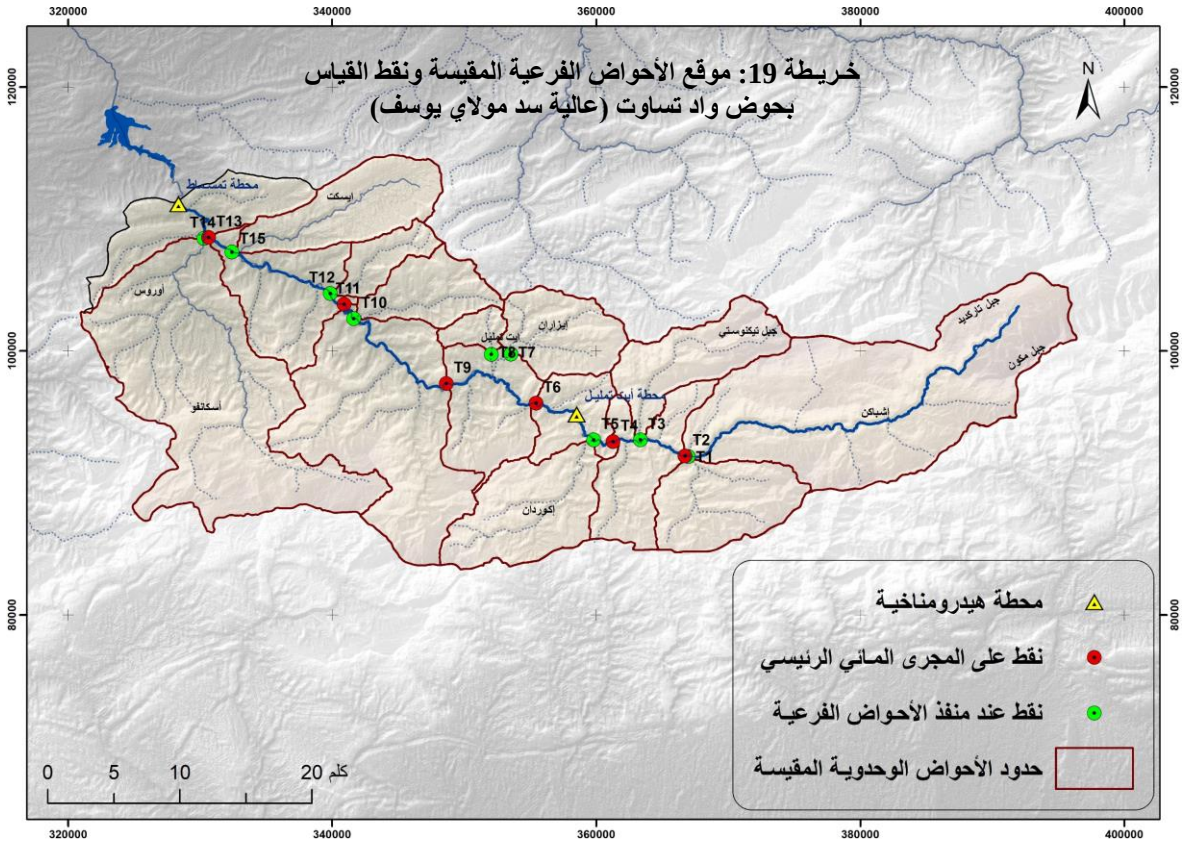
الوحدوي (Lebaut, 2001). ولكي تشير قيم الصبيب إلى خصائص الموارد المائية الجوفية، فمن الضروري، بالإضافة إلى قياسها في الأحواض الفرعية ذات التكوينات الصخارية المتجانسة، أن تتوافق مع نظام ثابت خلال فترة نزول الصبيب، ويتعلق الأمر بدراسة التباين المكاني للجريان من أجل وضع هيدرولوجي مستقر، أي خلال فترات لا يتأثر الصبيب بشكل مباشر بالتساقطات المطرية: وهنا نشير إلى فترات النضوب المائي التي من المسلم بها أن الجريان ناتج عن طبقات المياه الجوفية. ففي هذه الحالة تكون وثيرة النضوب مؤشرا على عائد طبقة المياه الجوفية. لذلك يتم إجراء القياسات في الظروف الهيدرولوجية المستقرة في جميع نقط القياس للأحواض الفرعية المتجانسة (الأحواض الوحدوية). وبالتالي، فحملة القياس يجب تنفيذها نسبيا في الوقت المناسب، حتى يكون هناك مقياس لحظي للجريان في جميع أنحاء نقط القياس للحوض النهري. ويتم حساب الصبيب اللحظي على أساسا حساب سرعة الجريان في المقاطع العمودية بواسطة العداد. تعكس قياسات الصبيب، التي تم الحصول عليها انطلاقا من 15 حوضا وحدويا، الإمكانات المائية من خلال مجموعة من الإجراءات والطرق التي تمنحنا تفسيرات عن الاشتغال الهيدرولوجي خلال فترات الشح المائي:

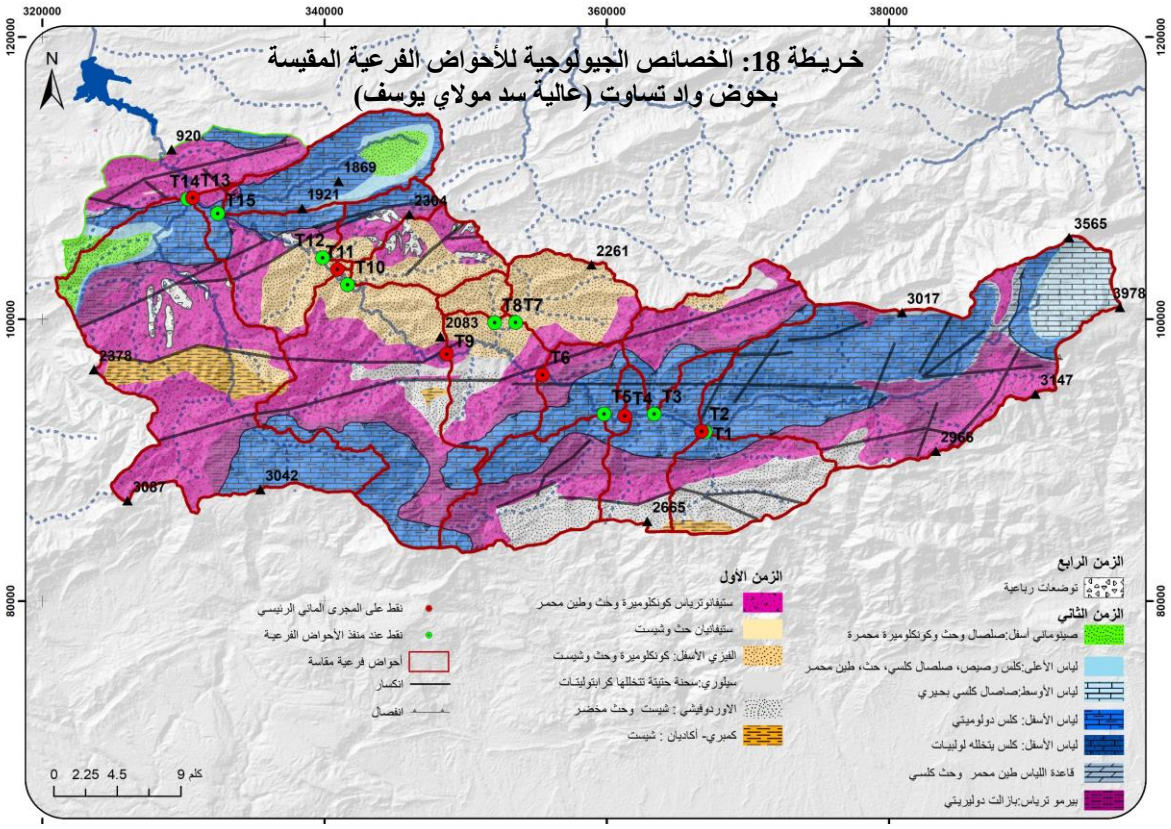
- **منحنى المعايرة**: الذي يمثل العلاقة بين قيم الصبيب اللحظي وارتفاع الماء في نقطة معينة، ويمكن إنشاؤه انطلاقا من 10 قياسات وما فوق.
- **العائد الهيدرولوجي**: يمثل العائد الهيدرولوجي باللتر/ث/كلم^2 إنتاج الحوض الوحدوي للموارد المائية. وهو يساوي الصبيب الصادر ناقص الصبيب الوارد (Qadem, 2015)؛
- **المقطع الهيدرولوجي**: يمثل المقطع الهيدرولوجي تطور صبيب المجرى الرئيسي من عالية الحوض إلى سافلته في علاقته بمساحة الحوض. يوفر تحليل هذا المقطع الهيدرولوجي، في علاقته بالتكوينات الجيولوجية التي يجتازها المجرى المائي، معلومات حول العائد الهيدرولوجي للحوض (Arts et Sary, 2000) ؛
- **معامل النضوب المائي**: يعالج تحليل معامل النضوب المائي العلاقة Q=Q(t) في نظام جريان لا يتأثر بالتساقطات المطرية (Hall, 1968). وبناءً على المعادلات النظرية التي تحكم تدفق المياه الجوفية، يمكن تمثيل الانخفاض في تصريف المياه الجوفية كدالة لخصائص طبقة المياه الجوفية: "يحتوي معامل النضوب المائي على معلومات حول تخزين وخصائص طبقات المياه الجوفية (Tallaksen, 1995). وقام العديد من الباحثين بصياغة معادلات النضوب المائي؛ وقد وقع اختيارنا على الصيغة الأكثر استخدامًا، ويتعلق الأمر بمعادلة Maillet. انطلاقا من الصبيب الأولي (Q_0)، يعبر عن انخفاض الصبيب كدالة للوقت (t) كما يلي: $Q_0 = Q_t . e^{-\alpha t}$.

ولكي يكون العمل الميداني مبنيا على أسس وقواعد علمية لابد من الإعداد الجيد والتخطيط الفعال بدءاً من اختيار نقط القياس وصولا إلى مرحلة قياس الصبيب اعتمادا على الأدوات المناسبة لذلك.

1. اختيار نقط القياس

تم اختيار 15 نقطة لقياس الصبيب موزعة بين عالية الحوض وسافلته، مع الأخذ بالاعتبار إمكانية الوصول إلى هذه النقط من جهة، والتأثير البشري (جلب المياه) من جهة أخرى. كما تمت مراعاة تجانس الخصائص الصخارية لهذه الأحواض الفرعية، مما يُتيح امكانية تحديد دور الطبقات في دعم جريان الشح المائي. وقد امتدت فترة القياس على طول 4 سنوات، خلالها شهد الحوض النهري سلسلة متعاقبة من مراحل التغذية والنضوب المائي. وبالتالي فإن هذه العينات تمثل بشكل جيد تغيرات الجريان السطحي والباطني بحوض الدراسة. تمثل الخريطة 19 موقع الأحواض الفرعية المقيسة ونقط تتبع الصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف).


خريطة 19: موقع الأحواض الفرعية المقيسة ونقط القياس
بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)
N
320000
340000
360000
380000
400000
120000
100000
80000
T14T13
T15
T12
T11
T10
T9
T8T7
T6
T5T4
T3
T2
T1
محطة أيت تمليل
إشبيلكن
أكوردان
أسكاقلو
أوروس
محطة هيدروماخية
نقط على المجرى المائي الرئيسي
نقط عند منفذ الأحواض الفرعية
حدود الأحواض الوحدوية المقيسة
0 5 10 20 كلم


خريطة 18: الخصائص الجيولوجية للأحواض الفرعية المقيسة
بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)
N
920
1869
1921
2304
2261
3565
3978
3017
2083
2378
3147
2966
3042
3087
2665
T14T13
T15
T12
T11
T10
T8T7
T9
T6
T5T4
T3
T2
T1
الزمن الأول
الزمن الثاني
الزمن الرابع
نقط على المجرى المائي الرئيسي
نقط عند منفذ الأحواض الفرعية
أحواض فرعية مقاسة
انكسار
انفصال
0 2.25 4.5 9 كلم

جدول 57: رموز الأحواض المقيسة وموقع نقط القياس

	الحوض	الرمز	X	Y	المساحة (كلم²)
المجرى الرئيسي	عالية ايفولو	T2	366723	93030	316
	ايفولو	T4	361300	93130	433
	ايت مكون	T6	355927	95754	542
	ايسولان	T9	348555	97478	662
	ايت إبراهيم	T11	340905	103538	872
	عالية تمسماط	T13	330661	108650	1025
الأحواض الفرعية	مكداز	T1	366998	92055	63
	تيسالي	T3	363374	93280	60
	فدغات	T5	359801	93255	75
	أيت تمليل	T7	353546	99757	49
	سافلة أيت تمليل	T8	352054	99792	12
	سافلة ايسولان	T10	341610	102457	40
	سافلة ايت موسى	T12	339849	104385	23
	اوروس	T14	330271	108490	234
	ايت بوعلي	T15	332430	107495	65

تم اعتماد ترميز الأحواض الفرعية المقيسة باعتماد حرف T ، الذي يشير إلى اسم الحوض النهري تساوت، واعتماد الترقيم انطلاقا من عالية الحوض في اتجاه السافلة.

تتموضع ست نقط للقياس على المجرى الرئيسي للحوض، ويتعلق الأمر ب T2 و T4 و T6 و T9 و T11 و T13 والتي تقع على التوالي بعالية الحوض ووسط الحوض وسافلته، وتتراوح مساحتها بين 316 و 1025 كلم^2. بالنسبة للأحواض الفرعية، والتي تبلغ 9 أحواض وحدوية، فتتراوح مساحتها بين 12 و234 كلم^2.

2. إنشاء محطات القياس

يعد اختيار موقع محطة القياس ذا أهمية قصوى لأنه من المفترض أن يظل في مكانه لفترة طويلة. في الواقع، وبالتالي فإن موثوقية وتمثيل بياناتها تكون ذات أهمية حقيقية بعد فترة زمنية ليست بالقصيرة وكلما طالت فترات قياس العلاقة صبيب-ارتفاع، كلما كانت القيم الإحصائية المحسوبة أكثر إثارة للاهتمام.

غالبا ما يواجه الباحث مشكلة في استقرار العلاقة صبيب-ارتفاع مستوى الماء. ولتفادي هذا الإشكال لابد من توفر عدد من الشروط في موقع إنشاء محطة؛ مثلا في المقاطع الطبيعية للمجرى المائي، التي لا تتأثر معالمها أو شكلها بسرعة الجريان. غير أنه يمكن لجريان الماء أن يزيل الحصى أو الرمال، وتكون هذه المواقع عرضة للتغيرات بسبب النحت والترسيب، وبالتالي يحصل اضطراب في العلاقة صبيب-ارتفاع مستوى الماء. كما أن تطور النباتات المائية في موقع التثبيت يؤثر على اتجاه وسرعة الجريان وارتفاع مستوى الماء(OMM, 1994).

يجب أن يسمح لنا الموقع المختار بمراقبة جميع مستويات المياه وقياس جميع التدفقات، سواء كانت منخفضة جدًا أو عالية جدًا. ولا بد أن يمر الصبيب بأكمله عبر مقطع القياس (سرير بقناة وحيدة)، وبالتالي يمكن تركيب معدات القياس بشكل آمن دون التعرض لخطر التدمير والغمر... ويفترض أيضًا أن القياسات يتم إجراؤها في ظل ظروف جيدة: مقياس يمكن قراءته بسهولة بدون أخطاء، سطح حر مستوٍ وثابت (مهما كان معدل الصبيب).

وبالتالي فإن العوامل الأساسية التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند اختيار وإنشاء محطات القياس هي كالتالي (Jaccon, 1975):

- استقرار العلاقة صبيب-ارتفاع مستوى الماء؛
- استقرار السرير النهري (المقطع المراقب)؛
- الموقع المناسب لتثبيت سلم القياس، حيث يمكن مقاومة سرعة الجريان؛
- الخصائص والتغيرات الموسمية في الصبيب؛

- سهولة الوصول إلى نقط القياس في جميع فصول السنة.

عند عملية تشخيص موقع المحطة يجب الأخذ بعين الاعتبار العوامل الخمسة المذكورة أعلاه، ووضع تقييم للموقع (جيد جدا، جيد، متوسط، دون المستوى). مع ذلك فإن الموقع المثالي (جيد جدا) نادرا ما يتوفر في مواقع القياس. وتجدر الإشارة إلى أنه يجب توخي الحدر وعدم الخلط بين معايير اختيار مقاطع قياس الصبيب ومعايير تثبيت سلم قياس ارتفاع الماء.

3. تخطيط برنامج حملات القياس

تُعد مسألة تخطيط البرنامج السنوي لحملات القياس بالغة الأهمية، حتى تكون المعطيات المستخلصة ذات جدوى ومرتبطة بإشكالية الدراسة (دراسة الشح المائي). وقد تمت مراعاة، في اختيار فترات القياس، العوامل التالية:

- برمجة حملات القياس في مختلف فترات السنة (فترات صعود الصبيب ونزول الصبيب)، حتى تكون البيانات المستخلصة مستقلة، لتفادي تكرار النتائج وتجنب تحيز العلاقة صبيب-ارتفاع؛
- استكشاف أكبر عدد ممكن من معدلات الصبيب خلال فترات نزوله مع التركيز على مراحل النضوب المائي في غياب تأثير التساقطات المطرية، للحصول على تجانس العمليات الكامنة وراء البيانات المحصل عليها؛

جدول 58: البرنامج الزمني لحملات القياس (2017-2020)

	يناير	فبراير	مارس	أبريل	ماي	يونيو	يوليوز	غشت	شتنبر	أكتوبر	نونبر	دجنبر
2017							1	2		1	1	
2018	1		1		1		1	1			1	
2019				1		1	1	1	1			
2020		1	1						1			

على مدى أربع سنوات من الدراسة تم إجراء 19 حملة للقياس (جدول 58)، توزعت على طول فترات السنة مع التركيز على فترات نزول الصبيب الممتدة بين شهري ماي وأكتوبر. تضمنت هذه الحملات 173 قياسا نقطيا ل 15 حوضا فرعيا وحدويا.

4. صبيب المجرى المائي وطرق قياس الصبيب

يتم تعريف صبيب المجرى المائي في الهيدرولوجيا على أنه حجم الماء الذي يمر عبر مقطع عرضي معين للمجرى المائي في وحدة زمنية (الثانية، الشهر، السنة). يتم قياس الصبيب في النظام الدولي بوحدة المتر مكعب في الثانية ($م^3/ث$) (OMM, 1994) .

يهتم علماء الهيدرولوجيا والمهندسون ومستخدمو المياه عمومًا بالخصائص التالية للصبيب:

- ما هي كمية المياه المتدفقة؟ والمتعلقة أساسا بالبيانات الإحصائية للصبيب (المعدلات، القيم القصوى، القيم الدنيا)؟
- متى يصل الصبيب إلى قيم الامتطاح والشح المائي؟ والتي ترتبط بالموسمية (موسم الشح المائي أو نزول الصبيب، موسم الفيضانات)؟
- ما هي المدة التي يستغرقها الصبيب تحت أو فوق عتبة معينة (منحنى الصبيب اليومي المصنف)؟

1.4. طرق قياس الصبيب

تعتبر قياسات الصبيب المستمرة في مقطع من المجرى المائي مكلفة للغاية. ومع ذلك، هناك طرق ومعدات مختلفة لقياس الصبيب بخطوة زمنية منفصلة (الصبيب اللحظي). يعتمد اختيار الطريقة الأنسب على عدد من العوامل بما في ذلك (OMM, 1994):

- حجم الصبيب بالمجرى المائي؛
- قياس المجرى؛
- نوع التدفق (مستوي، مضطرب)؛
- سرعة التدفق؛

- الدقة اللازمة؛
- اعتبارات متعلقة بالسلامة.

تقوم الخدمات الهيدرولوجية في مختلف البلدان بإجراء العديد من قياسات الصبيب على ترابها كل سنة. تتراوح معدلات الصبيب المقيسة من بضع لترات في الثانية في المجاري الصغيرة إلى آلاف الأمتار المكعبة في الثانية في الأنهار الكبيرة. كما أن الأساليب والمعدات المستخدمة تختلف من بلد إلى آخر. حاليًا، أكثر طرق قياس الصبيب استخدامًا هي (Perzyna, 2016):

- القياس باستكشاف مجال السرعة، باعتماد جهاز قياس التيار الميكانيكي (بكرات قياس الصبيب). يتم استعمالها في الولايات المتحدة الأمريكية، فرنسا والنرويج؛
- القياس عن طريق استكشاف مجال السرعة، مقياس سرعة Doppler الصوتي (ADV ، لـ « Acoustic Doppler Velocimeter»). يتم استعمالها في الولايات المتحدة الأمريكية وفرنسا؛
- القياس بمحدد الصفات الصوتية بتأثير Doppler (ADCP «Acoustic Doppler Current Profilers»)، قارب متحرك أو قارب متصل/عوامة ثابتة. يتم استعمالها في الولايات المتحدة الأمريكية، فرنسا، النرويج؛
- القياس باعتماد تقنيات التعويم (Flotteur). يتم استعمالها في الهند وفرنسا.

سيتم خلال هذا المحور تعريف القياس باستكشاف مجال السرعة، باعتماد جهاز قياس التيار الميكانيكي، والتي تم استخدامها في هذه الدراسة خلال حملات القياس المنجزة.

2.4. القياس باستكشاف مجال السرعة

الطريقة المباشرة الأكثر شيوعًا لتحديد صبيب المجاري المائية هي القياس عن طريق استكشاف مجال السرعة. بشكل عام، تحدد هذه الطريقة الصبيب من خلال جداء السرعة المتوسطة للجريان ومساحة المقطع العرضي للمجرى.

وباعتمادنا لتقنية قياس استكشاف مجال السرعة، يتم حساب معدل الصبيب حسب الصيغة (10.1) (Perzyna, 2016):

$$Q = V \,.\, A \qquad 10.1$$

Q: صبيب الجريان ب م^3/ث

V: السرعة المتوسطة للجريان م/ث

A: مساحة المقطع العرضي للجريان (العمودي على الاتجاه الرئيسي للجريان) ب م^2.

يتم تحديد مساحة المقطع العرضي ومتوسط سرعة الجريان وحساب معدل الصبيب باتباع الخطوات التالية (Perzyna, 2016)::

الخطوة 1: ينقسم المقطع العرضي إلى أقسام فرعية يشار إليها أحيانًا بألواح أو مقاطع فرعية. يتم تقسيم المقطع حسب قياس عرض المجرى المائي لحساب هندستها بشكل صحيح.

الخطوة 2: يتم تحديد مساحة كل مقطع فرعي مباشرة عن طريق قياس عرض وعمق القسم الفرعي. تُقاس الأعماق عادةً باستخدام علامات أو تدريجات على حامل (عصا) عداد التيار المائي (الدوارة). لقياس عرض المجرى المائي، عادةً ما يتم استخدام شريط قياس أو ديكامتر ممتد عبر الماء، فوق المقطع العرضي للقياس.

الخطوة 3: يتم تقييم السرعة في كل مقطع فرعي باستخدام أداة وطريقة مناسبة. بالنسبة الحوض المدروس، تم اعتماد القياس باستكشاف مجال السرعة، باستعمال جهاز قياس التيار الميكانيكي.

الخطوة 4: يتم حساب صبيب كل مقطع فرعي بضرب مساحة المقطع الفرعي (Ai) بمتوسط السرعة في المقطع الفرعي: $q_i = v_i \,.\, A_i$

q_i: صبيب الجريان في المقطع الفرعي i ب م^3/ث

v_i: السرعة المتوسطة للجريان في المقطع الفرعي i م/ث

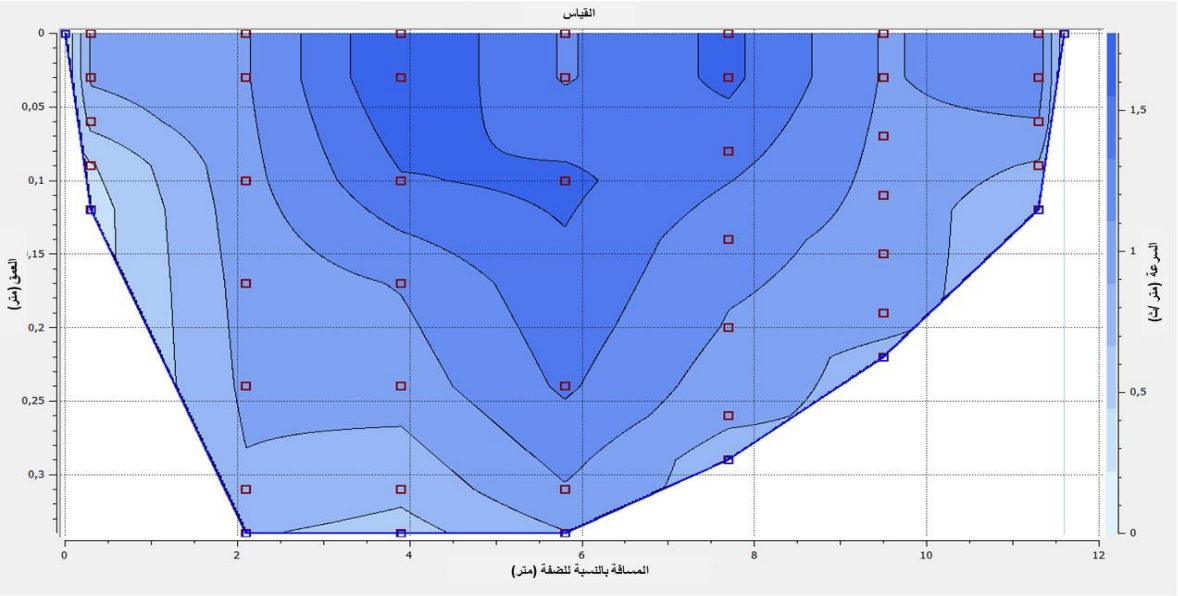
A_i: مساحة المقطع الفرعي ب م^2.

الخطوة 5: يتم الحصول على معدل الصبيب الإجمالي للجريان (الصبيب في المقطع العرضي) عن طريق إضافة التدفقات الجزئية لجميع المقاطع الفرعية. حيث يمكن حساب معدل الصبيب، عبر المقطع العرضي بأكمله، حسب الصيغة (10.2):

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \cdots + q_n \qquad 10.2$$

اعتمدنا في حساب الصبيب على برنامج« *Depjau*» ، انطلاقا من البيانات المحصل عليها أثناء عمليات القياس، بالإضافة إلى إدراج معادلة المعايرة لبكرة القياس.

شكل 2: تفريغ بيانات القياس في برنامج Depjau©



يمثل الشكل 2: المقطع المبلل (section mouillée) للمجرى المائي الذي يبلغ عرضه عند السطح 12 مترا وأقصى عمق 0,35 متر. اعتمدنا في هذا القياس على 7 خطوط عمودية، يتضمن كل عمود بين 3 و5 قياسات لسرعة الجريان. كما يظهر أن سرعة الجريان ضعيفة عند ضفتي المجرى وفي الأعماق بسبب عامل الاحتكاك، بينما تكون السرعة أكبر في الوسط بالقرب من السطح.

3.4. معدات قياس الصبيب

تساعد تقنيات قياس الصبيب النهري بالطرق الميكانيكية على معرفة حجم الماء الذي يمر عبر المقطع بدلالة الزمن. وقد اعتمدنا خلال هذه الحملات على عدة للقياس من أهمها:

العداد أو الدوارة: هي الأجهزة الأكثر استخدامًا لقياس سرعة الجريان. إنها أدوات دقيقة تقيس سرعة الماء عند نقطة ما. والأنواع الثلاثة الأكثر استخدامًا من العدادات الحديثة هي عدادات التيار الميكانيكي وعدادات التيار الصوتي وعدادات التيار الكهرومغناطيسي.

وقد اعتمدنا في قياساتنا على عداد التيار الهيدرومتري الذي يشتغل وفق مبدأ التناسب بين سرعة الماء والسرعة الزاوية لمروحة المروحة (سرعة دوران المروحة). ويتم الحصول على السرعة عند نقطة على الخط العمودي عن طريق حساب عدد دورات المروحة المثبتة على عمود القياس على مدى فترة زمنية محددة مسبقًا (بين 30 و90 ثانية). ثم يتم حساب سرعة الماء عند هذه النقطة باستخدام معادلة معايرة المروحة أو منحنى معايرة المروحة.

عمود القياس: *Perche de jaugeage* هو قضيب فولاذي، متدرج خطيًا بالسنتيمتر أو الديسيمتر. في الطرف السفلي للقضيب، عادة ما يكون هناك حاجز لمنع القطب من الانزلاق في قاع المجرى المائي.

يتكون العمود من ثلاثة أو أربعة أجزاء يجب ربطها معًا. يتم تثبيت جسم البكرة على العمود. يستخدم العمود أيضا لقياس عمق المجرى المائي.

صورة 12: عمود القياس وعداد التيار الميكانيكي (بكرة القياس)

عدادات دوران المروحة: يمكن أن يكون عداد دوران المروحة عبارة عن جهاز عد كهروميكانيكي أو إلكتروني. أبسط عداد يصدر صوت تنبيه في كل منعطف. يحسب المُشغل عدد أصوات التنبيه أثناء الاستماع من خلال سماعة الرأس (سماعة الأذن). يتم قياس الوقت بالتزامن مع ساعة توقيت. إلا أن استخدام هذا النوع من العدادات يشكل مصدرا متكررا للخطأ. وتتميز أنظمة بعض العدادات بمقياس رقمي. وتسجل بعض عدادات السرعة الدورات فقط وتظهر النتائج على الشاشة. لهذا النوع من العدادات، يلزم وجود ساعة توقيت منفصلة. وعند استخدام عداد بسيط، من الضروري مزامنة العد والتوقيت.

وقد اعتمدنا في قياساتنا على عداد يحتوي على ساعة إيقاف مدمجة، وهي من العدادات الأكثر تطوراً بحيث تسجل عدد الدورات لوقت التعرض المحدد مسبقًا. تتيح لك ساعات التوقف المدمجة هذه ضبط الوقت المناسب مسبقًا، على سبيل المثال 30 ثانية، وهو النوع الذي تم اعتماده في القياسات المنجزة بمجال الدراسة. تحتوي بعض الأجهزة أيضًا على وظيفة أخرى تتيح لك الضبط المسبق لعدد النبضات وتسجيل الوقت. وتقوم أنظمة العدادات الأكثر تقدمًا بتحويل الدورات مباشرة إلى السرعة التي يتم عرضها على الشاشة. ويخزن البعض قراءات السرعة الدنيا / القصوى (أصغر وأكبر قيمة) في الذاكرة. كما نجد بعض العدادات عبارة عن مسجلات بيانات حقيقية تخزنها في الذاكرة لتنزيلها على جهاز الحاسوب.

الليمنيمتر *Limnimètre*: وهو سلم للقياس المتواصل لمنسوب المياه الذي يتم تسجيله بصفة متواصلة لتغيرات منسوب مستوى الماء في مجرى معين.

صورة 13: عمليات قياس الصبيب خلال حملات القياس بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

في بعض الحالات التي يكون فيها الصبيب مرتفعا، ومن أجل ظروف السلامة اعتمدنا القياس بواسطة مواد طافية في الماء ثم قياس سرعتها على مسافة 100 متر مثلا، وتفاديا للاختلاف في سرعة الماء ما بين السطح والعمق والوسط وفي الجوانب استعملنا المواد التي تطفو بشكل عمودي لأن سرعتها قريبة إلى المتوسط.

أما في الحالات التي كان فيها صبيب المجرى المائي منخفضا جدا (بعض اللترات) اعتمدنا طريقة القياسات الحجمية، حيث قمنا بملء دلو ذو حجم معلوم V وحساب المدة اللازمة للملء. وبالتالي فإن الصبيب يتم الحصول عليه بناءً على العلاقة .Q= V/t يتم القياس بهذه الطريقة على مستوى العتبات والشلالات الصغيرة.

خلاصة

بعد عملية تشخيص واختيار محطات قياس وتتبع الصبيب، تم اعتماد الطريقة الأكثر شيوعًا وهي القياس عن طريق استكشاف مجال السرعة. إن البيانات المستخلصة على مدى أربع سنوات من القياس الميداني (2017-2020)، سيتم معالجتها وتحليلها من خلال مجموعة من التطبيقات الإحصائية والمجالية التي تروم تمثيل الصبيب مبيانيا أو كارطوغرافيا أو خطيا (المقطع الهيدرولوجي). يتم تقييم النتائج بتحسين التصنيف من خلال إبراز التباين المكاني والزمني لجريان المياه الجوفية كدالة على الموقع الجغرافي لطبقات المياه الجوفية (Lebaut, 2000).

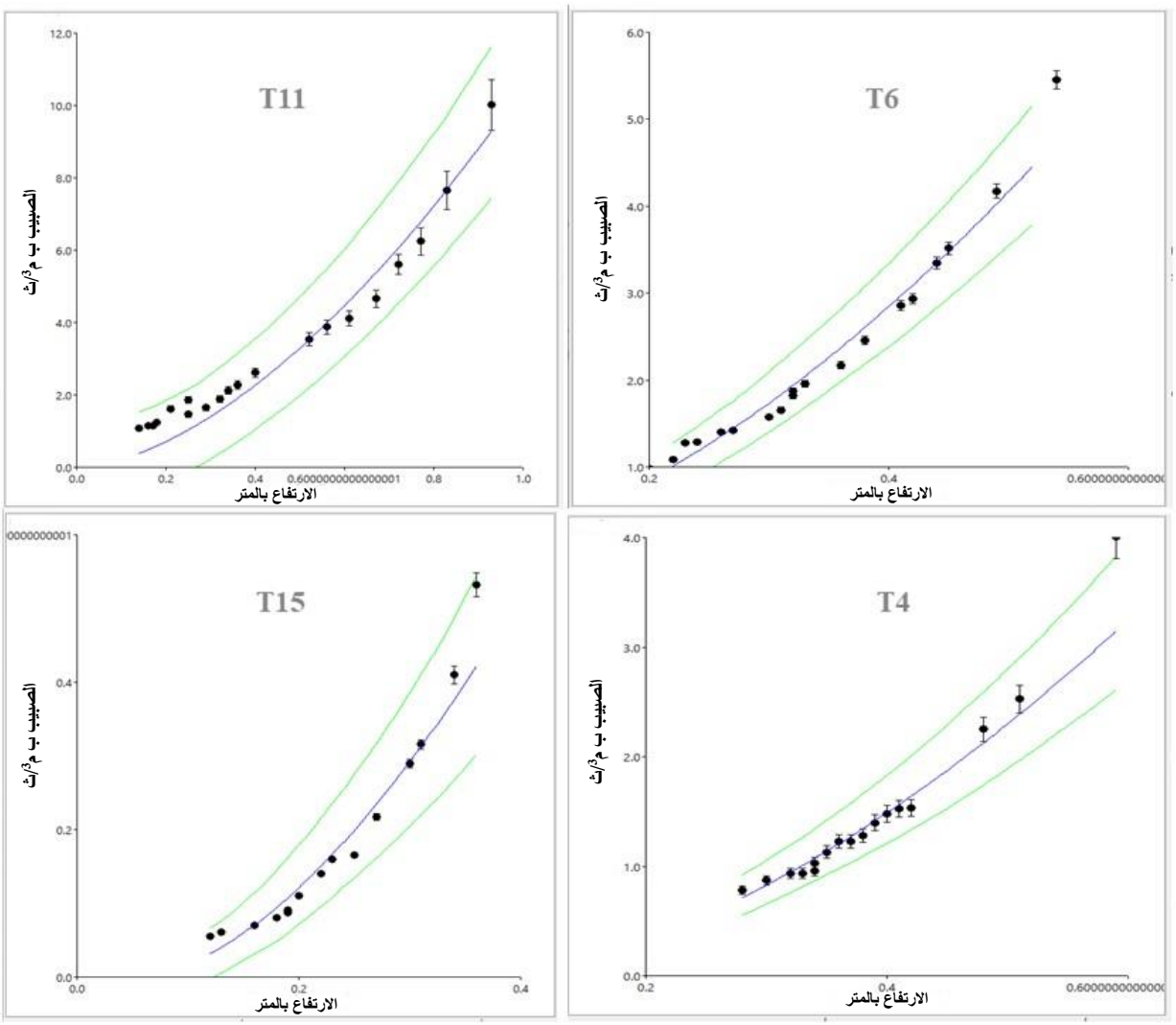
المحور 22: نتائج تتبع وقياس الصبيب والدراسة المجالية للشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (2017-2020)

تمثل قياسات الصبيب لخمسة عشر حوضا فرعيا وحدويا، التي تم الحصول عليها، إمكانات للموارد المائية من خلال تحليل معطيات القياس النقطية، ويتعلق الأمر بتشكيل منحنى المعايرة ومعامل النضوب المائي، والمقطع الهيدرولوجي والعائد الهيدرولوجي لكل حوض فرعي. ويتجلى الهدف الأساسي من الدراسة الميدانية في معرفة خصائص صبيب الشح على المستوى المجالي ومدى مساهمة الأحواض الوحدوية في تغذية المجرى المائي الرئيسي خلال هذه الفترات.

I. العلاقة ارتفاع-صبيب لنقط القياس

بالنسبة لمعظم محطات القياس، يتم تحديد علاقة ارتفاع-صبيب عن طريق رسم الصبيب المقيس على محور الأراتيب وارتفاع مستوى الماء على محور الأفاصيل. شكل منحنى المعايرة هو دالة للخصائص الهندسية لعناصر المجرى. تظهر العلاقة، الممثلة على الرسم البياني بإحداثيات متعامدة، مقعرة لأسفل بشكل عام؛ وإذا تم تمثيله على رسم بياني بإحداثيات لوغاريتمية، غالبًا ما يكون خطيًا تقريبًا في ارتفاعات الماء القوية والمتوسطة (OMM, 1994).

مبيان 144: تطبيق طريقة BaRatin لإنجاز منحنى المعايرة



لتشكيل علاقة صبيب-ارتفاع لنقطة من المجرى المائي أو محطة جديدة، من الضروري إجراء الكثير من القياسات في جميع أبعاد المقياس. بعد ذلك، ينبغي إجراء قياسات دورية لرصد الاختلافات في علاقة صبيب-ارتفاع، والتي تشكل عائقا كبيرا في تحليل نسبة الشك أو عدم اليقين في تشكيل منحنى المعايرة. ولتجاوز هذا العائق سنعمل على تطبيق الاستدلال البايزي (Bayésienne) باعتماد طريقة BaRatin التي تولد مجموعة من منحنيات المعايرة الممكنة التي يمكننا من خلالها استخراج منحنى المعايرة الأكثر احتمالًا وما يرتبط به من عدم اليقين، عند مستوى الثقة المطلوب (95%) (Branger et *al*, 2012)

تم عرض النتائج العددية لتحليل BaRatin في المبيان 144. بشكل عام، تختلف المتغيرات المحسوبة بواسطة BaRatin قليلاً عن المقدمة كمدخلات. ويُظهر الرسم البياني للنتائج مجال عدم يقين كبير نسبيًا عند القيم العليا بسبب تشتت القياسات ويضيق عند قيم الصبيب الدنيا، باستثناء القياسات على مستوى النقطة T11 (منطقة ايت إبراهيم) التي تعرف تشتت في القيم الدنيا للصبيب. تجدر الإشارة إلى أن حدود مجال عدم اليقين الممثلة تتعلق فقط بمنحنى المعايرة كتقدير لعلاقة الارتفاع-صبيب، وليس بالهيدروغراف الناتج عنه. فباستثناء قياسات الشح المائي، تقترب، أو تتقاطع في بعض الأحيان، هوامش المجالات بالقيم العليا (T4, T6, T15) على الرغم من أنه يتسع في اتجاه القياسات العليا. على العموم، تمكننا طريقة BaRatin من تعديل العلاقة ارتفاع-صبيب، مع إمكانية استقراء هذه العلاقة من خلال استخراج قيم الصبيب الناتج عن قياس ارتفاع مستوى الماء عند الفترات القصوى (الامتطاح والشح المائي).

II. دراسة العلاقة بين معطيات نقط القياس

إن دراسة العلاقة لمعطيات الصبيب المحصل عليها انطلاقا من حملات القياس تعطينا فكرة على تجانس الصبيب في مختلف نقط القياس للأحواض الوحدوية. لذا سيتم التركيز في هذه العملية على حملات القياس المنجزة خلال فترات نزول الصبيب (الشح المائي) حيث أن الطبقات الجوفية هي المزود الأساسي للمجرى المائي خلال هذه الفترات.

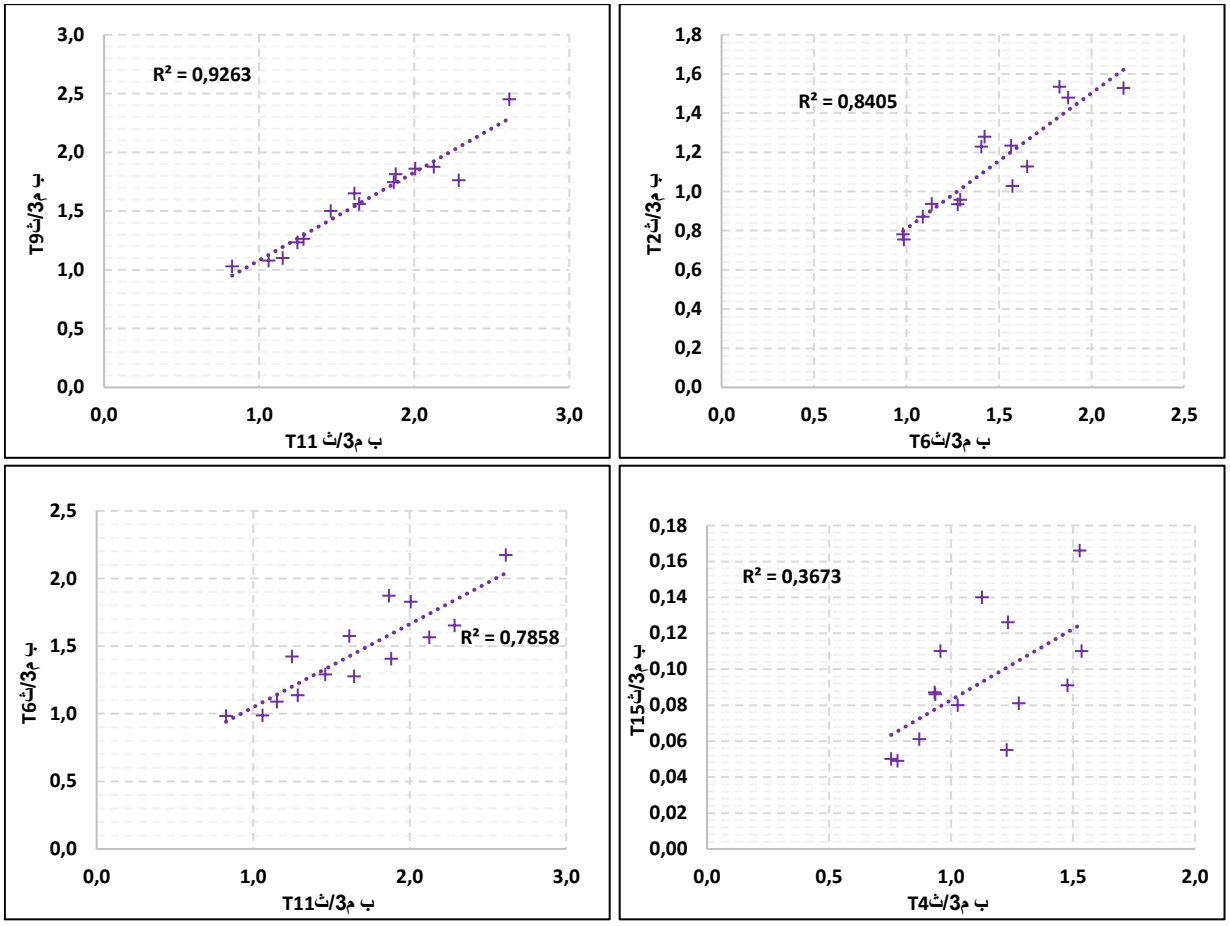
1. الترابط الخطي بين نقط القياس

مع عدم معرفة التمثيل الزمني لهذه القياسات اللحظية، فإننا ببساطة سنربط قياسين في نفس التاريخ. وانطلاقا من معطيات حملات القياس المنجزة تم دراسة العلاقة لكل التوليفات من 2 إلى 2 التي يمكن إجراؤها (Oberlin et *al*, 1973). تجدر الإشارة إلى أنه سيتم اعتماد قيم الصبيب المطلق ($م^3/ث$) في علاقة الترابط.

بشكل عام، تبين النتائج (مبيان 145) أن جميع القياسات المنجزة على المجرى المائي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) أظهرت علاقة ترابط خطي جيدة، فاقت 70%. وهذا يبين قوة تجانس الصبيب خلال فترات الشح المائي بين عالية الحوض وسافلته. تضعف هذه العلاقة أو تنعدم بالنسبة للأحواض الفرعية التي تمثل روافد بالنسبة لواد تساوت، وهذا ما أظهرته نتائج الترابط الخطي بين قياسات الحوض الفرعي ايت بوعلي (T15) وباقي نقط القياس على طول المجرى الرئيسي.

كاستنتاج فإن ظروف التزويد لمختلف الخزانات الجوفية (خلال فترات الشح المائي) متجانسة بمرور الوقت على نطاق سنوي. وبالتالي يمكن القول أن معامل تعبئة الخزانات الجوفية، والذي يعكس معامل النضوب المائي، يتغير بنفس الوتيرة من سنة لأخرى.

مبيان 145: علاقة الترابط الخطي بين القياسات اللحظية

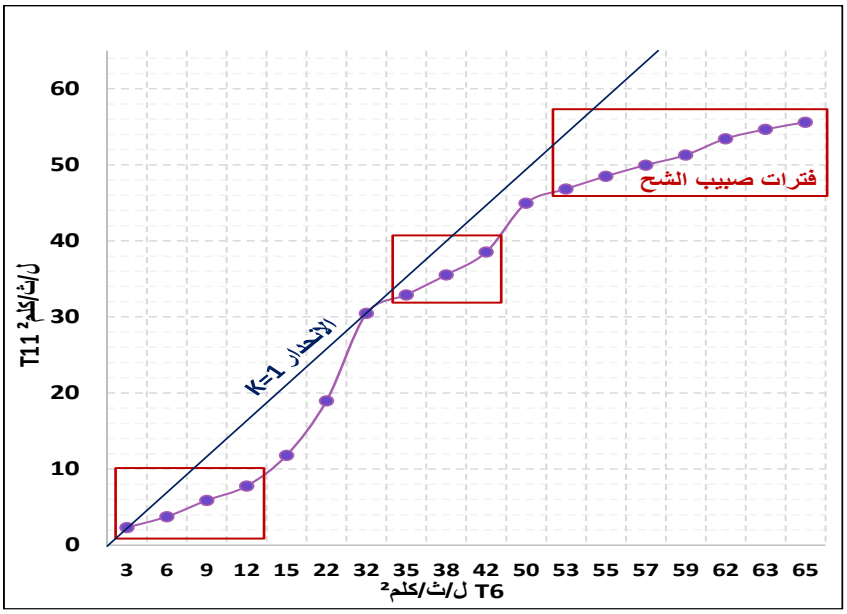


2. العلاقة بين نقط القياس باعتماد طريقة التراكم المزدوج

نظرًا للتجانس القوي لمجموع الارتباطات الخطية بين نقط القياس على طول المجرى الرئيسي، كان من السهل تجاوز المرحلة النوعية واستخلاص استنتاجات بشأن نسب وفرة المياه خلال فترات الشح المائي بين الأحواض الوحدوية المترابطة (Oberlin et *al*, 1973) . تم رسم المنحنيات التراكمية المزدوجة بين سلسلتين للقياس خلال فترات نزول الصبيب باحترام التسلسل الزمني للحملات المنجزة. غير أن هذه العلاقة سيتم إنجازها باعتماد قيم الصبيب النوعي (الصبيب في علاقته بالمساحة)، بهدف إبراز إنتاجية الأحواض الوحدوية خصوصا خلال فترات الشح المائي.

يظهر المبيان 146 عدد من الاستنتاجات: عدم تجانس الصبيب على طول السنة، حيث يظهر تغير في معامل الانحناء بين فترات الوفرة وفترات الشح المائي بين عالية الحوض وسافلته. خلال فترات الشح المائي بلغت قيمة الانحدار $k<1$ مما يدل أن الحوض الوحدوي T6 (منطقة ايت مكون) بعالية الحوض أكثر إنتاجية، ويتميز بصبيب جوفي مهم يدعم الجريان السطحي للحوض. والعكس صحيح خلال الفترة الشتوية، حيث أن سافلة الحوض T11 (منطقة ايت إبراهيم) تصبح أكثر إنتاجية، ويدل على ذلك تغير معامل الانحدار الذي بلغ قيم $k>1$، حيث أن الأحواض الفرعية (الروافد) تساهم بشكل كبير في الجريان السطحي من العالية إلى السافلة، وبالتالي فهي تساهم بشكل كبير في الاستجابة السريعة للتساقطات المطرية الشتوية، والذي يبدو جليا في الجزء السفلي للحوض.

مبيان 146: منحنى التراكم المزدوج بين نقطتي القياس T6 (عالية الحوض) و T11 (سافلة الحوض)



III. معامل النضوب المائي انطلاقا من القياسات اللحظية

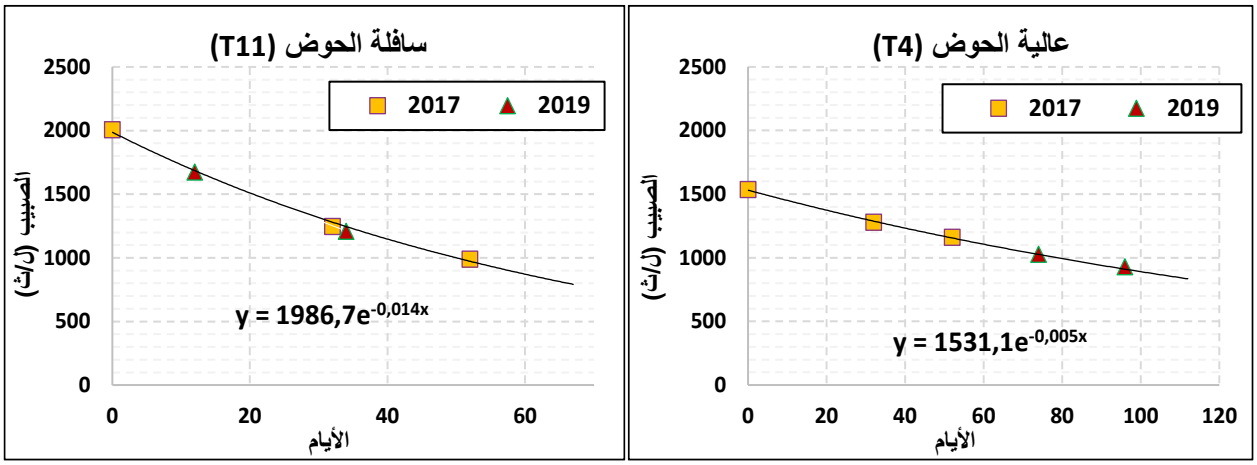
يتم استنتاج معامل النضوب المائي من خلال دراسة العلاقة Q = Q (t) في نظام لا يتأثر بالتساقطات المطرية. استنادًا إلى المعادلات النظرية التي تحكم حركة المياه الجوفية، يمكن تمثيل النضوب المائي في صبيب طبقة المياه الجوفية كدالة لخصائصها، حيث يحتوي معامل النضوب المائي على معلومات حول خصائص التخزين وطبقة المياه الجوفية " (Tallakssen, 1995). قام العديد من الباحثين بصياغة معادلات النضوب المائي؛ وقد وقع اختيارنا على الصيغة الأكثر استعمالا، ويتعلق الأمر بصيغة (Maillet, 1905). وانطلاقا من الصبيب الأولي Q_0 فهي تعبر عن نزول الصبيب بدالة الزمن (t) حسب العلاقة التالية:

$$Q_t = Q_0 . e^{-\propto t} \qquad 10.3$$

وقد استند تحديد قيم معامل النضوب المائي إلى ثلاث حملات للقياس في شهري يوليوز وغشت 2017 وحملتين للقياس في شهري يونيو ويوليوز 2019، حيث تفصل بين كل حملة ما بين 20 إلى 32 يوما. يوافق الصبيب الأولي Q_0 أعلى قيمة للصبيب المقيس خلال حملة القياس لشهر يوليوز 2017 التي تم اعتبارها t_0، متبوعة بحملتين للقياس خلال شهر غشت لنفس السنة (t_1, t_2). تفصل بين المدتين t_0 و t_1 32 يوما، وبين المدتين t_0 و t_2 52 يوما. خلال هذه الفترات تم التأكد من غياب أي تأثير للتساقطات المطرية على الصبيب، حيث يلاحظ تناقص تدريجي لقيم الصبيب في علاقتها بالمدة الزمنية. في مرحلة ثانية، يتم تثبيت قيمة الصبيب لحملة القياس الأولى لسنة 2018 على المنحنى التناقصي والبحث عن المدة الفاصلة بين t_0 و t_3، وهي 12 يوما بالنسبة للمحطة T11 و 74 يوما بالنسبة للمحطة T4. وأخيرا، يتم إضافة المدة الفاصلة بين حملتي القياس لسنة 2019 (22 يوما) لتمثيل قيمة الصبيب لحملة القياس الأخيرة على المنحنى (t_3+ 22).

على مستوى النتائج (مبيان 147)، تشير قيمة معامل النضوب المائي (α=0,014) إلى إفراغ سريع لطبقات المياه الجوفية في سافلة الحوض، على عكس عالية الحوض الذي تميز بإفراغ بطيء (α=0,006). ويرجع هذا إلى الاختلاف في التكوينات الصخارية، حيث أن عالية الحوض تتشكل أساسا من التكوينات ذات نفاذية مهمة تحتجز كميات مهمة من المياه، التي تساهم في تغذية المجرى المائي من خلال التصريف البطيء.

مبيان 147: مثال لمنحنى النضوب المائي بعالية الحوض (T4) وسافلته (T11)



IV. المقطع الهيدرولوجي

تمكننا حملات القياس، خلال فترات نزول الصبيب، من إنشاء المقطع الهيدرولوجي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). ويقوم المبدأ الأساسي للمقطع الهيدرولوجية على تتبع، بالنسبة لمجرى مائي معين، تطور الصبيب على طول خطه (أو مساحة حوضه الهيدروغرافي، المرتبط به ارتباطًا وثيقًا)، لحالات هيدرولوجية محددة (Arts et Sary, 2000).

وقد اثبت عدد من الباحثين أن هناك علاقة بين الصبيب Q والمساحة A للحوض النهري، وفقا قانون عام: $Q = h.A^g$ ، حيث أن h تمثل متغير حالة المخزون للمياه الجوفية، و g تركيز هذه المياه في المجرى المائي. وحسب الإحداثيات اللوغاريتمية يتم ترجمة الخاصية إلى المعادلة (10.4) (Arts et Sary, 2000):

$$\mathbf{Log(Q) = g.log\ (A) + log\ (h)} \qquad 10.4$$

بالنسبة للحالات الهيدرولوجية المختلفة (باختلاف حالة المخزون h)، نحصل على سلسلة من الخطوط المتوازية (منحدر ثابت لتركيز المياه الجوفية g). خلال فترات الشح المائي، تمثل h حالة مخزون المياه الجوفية ونسبة تركيز هذه المياه في النهر، باختلاف كل منطقة متجانسة (Decloux, Sary, 1991).

يمثل انحدار مقطع ما زيادة أو نقصان الصبيب النوعي لمنطقة الحوض النهري المتجانسة بالنسبة إلى هذا الجزء:

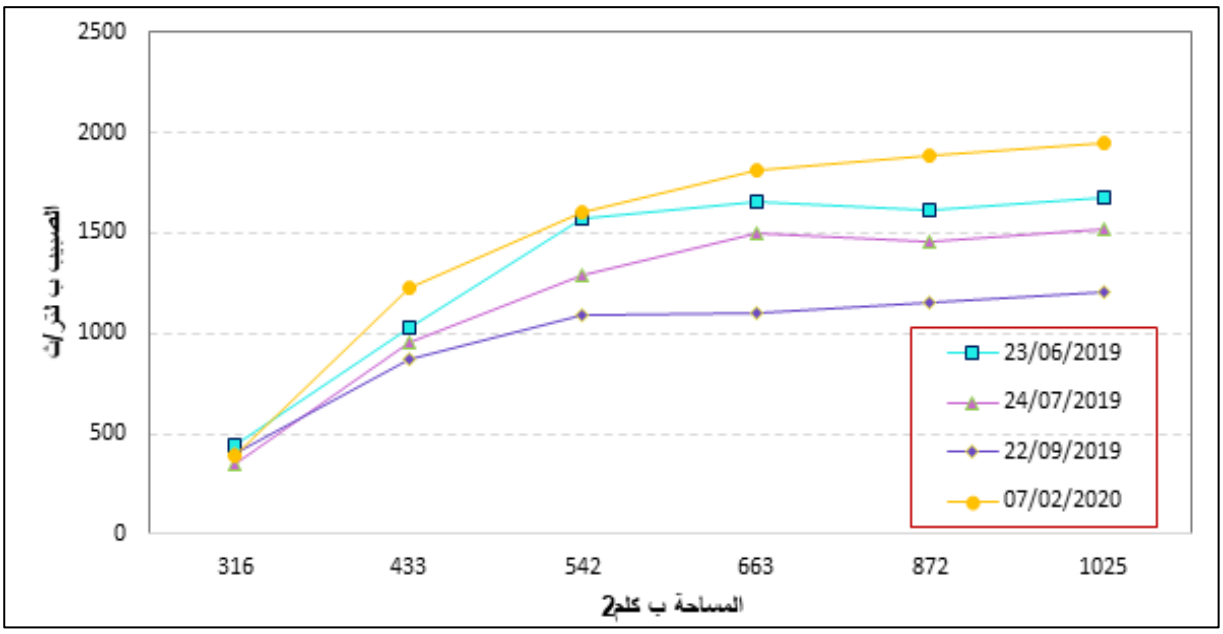
- إذا كان الانحدار يساوي 1، يكون معدل الصبيب النوعي مطابقًا للمنطقة المتجانسة بأكملها (زيادة الصبيب متناسب مع المساحة)؛
- إذا كان الانحدار أكبر من 1، يزداد الصبيب النوعي بشكل اطرادي (يزداد الصبيب بشكل أسرع من المساحة)؛
- إذا كان أقل من 1، فإن معدل الصبيب النوعي ينخفض بنفس الطريقة (تزداد المساحة بسرعة أكبر من الصبيب).

تم تمثيل المقطع الهيدرولوجي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) من خلال حملات القياس في ست نقط على المجرى الرئيسي للحوض (مبيان 148)، التي تمت أثناء فترة نزول الصبيب (الشح المائي) والتي تأكدنا خلالها من غياب تأثير التساقطات المطرية على الصبيب. وقد أوضحت نتائج المبيان 148 عن ملاحظتين أساسيتين:

- يتميز المنحنى بعالية الحوض بانحدار قوي (p>4)، الشيء الذي يبين أن الصبيب النوعي يزداد بشكل اطرادي أسرع من المساحة، وهذا راجع لكون جزء مهم من عالية الحوض يتميز بتكوينات كلسية شديدة الانكسار تعود لزمن الليلاس والتي تتميز بنفاذية مهمة؛

- يتغير الانحدار بوسط وسافلة الحوض (انحدار ضعيف: $p<0,2$)، بحيث أن المساحة تزداد بسرعة أكبر من الصبيب، ويرجع ذلك إلى كون معظم سافلة الحوض تتميز بالتكوينات الطينية والشيست التي تعود لستيفانو-ترياس للزمن الأول.

مبيان 148: المقطع الهيدرولوجي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) خلال فترات نزول الصبيب



خلال فترات الشح المائي، التي لا تتأثر بشكل مباشر بالتساقطات المطرية، يبقى متغير الانحدار لتركيز المياه الجوفية للمجرى المائي g ثابت في كل مقطع، لأنه يمثل فعلا شكل الجريان السائد في الحوض النهري. من جهة أخرى، تختلف حالة مخزون المياه الجوفية h من حملة قياس إلى أخرى، لأنها تعتمد على حالة الخزانات الهيدروجيولوجية التي تساهم في إمداد المجرى المائي بالمخزون المائي (François et Sary, 1994). لذلك، يجب تحديد قيم حالة المخزون h بالنسبة لصبيب مرجعي معروف. حيث لا يمكن تحديد الصبيب المرجعي إلا من خلال البيانات التي توفرها محطة هيدرومترية موجودة في أحد المقاطع x من المجرى المائي المدروس. مع معرفة الصبيب (Q)، والذي يوافق مساحة الحوض الوحدوي (A) عند نقطة القياس، وقيمة الانحدار لتركيز المياه الجوفية g للمقطع (منحدر المقطع الخطي للمقطع الهيدرولوجي)، يمكن من خلال كل ما سبق أن نستنتج حالة مخزون المياه الجوفية حسب الصيغة (10.5):

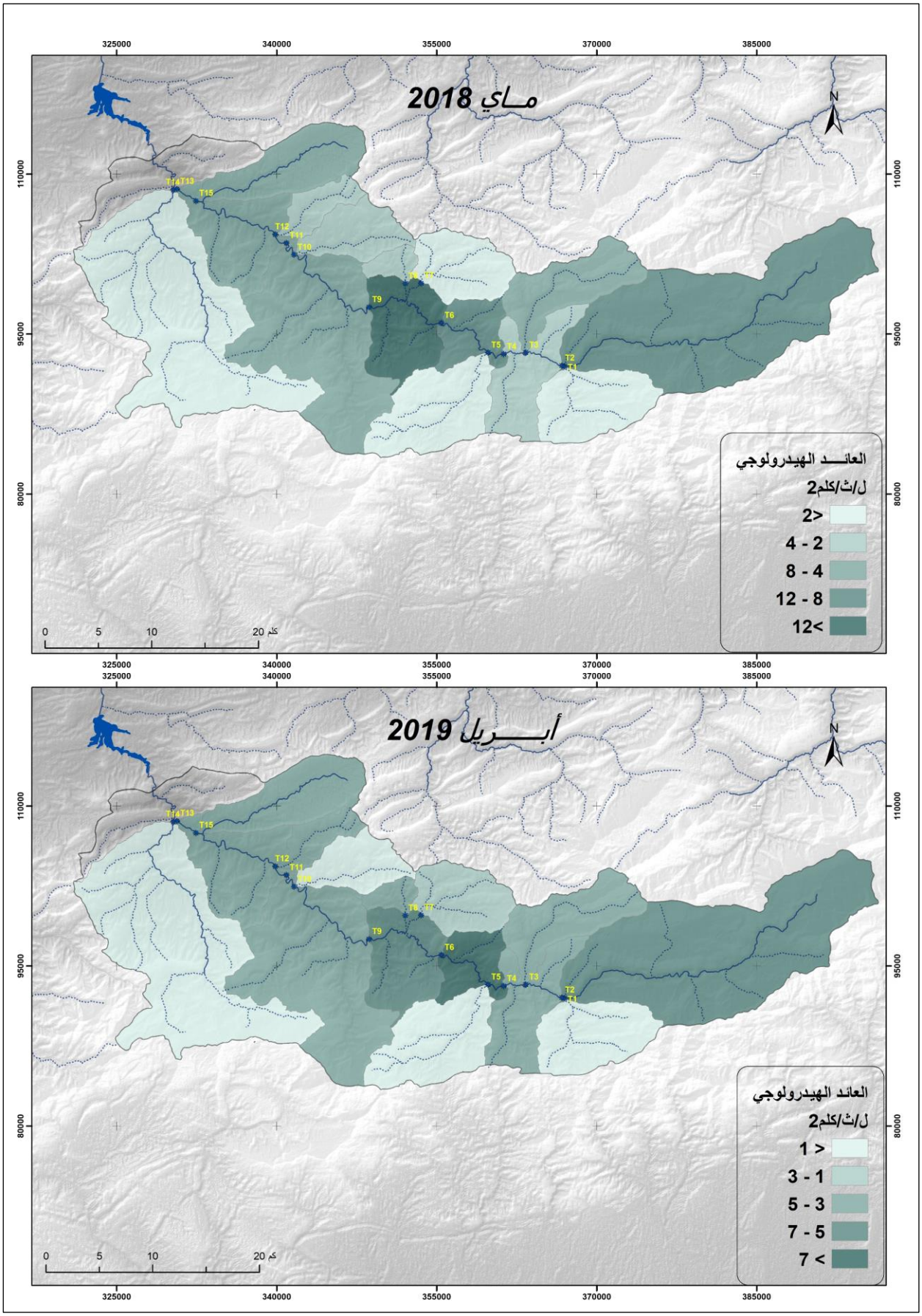
$$h = Q / A^g \qquad 10.5$$

يتيح المقطع الهيدرولوجي معرفة الصبيب عبر مجرى مائي واستنتاج المساهمات الخاصة بكل قسم منه. كما يمكن استنتاجه من خلال دراسة الظروف الهيدروجيولوجية المنعكسة على مختلف أوساط الحوض التي يمر منها المجرى المائي.

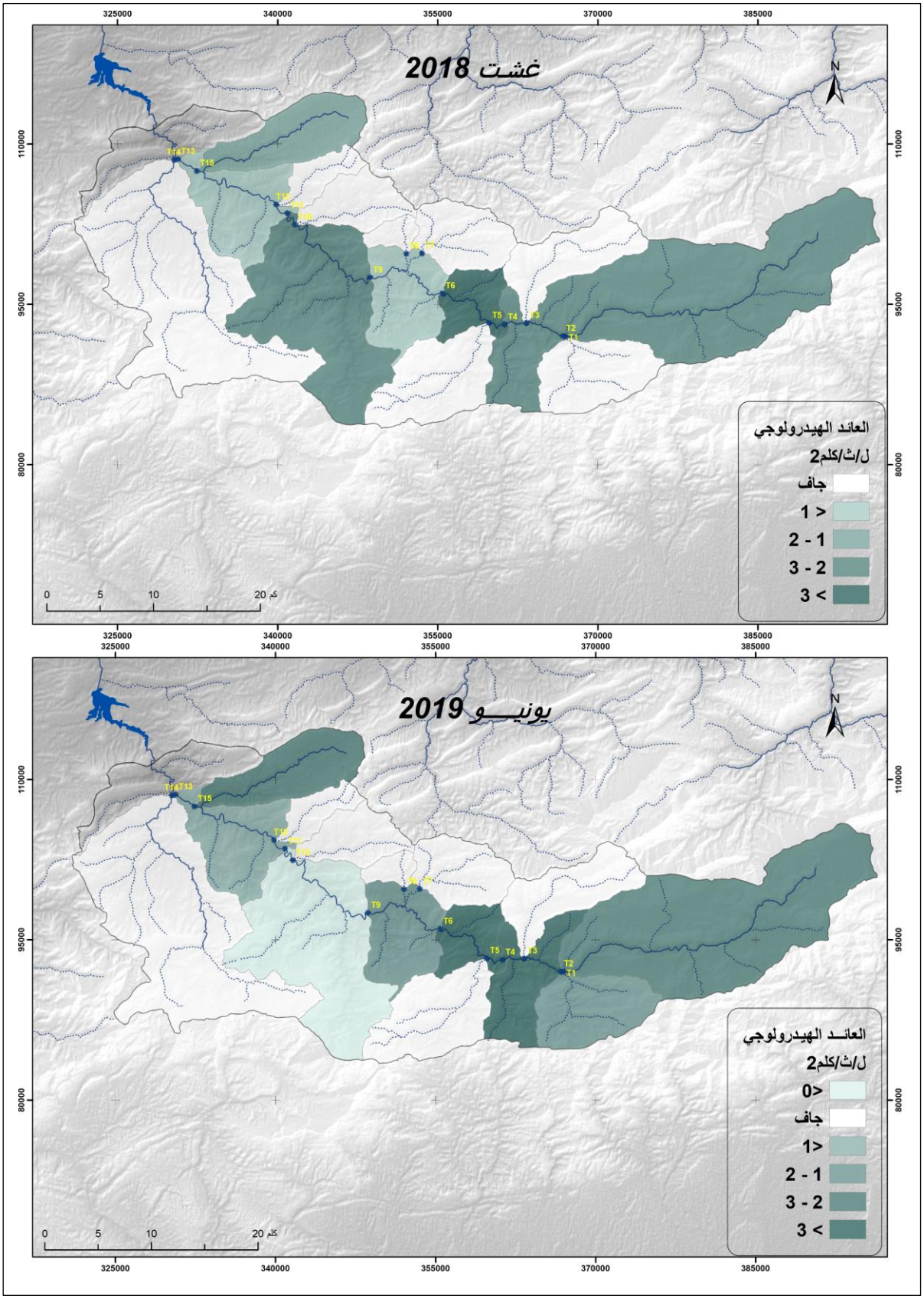
V. كرطوغرافيا العائد الهيدرولوجي

يمثل العائد الهيدرولوجي (لتر/ث/كلم^2) الإنتاج المائي للحوض، حيث يتم استخلاص الصبيب النوعي لجزء من المجرى المائي الموافق لمساحة الحوض، ثم استنتاج العائد الهيدرولوجي للحوض الوسيط (Zumstein, 1978). كما يمكن مضاعفة الأحواض الوسيطة من خلال مراعاة تنظيم صبيب الجريان (المدخلات الناتجة عن الروافد والينابيع وتصريف المياه الجوفية ....).

خريطة 20: العائد الهيدرولوجي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) خلال فترة صعود الصبيب (لتر/ث/كلم2)



خـريـطة 21: العائد الهيدرولوجي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) خلال فترة نزول الصبيب (لتر/ث/كلم2)



تظهر الخرائط الطابع الإقليمي للعائد الهيدرولوجي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) خلال فترتي نزول وصعود الصبيب.

- **فترة صعود الصبيب**: تقع المناطق الأكثر عائدا بعالية الحوض (الحوض الفرعي إيفولو T2)، حيث فاق فيه الصبيب النوعي 7 لتر/ث/كلم^2، كما أن سافلة الحوض تميزت بنفس الصبيب النوعي، وهذا راجع لمساهمة الأحواض الفرعية في تغذية المجرى الرئيسي لواد تساوت. فيما يخص الأحواض الفرعية فقد تميزت بصبيب نوعي ضعيف، باستثناء الحوض الفرعي ايت بوعلي (T15) الذي فاق 5 لتر/ث/كلم^2.
- **فترة نزول الصبيب**: تراجع العائد الهيدرولوجي بسافلة الحوض بشكل واضح حيث لم يتجاوز 2 لتر/ث/كلم^2، ويفسر ذلك بالتكوينات الصخارية ذات نفاذية ضعيفة (الشيست والطين المحمر والبازالت)، بينما بقيت عالية الحوض أكثر إنتاجية وهذا ما يوضحه العائد هيدرولوجي الذي تجاوز 3 لتر/ث/كلم^2، وذلك راجع لإسهامات الطبقات الجوفية، باعتبار المجال يتشكل غالبيته من التكوينات الكلسية المنكسرة (التكوينات الكلسية الشديدة الانكسار) التي تشكل خزانا هيدروجيولوجيا مهما، يتمظهر ذلك من خلال عدد مهم من العيون والمنابع أهمها منابع واد تساوت التي تزود المجرى الرئيسي لتساوت بصبيب مهم. أما بالنسبة للأحواض الفرعية على ضفتي واد تساوت فغالبيتها يجف في فترات نزول الصبيب باستثناء الحوض الفرعي ايت بوعلي ذو التكوينات الكلسية، التي تساهم في جريان دائم على طول السنة. أما الحوض الفرعي أوروس الذي يتميز بجريان دائم فيعرف عائدا هيدرولوجيا ضعيفا جدا وهذا راجع بالأساس إلى الضغط البشري عن طريق جلب كميات مهمة من المياه بعاليته (منطقة واحيلي). عرف الحوض الفرعي بين T9 و T11 عائدا هيدرولوجيا سلبيا في بعض الفترات (يوليوز 2019)، ويعود السبب الأساسي إلى كميات المياه المجلوبة من المجرى الرئيسي على مستوى منطقة ايت إبراهيم التي تعرف أنشطة بشرية كثيفة.

خلاصة

تظل القياسات النقطية طريقة أساسية لتحليل وفهم الاشتغال الهيدرولوجي للأحواض النهرية. ويُستخدم أسلوب القياس عن طريق استكشاف مجال السرعة بشكل شائع خاصة بالنسبة للمجاري المائية ذات الصبيب المنخفض إلى المعتدل. وقد مكننا إنتاج البيانات بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) من إجراء تقييم دقيق للموارد المائية بالأحواض الوحدوية. كما أبرزت النتائج، التي تم الحصول عليها خلال السنوات الأربع من القياسات، الإمكانات المائية المهمة خلال فترة الشح المائي، وجعلت من الممكن فهم خصائص الجريان في حوض غير متجانس جيولوجيًا. وقد تبين أن عالية الحوض يعرف إنتاجية مهمة للموارد المائية، حيث يظل المخزون المائي للفرشة الباطنية المزود الأساسي للمجرى المائي.

خـاتمة الفصل التاسع

تسمح قياسات الصبيب للمجاري المائية، بإجراء تقييم دقيق للموارد المائية بالحوض المدروس. ومع ذلك، يمكن أن تكون نتائج هذا النهج غير دقيقة، بسبب التأثيرات البشرية المتمثلة في جلب المياه من المجاري المائية نحو المجالات الزراعية المسقية. لذلك كان من الضروري الاعتماد على العديد من حملات القياس التي تمت خلال فترات مختلفة على أمل فهم ظروف الجريان في علاقته بالتأثيرات الطبيعية والبشرية على السواء.

في هذه الحالة، تؤكد النتائج التي تم التوصل إليها في سنوات 2017 و2018 و2019 و2020 ما تم تسليط الضوء عليه في الدراسة السابقة المستندة إلى القياسات على مستوى محطتي أيت تمليل وتمسماط. فقد أوضح معامل النضوب المائي أن الطبقات الجوفية بعالية الحوض تتميز بإفراغ بطيء مقارنة مع سافلته، وهذا راجع بالأساس إلى التشكيلات ذات النفاذية المهمة، التي تحتجز كميات مهمة من المياه تساهم في تغذية المجرى المائي من خلال التصريف البطيء. وقد بيَّن تحليل المقطع الهيدرولوجي بعالية الحوض أن الصبيب النوعي يزداد بشكل اطرادي أسرع من المساحة، على عكس السافلة، الشيء الذي يعكس الظروف الهيدروجيولوجية التي تؤثر بشكل مباشر على مختلف أوساط الحوض التي يمر منها المجرى المائي. كما أكدت نتائج العائد الهيدرولوجي أن عالية الحوض أكثر إنتاجية للموارد المائية خلال مختلف الفترات من السنة (فترات نزول وصعود الصبيب). وأخيرا، تبقى الدراسة الميدانية مرحلة بالغة الأهمية في معرفة معمقة للاشتغال الهيدرولوجية بالحوض في علاقته بالظروف الطبيعية والبشرية، والتي تؤثر بشكل مباشر في شكل الجريان.

الفصل الحادي عشر: نمذجة صبيب الشح والنضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

مقدمـــــــة الفصل الحادي عشر

يوجد عدد كبير من النماذج الهيدرولوجية، التي تساعد الباحث على تبسيط الواقع من خلال نماذج رياضية وفيزيائية مطبقة على المعطيات المتوفرة. لذا سنحاول في هذا الفصل، تعريف النماذج الهيدرولوجية وأهميتها في المجال الهيدرولوجي انطلاقا من إطار نظري والذي سنسلط من خلاله الضوء على بعض منها، وتطبيقها بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). تسمح لنا النماذج الشاملة بنمذجة علاقة التساقطات المطرية- صبيب من خلال معالجة الحوض في كيانه الجغرافي والهيدرولوجي، واعتباره سطحًا متجانسًا.

سنعتمد، في هذه الدراسة، على نموذجين هيدرولوجيين شاملين، واللذان يتطلبان فقط سلسلة بيانات مناخية (التساقطات المطرية، التبخر-النتح المحتمل) وبيانات هيدرومترية (الصبيب) للفترة التاريخية المشتركة (1985-2016). والغاية من هذه النمذجة هو محاكاة الصبيب خلال فترات الشح المائي، ومعرفة مدى إمكانيتها على نمذجة الصبيب في مستوياته الدنيا، ومقارنتها واختيار التي يمكن أن تأخذ بعين الاعتبار مجموعة من المتغيرات التي من شانها أن تؤثر على الجريان السطحي. بغض النظر عن الأنموذج المستخدم، سواء كان شاملا أو مجاليا، فقد اخترنا العمل على أنموذجيين هيدرولوجيين GR وGARDÉNIA لفعاليتهما وسهولة تكيفهما من الأنموذج الشامل إلى الأنموذج المجالي.

إن الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو إعادة بناء الصبيب المرتبط بالقياسات الهيدرومترية التاريخية التي تمت ملاحظتها بحوضي الدراسة: محطة تمسماط عند منفذ الحوض النهري تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، ثم محطة أيت تمليل بعالية الحوض التي تمثل قياس الصبيب للحوض الفرعي أيت تمليل. كما سيتم تقييم فعالية النماذج الهيدرولوجية باعتماد عدد من مؤشرات الأداء من خلال قياس الانحراف الحاصل بين الصبيب المقيس والصبيب المحاكى خلال مختلف الفترات، مع تسليط الضوء على فترات الشح المائي. وتتمثل الغاية من هذه النمذجة في التنبؤ بصبيب الشح والنضوب المائي على المدى القصير والمتوسط باعتماد الطرق الإحصائية لمعاملات النضوب المائي والنمذجة الهيدرولوجية على المستوى اليومي.

I. تعريف وأهمية النمذجة في الدراسات الهيدرولوجية

تم اعتماد النمذجة الهيدرولوجية كأداة لدراسة الاشتغال الهيدرولوجي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). وقبل اختيار النماذج الملائمة لدراستنا، لابد في البداية من تقديم أهم التعاريف للنمذجة وأهميتها في الدراسات الهيدرولوجية، وعلاقتها بتدبير الموارد المائية.

1. تعريف النمذجة

الأنموذج هو تمثيل تقريبي لنظام جريان معقد، بالاعتماد على معادلات رياضية وفيزيائية لمراحل الدورة المائية والذي يمكن اعتباره أقرب إلى الواقع (Birou,1966). وعند بناء الأنموذج فالبحث عن التبسيط هي مسألة أساسية، فتعقيد المراحل المتبعة لمطابقتها مع الواقع يمكن أن يقودنا إلى طريق مسدود (حسابات غير قابلة للحل، صعوبة الحصول على البيانات...). لهذا لا يوجد أنموذج هيدرولوجي كامل، قابل للتطبيق على جميع المقاييس الزمنية والمكانية ولعدد كبير من الأحواض النهرية.

فالنمذجة علم يتم من خلاله إنجاز وتطوير نماذج أقرب إلى الواقع، وكما هو الشأن بالنسبة للبحث العلمي فإن النمذجة تشمل المنطق الافتراضي- الاستنتاجي، وبالتالي يمكن مقارنة مختلف النتائج(Molines, 1997) . ولفهم أكثر لمعنى النمذجة، يجب الاهتمام أكثر بفهم مصطلح "أنموذج"، الذي له معانٍ كثيرة. وفي الاستخدام العلمي للمصطلح سنكتفي بأحد التعاريف: حسب (Duand, 1994) الأنموذج هو تمثيل خطاطي للواقع، يتم إنجازه في انتظار تثبيته"، ومن التعريف يتضح أن الأنموذج هو تبسيط للواقع الذي يساعدنا على فهم نظام الواقع، فهو بناء فكري ينطلق من الواقع ليعود إليه، لكنه ليس الواقع نفسه ولا يتوخى أن يتزامن معه (Molines, 1997).

وقد ظهر مفهوم "النمذجة" في الميدان الهيدرولوجي في سنوات الخمسينات من القرن الماضي، (Mouelhi, 2003)، وفي هذا الإطار يمكن القول أن النمذجة الهيدرولوجية هي تمثيل رياضي لنظام هيدرولوجي لحوض نهري، لسلسلة من قاعدة البيانات (Glossaire International d'Hydrologie, 1992).

وبالتالي، فإن النمذجة الهيدرولوجية هي تمثيل رياضي مبسط لكل أو جزء من الدورة الهيدرولوجية، عبر مجموعة من المفاهيم والقواعد الهيدرولوجية التي يتم التعبير عنها بلغة رياضية، ويتم ربطها بالمعطيات الزمنية والمكانية المطابقة التي تم رصدها في الواقع (Mouelhi, 2003). وتكمن أهمية الأنموذج في قدرته على تقديم حلول مقنعة للتساؤلات التي نطرحها بخصوص موضوع النمذجة، وهذا يقودنا إلى مسألة تحديد الغرض من الأنموذج، والذي يجب أن يمهد ويوجه تصميم وبناء أنموذج.

2. أهمية نمذجة صبيب الشح في الدراسات الهيدرولوجية

نسعى من خلال هذا البحث إلى دراسة الشح المائي ونمذجة الجريان بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، وبالإضافة إلى الدراسة الإحصائية سنحاول الاعتماد على نماذج هيدرولوجية، والهدف من ذلك هو دراسة خصائص صبيب الشح، ومعرفة مدى إمكانية هذه النماذج في محاكاة الصبيب في مستوياته الدنيا، وبالتالي مقارنتها واختيار تلك التي يمكن أن تأخذ بين الاعتبار مجموعة من المتغيرات التي من شانها أن تؤثر على الجريان السطحي (الفول والغاشي، 2017).

وقد شكلت النمذجة مقاربة جديدة في معالجة عدد من القضايا في ميادين عدة، من بينها الهيدرولوجيا. فالنمذجة هي أداة للباحث، وحسب (Masson, 1994) "فالأداة هي وسيط بين مصدر المعلومة وتفسير الظاهرة"، وبالتالي فالنمذجة ليست هدفا في حد ذاتها لكنها مجرد وسيلة يمكن من خلالها تفسير وتحليل الظواهر، بلوغ الأهداف المرجوة. وقد أصبحت النمذجة الهيدرولوجية أداة أساسية في مختلف المجالات: مشاريع التهيئة، تشييد المنشآت الهيدروليكية، التنبؤ والوقاية من الفيضانات، دراسة التغيرات المناخية، التأثيرات البشرية، تأثير الكوارث الطبيعية...

وقد أضحت دراسة الخصائص الهيدرولوجية القصوى، وخاصة المرتبطة بمستويات المياه المنخفضة (الشح المائي) أمرا ضروريا في تخطيط وتصميم السياسات المتعلقة بإدارة المياه والتحكم فيها. على عكس الفيضانات والامتطاحات التي تكون مدتها قصيرة والمرتبطة بشدة تأثيرها، فإن أحداث الشح المائي يرتبط تأثيرها بشكل أساسي

بمدة استمرارها، التي يمكن أن تمتد على مدى عدة أشهر. لذا اتجه العديد من الباحثين لتطوير نماذج لمحاكاة صبيب الشح. ونذكر في هذا السياق أعمال (Abi-Zeid, 1997) الذي اعتمد على النمذجة الإحصائية لأحداث الشح المائي تأخذ بعين الاعتبار الجانب غير الثابت لهذه الأحداث. أما بالنسبة لأعمال (Lang, 2007) فقد طورت الأنموذج الهيدرولوجي GR3j، بحيث تم تعديل لوغاريتماته بإدراج معاملات النضوب المائي كمتغيرات لتثبيت الأنموذج ومحاكاة صبيب الشح.

3. أهداف نمذجة صبيب الشح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

تسمح النماذج الهيدرولوجية الحالية بتمثيل جيد للأحداث ذات الاتجاه المركزي. وأظهرت العديد من الدراسات أن تمثيل الأحداث المتطرفة (فترات الامتطاحات والشح المائي) كانت أكثر صعوبة في تحقيقها (Whitfield et al., 2003). وسيؤدي تضافر العوامل البشرية وتأثير التغيرات المناخية إلى الزيادة في تردد هذه الأحداث، وبالتالي، يشكل صعوبة إضافية في المحاكاة الهيدرولوجية (الفول والغاشي، 2017). وتتجلى أهداف النمذجة الهيدرولوجية في تتبع استراتيجيات خلال مرحلتي المعايرة والتحقق، كما تأخذ بعين الاعتبار أحداث الشح المائي. إذ تعد معايرة الأنموذج الهيدرولوجي عملية بالغة الأهمية في الاستجابة التي ستعطيها أثناء عمليات المحاكاة. حيث يمكن تعديل المتغيرات الفيزيائية والتجريبية من أجل تمثيل النظام الهيدرولوجي للحوض النهري بشكل أفضل. كما سيتم تحديد التباين في مؤشرات الأداء المرتبط بالنماذج الهيدرولوجية خلال أحداث الشح المائي. ولكون النماذج المختلفة لا تحتوي على نفس معادلات محاكاة الصبيب والمعلمات وما إلى ذلك، فإنها تتفاعل جميعًا بشكل مختلف حسب المتغيرات المعتمدة في الأنموذج. كما يتجلى الهدف الأساسي من نمذجة الجريان في قدرة النماذج الهيدرولوجية على التنبؤ بمستويات الصبيب خلال فترات الشح المائي، من خلال وضع سيناريوهات للصبيب في ظل غياب التساقطات المطرية على المدى القصير والمتوسط.

4. أية علاقة ما بين نمذجة صبيب الشح والتدبير المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

تشير العديد من الدراسات أن التغيرات المناخية ستؤدي إلى تفاقم أحداث الشح المائي. ومع تزايد الطلب على الموارد المائية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، وبالنظر إلى الرهانات المرتبطة بتعبئة المياه على مستوى سد مولاي يوسف بسافلة الحوض، فإن تدبير هذا العنصر بشكل معقلن يصبح ضرورة ملحة لتحقيق تنمية مستدامة. ولمواجهة هذا الوضع، فمن اللازم تكييف الممارسات والاستعمالات المختلفة للموارد المائية في ظل تردد أحداث الشح المائي الحاد.

في هذا السياق، نقترح خلال هذا البحث دراسة النمذجة الهيدرولوجية للصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) مع إعطاء وزن أكبر لتقييم النتائج المحصل عليها خلال أحداث الشح المائي. والغاية الأساسية من محاكاة الصبيب هو وضع استراتيجية لنظام التنبؤ بصبيب الشح على المدى القصير والمتوسط، كأداة داعمة لصناع القرار من أجل سن إجراءات استباقية تحول دون بلوغ الأزمة. إن الزيادة المتوقعة، بشكل أكثر حدة، في الأحداث الهيدرولوجية يفرض علينا تطوير أدوات التنبؤ لدعم اتخاذ القرارات المرتبطة بمختلف الاستعمالات وتدبير الموارد المائية بالسد.

II. الإطار المنهجي لنمذجة الصبيب

يتميز مجال الهيدرولوجيا بتنوع واختلاف النماذج الهيدرولوجية المستعملة لمحاكاة الصبيب وتقدير كميات المياه المتوفرة والضائعة بغرض تدبير أمثل للموارد المائية ودراسة المخاطر الهيدرولوجية وغيرها... وسنقتصر خلال هذا الفصل على دراسة ومقارنة أنموذجين هيدرولوجين شاملين، ويتعلق الأمر بأنموذج الهندسة الريفية (Génie Rural GR) و أنموذج Gardénia.

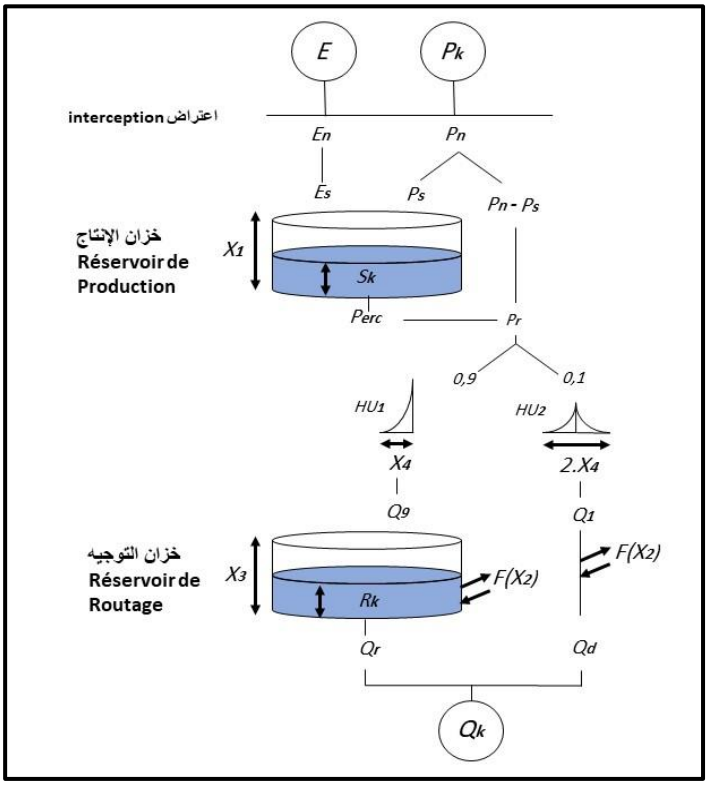
1. نمذجة الجريان باستعمال أنموذج الهندسة الريفية GR4J

محاكاة الصبيب عند منفذ الحوض النهري هي مسألة مهمة لعدد من التطبيقات الهندسية وتدبير الموارد المائية، مثل تحديد حجم المنشآت المائية، التنبؤ بالفيضانات والجفاف... للإجابة عن هذه التساؤلات شرعت Cemagref منذ

1980، في تطوير نماذج هيدرولوجية للهندسة الريفية (Génie Rural-GR) والتي تسمح بإنجاز علاقة بين التساقطات المطرية في الحوض النهري والصبيب عند المنفذ (Michel,1983). وقد طرحت هذه النماذج عدة تساؤلات مهمة عن كيفية تحويل التساقطات المطرية إلى صبيب بمقياس حوض نهري.

تم اقتراح فكرة النمذجة الهيدرولوجية للهندسة الريفية من طرف الباحث Michel.C في سنة 1983 بعد تحليل دقيق للأنموذج المفاهيمي (Cormary et CREC(Centre de Recherche et d'Etude de Chatou) Guilbot, 1973) بتسع متغيرات، والذي تم تطبيقه على الحوض التجريبي ل Orgevel. وقد لوحظ أن هذا الأنموذج يشكل صعوبة على مستوى الإنجاز وتثبيت المتغيرات. وقد تطورت الفكرة ابتداء من أنموذج الأكثر بساطة (بمتغير واحد مرتبط بخزان واحد)، ولا يتم تعقيد التصميم إلا لحل صعوبة إعادة تشكيل الصبيب، وقد نتج عن هذا النهج تصميم أنموذج عام بمتغيرين GR2J (Michel.1983).

شكل 3: بنية الأنموذج التساقطات المطرية-صبيب اليومي GR4J



الأنموذج GR4J (Modèle Du Génie Rural à 4 Paramètres Journalier) هو أنموذج التساقطات المطرية- صبيب شامل بأربعة متغيرات. شرع في تطويره منذ سنة 1990 من طرف Cemagref، بهدف تطوير أنموذج لمحاكاة الصبيب يكون فعالا ومتينا من أجل استخدامه في تقييم وتدبير الموارد المائية والهندسة المائية (تحديد سعة المنشآت المائية، والتنبؤ بالفيضانات والشح المائي، إدارة الخزانات المائية...). وقد عرف هذا الأنموذج العديد من إصدارات المقترحة على التوالي من طرف (Edijatno et Michel, 1989)، (Edijatno, 1991)، (Nascimento, 1995)، (Perrin, 2000)، (Perrin, 2002)، و (Perrin et *al*, 2003)، الذين حسنوا أداء الأنموذج تدريجيا. والنسخة الأساسية، التي سنقدمها هنا، هي تلك التي تم اقتراحها من طرف *(Perrin et al,2003)*.

على الرغم من أن GR4J هو أنموذج تجريبي، إلا أن هيكله يتجه إلى النماذج ذات الخزان المفاهيمي، مع إجراء تتبع حالة الرطوبة في الحوض مما يجعل من الممكن مراعاة الظروف السابقة وضمان عملها المستمر. وتجمع بنيته بين خزان الإنتاج وخزان التوجيه ووحدات هيدروغرافية بالإضافة إلى وظيفة الانفتاح على الغلاف الجوي التي تسمح بمحاكاة الجزء الأكبر من السلوك الهيدرولوجي للحوض. يحتوي أنموذج GR4J على وظائف معينة مشتركة

مع نموذج GR2M (على سبيل المثال، وظيفة الإنتاج المرتبطة بخزان التربة). ومع ذلك، فإن وحدة التوجيه الخاصة به أكثر تعقيدًا من الخطوة الزمنية الشهرية.

جدول 59: خوارزميات اشتغال الأنموذج الهيدرولوجي GR4J

المراحل	المعادلة	الاختصارات
المحايدة	$E_n = 0$ و $P_n = P_K - E$ فإن $P_K > E$ $E_n = E - P_K$ و $P_n = 0$ فإن $P_K < E$	**P_k: التساقطات المطرية؛ E: التبخر** **P_n: التساقطات المطرية الصافية.** **E_n: التبخر-النتح الصافي**
دالة الإنتاج	$P_n \neq 0$ $\quad P_s = \frac{X_1\left(1-(\frac{S_k}{X_1})^2\right).\tanh(\frac{P_n}{X_1})}{1+\frac{S_k}{X_1}.\tanh(\frac{P_n}{X_1})}$ $E_n \neq 0$ $\quad E_s = \frac{S_k\left(2-\frac{S_k}{X_1}\right).\tanh(\frac{E_n}{X_1})}{1+(1-\frac{S_k}{X_1}).\tanh(\frac{E_n}{X_1})}$	**X_1 (mm): السعة القصوى لخزان الإنتاج؛** **S_k : محتوى خزان الإنتاج في بداية اليوم k.**
خزان التوجيه	$R' = \max(0, Rk) + Q9(k) + F$ $Qr = R'.\left\{1 - \left[1 + \left(\frac{R'}{X_3}\right)^4\right]^{\frac{1}{4}}\right\}$ $R_{k+1} = R' - Qr$	**R' : محتوى خزان التوجيه.** **Q_r: مخرجات خزان التوجيه.** **R_{k+1}: مستوى خزان التوجيه**
الصبيب الكلي	$Qd = \max(0; Q1(t) + F$ $Q_k = Qr - Qd$	**Qd: مخرجات الصبيب عند الهيدروغرام HU2** **Qk: الصبيب الإجمالي**

يشمل الأنموذج GR4J أربعة متغيرات:

- X_1: سعة خزان المنتج (الملم)
- X_2: معامل التصريف الجوفي (الملم)
- X_3: سعة خزان التوجيه ليوم واحد (ملم)
- X_4: الوقت الأساسي للوحدة الهيدروغرافية *HU1 (الأيام)*

وقد تم تحديد قيم المتغيرين، على مجموعة من عينات الأحواض النهرية، والتي تم تمثيلها في جدول 60:

جدول 60: قيم متغيرات الأنموذج GR4J المحصل عليها من خلال مجموعة من الأحواض النهرية

المتغير	المعدل	هامش الثقة (90%)
X_1 (ملم)	350	100 - 1200
X_2 (ملم)	0	-5 - 3
X_2 (ملم)	90	20 - 300
X_2 (الأيام)	1,7	1,1 - 2,9

2. نمذجة الجريان باستعمال الأنموذج الهيدرولوجي GARDÉNIA

الأنموذج الهيدرولوجي GARDÉNIA (modèle **G**lobal **A** **R**éservoirs pour la simulation des **DÉ**bits et des **NI**veaux **A**quifères) هو أنموذج هيدروميناخي شامل يتضمن خزانات لمحاكاة السلوك الهيدرولوجي (Thiéry, 2009, 2013, 2015)، لأنه يعتمد على "مداخل" شاملة (الصفيحة المائية المتساقطة، ومعدل التبخر-النتح المحتمل)، وعلى "مخرج أو مخرجين" أي الصبيب عند منفذ الحوض و/أو تغيرات مستوى الطبقات الجوفية. ويمكن تقسيم بنية الأنموذج إلى قسمين مهمين، وهما مدخلات ومخرجات حوض تساوت عالية سد مولاي يوسف. وبالتالي فإن الأنموذج يربط علاقة بين التساقطات المطرية، التبخر-النتح الفعلي ETR، وتغيرات

مخزون التربة. ويكون هامش النظام الهيدرولوجي كبيرًا في بعض الأحيان، ويعتمد حساب القيم الأولى بشكل كبير على الظروف الهيدرومناخية للسنوات السابقة. ولتجنب المشاكل التي يمكن أن تنتج، تم إدخال إمكانية الأخذ بعين الاعتبار بضع سنوات من بدء التشغيل قبل المعطيات الهيدرولوجية الأولى في الأنموذج. مع ذلك، في بعض الأحيان يكون الإعداد في النظام بطيئًا إلى حد ما، حيث يتم وضع الأنموذج تلقائيًا في التوازن الهيدرولوجي في بداية الحساب، أي أن حالات خزاناته ثابتة عند القيم المقابلة للتساقطات المطرية الفعالة المرجعية الواردة.

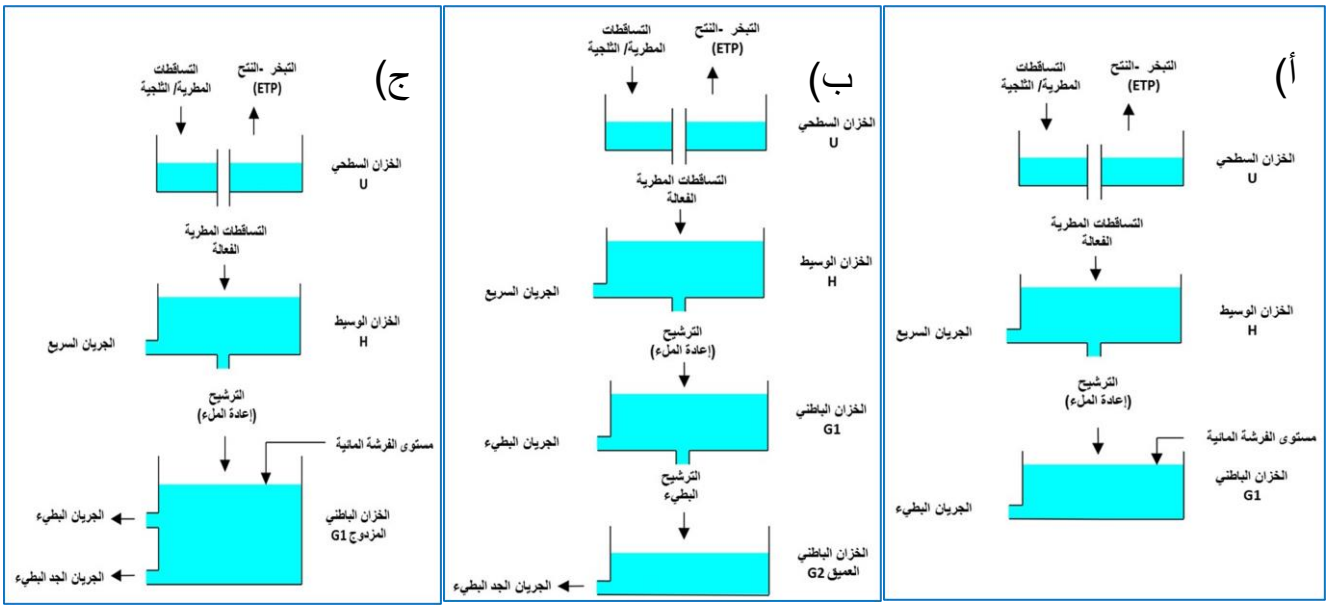
- **الخزان السطحي**

تمثل خزانات السطحية عشرات السنتيمترات الأولى من التربة المعرضة للتبخر ولامتصاص الماء من جدور النباتات. يتم تنفيذ وظيفة "الإنتاج" فقط في خزان/ خزانات التربة. إن سعة خزان التربة هي في الواقع "الاحتياطي المتاح للتبخر- النتح المحتمل" أو "القدرة على الاحتفاظ" باستثناء المياه المحتجزة. من الممكن رسم تخطيطيين للخزانات السطحية: **"الخزان السطحي التدرجي" والخزان السطحي من نوع "احتياطي نافع".**

- **الخزانات الوسيطة والباطنية**

يمثل الخزان H المنطقة غير المشبعة. ويسمى مستوى الماء، الذي يحتوي عليه في لحظة معينة H. ويتم تزويده بالمياه من خلال التساقطات المطرية الصافية ($ALMH$) انطلاقا من الخزانات السطحية. كما ينتج الخزان الباطني G1 التدفق البطيء (أو "الجريان الباطني السريع"). وهي تمثل عمومًا الخزان الباطني. أما مستوى الماء الذي يحتوي عليه في وقت معين يشير إلى $G1$، ويتم تزويده بالماء بواسطة الخزان المتوسط H. وفي معظم الحالات، يتم تصريفه بواسطة منفذين: يمكن التخلص من هذا التصريف إلى الخزان الباطني البطيء، حيث ليس من الضروري تضمين مكونين بطيئين.

شكل 4: هندسة خزانات الأنموذج GARDÉNIA: أ) الهندية البسيطة: خزان باطني وحيد. ب) الهندسة المركبة: خزانان باطنيان. ج) الهندسة المركبة: خزان باطني وحيد مع منفذين للصرف.



يمثل الخزان الاختياري G2، عند وجوده، طبقة المياه الباطنية العميقة أو الجزء السفلي من طبقة المياه الباطنية. ويشير ارتفاع مستوى الماء الذي يحتوي عليه في وقت معين إلى $G2$، حيث يتم تزويده بالمياه بواسطة الخزان الباطني $G1$ ؛ ليتم تصريفه فقط عن طريق جريان بطيء جدًا (أو "جريان باطني بطيء") $QG2$. يكون مثل هذا النوع من الجريان $QG2$ ضروريًا في بعض الأحيان لتمثيل مكون بطيء جدًا في الصبيب. هذا الخزان، الذي يحل بعد ذلك محل الخزان $G1$ وخزان $G2$ المحتمل، يُنتج، اعتمادًا على الحالة، مكون أو مكونين من الجريان الذي يتم تفريغه:

$$QG2 = G \cdot dt / TG2$$

$$G > SEUIL \text{ إذا كان } \quad QG1 = (G - SEUIL) \cdot dt / TG1$$

$$G \leq SEUIL \qquad Q1 = 0 \text{ إذا كان}$$

أما بالنسبة للخزان *G2*، فمن الممكن أن يُقرَّر، بشكل اختياري، أن الجريان *QG2* يتوافق مع الجريان العميق الذي لا يتم التحكم فيه بواسطة قياسات الصبيب في المنفذ.

- **صبيب التصريف الباطني الخارجي**

تحتوي الأحواض النهرية على مكون مائي باطني كبير، وفي الغالب يحدث تبادل مائي باطني مع خارج الحوض. قد يحدث أن جزءاً من المكون الباطني لا يظهر في الصبيب المقيس عند المنفذ. يمكن أن ينتشر هذا الجزء من التدفق الجوفي في المياه الباطنية بشكل جانبي باتجاه الجزء الخارجي من الحوض. وبالتالي هناك فقدان لكميات مائية (التبادل الباطني السلبي). سيظهر هذه الكميات المائية المفقودة في حوض مجاور. على العكس من ذلك، يمكن أن تضاف كميات من المياه الباطنية من الأحواض النهرية المجاورة. ثم يحدث لدينا اكتساب كميات مائية (تبادل باطني إيجابي). هذا التبادل الباطني يتم نمذجته من خلال معامل التبادل الباطني الخارجي. في جميع الحالات، يؤثر التبادل الباطني على المكون الجوفي للجريان المحسوب، ولكنه لا يؤثر على مستوى الخزان الجوفي. لذلك لا يؤثر على مستوى المياه الجوفية المحسوبة.

- **الصبيب المحاكى بالأنموذج**
  - **الصبيب عند منفذ الحوض النهري:**

للحصول على معدل الصبيب عند منفذ الحوض النهري، تم حسابه من الصيغة (11.1) في الحالة العامة:

$$Q = QH + QG1 + QG2 \qquad 11.1$$

وفي حالة ما إذا تقرر أن الصبيب البطيء جدًا *QG2* يُصرف عن طريق الرشح ولا يتم التحكم فيه بمنفذ الحوض (أو غير موجود)، ويتم حسابه حسب الصيغة (11.2) في حالة الجريان البطيء جدا لا تتحكم فيه القياسات:

$$Q = QH + QG1 \qquad 11.2$$

  - **مستوى الفرشة المائية:**

لحساب مستوى الفرشة المائية *Ni* عند نقطة في طبقة المياه الجوفية الأساسية، سيتم إنجاز الأمر من طرف الأنموذج وفقًا لاختيار المستخدِم:

$Ni = Ni(G1)$ أو $Ni = Ni(G2)$ (يتم الحساب بالملم)

أو في حالة خزان واحد بمنفذين: $Ni = Ni(G)$

يتم تحويل مستوى الفرشة المائية *Ni* إلى المستوى البيزومتري *NP* إلى أمتار من خلال القسمة بواسطة معامل التخزين الشامل *Cem* وإضافة مستوى القاعدة المحلية *Nb*، حسب الصيغة (11.3):

$$NP = Nb + 0{,}1 \times Ni / Cem \qquad 11.3$$

يعزى العامل 0,1 إلى أن *Ni* بالملم وأن *Cem* معبر عنه بـ ٪.

بعد اختيار النماذج الهيدرولوجية المعتمدة، وقبل الشروع في استخراج نتائجها، لابد من تهيئة وتنظيم المعطيات المعتمدة واعتماد منهجية واضحة لتنفيذ مراحل النمذجة الهيدرولوجية على أسس علمية، حتى تكون النتائج واضحة وتعطينا تفسيرا عن التساؤلات المطروحة.

III. المعطيات المعتمدة وإجراءات تنفيذ الأنموذجين GR4J و GARDÉNIA

يبدو أنه من الضروري التمييز، ضمن سلسلة البيانات المتاحة لكل حوض نهري، بين فترتين متميزتين متساويتين في الأهمية؛ تستخدم الفترة الأولى للمعايرة (التثبيت)، والثانية للتحكم (التحقق). وقد تم اختيار السلسلة الإحصائية للنمذجة الهيدرولوجية اعتمادا على الفترة المشتركة بين المعطيات المتوفرة، والتي توافق 32 سنة. وهذه المدة الزمنية تضم فترات رطبة وأخرى جافة، التي تم أخذها بعين الاعتبار في تحديد فترات المعايرة والتحقق. كما تتقاطع الفترة الثانية في السنتين الأخيرتين للفترة الأولى.

1. تهيئة الأنموذج الهيدرولوجي واختيار فترة البدء

يتيح لنا الأنموذجين الهيدرولوجيين إعادة محاكاة الصبيب المقيس على مستوى المحطة الهيرومترية، بشرط معرفة الحالة الأولية في بداية الفترة التي تمت نمذجتها. ثم شيئا فشيئا يعمل الأنموذج على تعديل تدريجي لحالة النظام الهيدرولوجي. ونظرا للطبيعة الحتمية لتهيئة الأنموذج فإن القيم الأولية للصبيب خلال السنة الأولى (أو السنتين الأوليتين) لا يتم أخذها بعين الاعتبار في حساب مؤشرات الأداء. لذلك نستخدم، بشكل منهجي، فترة تمتد على مدى **سنتين** لبدء الأنموذج، لا يتم حساب نتائجها (Makhlouf,1994). يتم إحداث فترة البدء هاته في مرحلتي المعايرة والتحقق.

2. المعايرة والتحقق من الأنموذج الهيدرولوجي

تم تقسيم السلسلة المدروسة (1985-2016) إلى فترتين: فترة المعايرة وفترة التحقق، مع الأخذ بعين الاعتبار سنوات الفراغ بالنسبة للصبيب على مستوى محطة تمسماط (شكل 5).

- **فترة المعايرة**

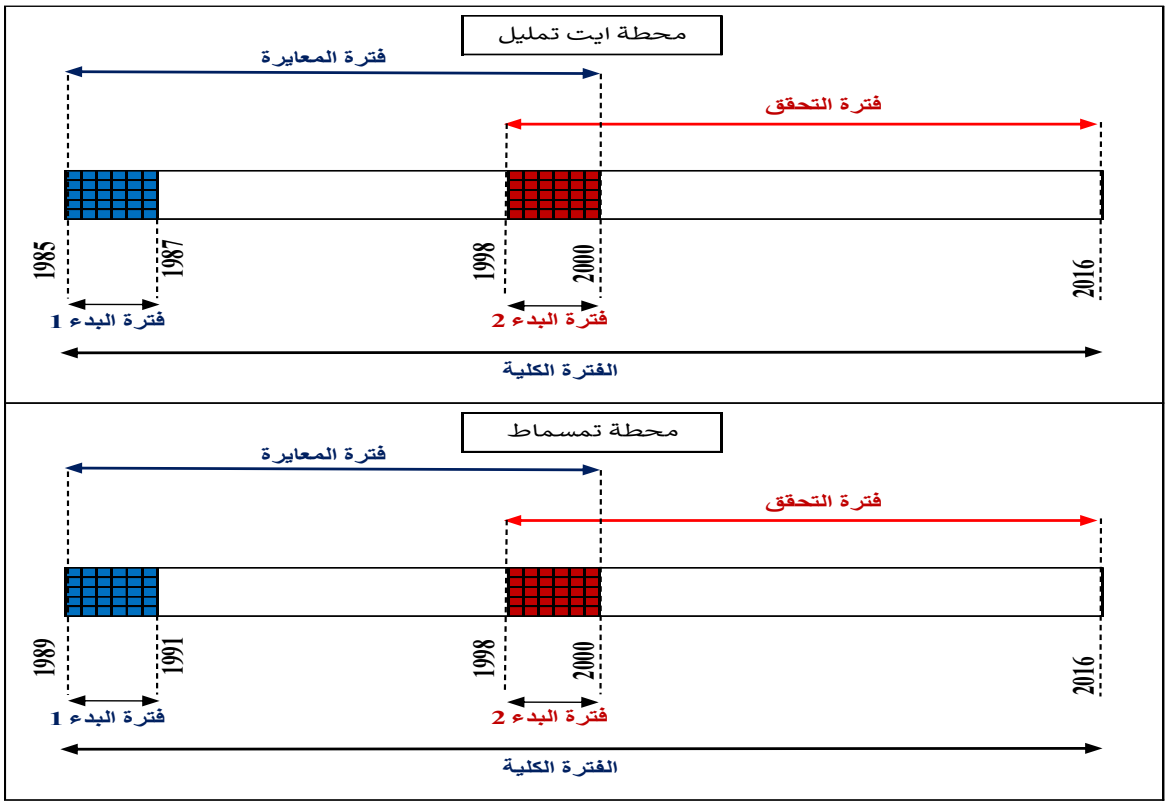
تتم **معايرة** الأنموذج من خلال تحديد مجموعة من معلمات الأنموذج مما يسمح بإعادة إنتاج معدلات الصبيب التي تتم ملاحظتها في منفذ الحوض النهري بأكبر قدر ممكن من الدقة والموثوقية. وتقاس هذه الدقة في محاكاة معدلات الصبيب بقيمة عددية تسمى مؤشرات الأداء. مهما كانت المقاربة المستخدمة، فإن معايرة الأنموذج تتطلب سلسلة بيانات "ممثِلة" لمختلف مُدخلات النظام؛ وتقدير أولي لمعلمات ومتغيرات حالة النظام؛ وطريقة لتعديل وضبط المتغيرات؛ وطريقة أو مؤشر يسمح بتقييم جودة محاكاة الصبيب بالأنموذج (Makhlouf,1994).

وقد تم اختيار فترة المعايرة، بالنسبة لمحطة أيت تمليل، الممتدة على طول الفترة (1985-1999) والتي تتميز بفترات جافة وأخرى رطبة. أما بالنسبة لمحطة تمسماط فقد امتدت فترة المعايرة على مدى (1989-1999) وذلك نظرا لعدم توفر معطيات الصبيب خلال الفترة الممتدة بين (1986-1988).

- **فترة التحقق**

أما بالنسبة لمرحلة **التحقق** فهي تتيح التأكد من أهمية وجودة الخيارات التي تم إجراؤها فيما يتعلق بتطوير الخوارزمية واختيار مجموعة المعلمات (الفول والغاشي، 2017). ويتم تقييم متانة الأنموذج فقط في مرحلة التحقق، وبالتالي بعلاقتها بالنتائج التي تم الحصول عليها في المعايرة. وتمتد فترة التحقق بالنسبة لمحطتي أيت تمليل وتمسماط على مدى السلسلة الزمنية المشتركة (2000-2016) وهي فترة عرفت كذلك توالي فترات جافة وأخرى رطبة. ويمثل الشكل 5 فترتي المعايرة والتحقق التي تم تحديدها لنمذجة الجريان بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف).

شكل 5: تمثيل تخطيطي لفترتي المعايرة والتحقق لنمذجة الجريان.



3. السلسلة الإحصائية المعتمدة في الأنموذج الهيدرولوجي

لتدوير الأنموذج الهيدرولوجي سنعتمد على المعطيات الهيدروميناخية، التي تم الحصول عليها من وكالة الحوض المائي لأم الربيع:

التساقطات المطرية: نعتمد التساقطات المطرية اليومية كمُدخل أساسي في نمذجة الجريان. يمكن تحديد الفترات التي سيتم دراستها وفقًا لبيانات الصبيب والتبخر-النتح المحتمل المتاحة للحوض النهري، والتي توافق الفترة المشتركة الممتدة على طول 32 سنة (1985-2016).

التبخر-النتح المحتمل: التبخر- النتح المحتمل هو أحد العناصر الرئيسية للحصيلة الهيدرولوجية في علاقة مباشرة بالمناخ الذي يطبع المناطق شبه الجافة، بما في ذلك المناخ والتربة أو حتى الغطاء النباتي. من بين الطرق المختلفة لحساب ETP التي يمكن استخدامها في الأنموذج، تم الاختيار بناءً على البيانات التي توفر أفضل معايرة. حيث تم الاعتماد على صيغة (*Thornthwaite*, 1948)، انطلاقا من معطيات درجات الحرارة بمحطة ايت سكمين للسلسلة الإحصائية (1985-2016).

الصبيب: هذه البيانات ضرورية في دراسة علاقة الصبيب- التساقطات المطرية. والتي تتوافق مع معطيات الصبيب المقيسة عند منفذ الحوض النهري. وسيحدد توفر هذا النوع من البيانات إلى حد كبير الفترات المعتمدة في مرحلتي التحقق والمعايرة.

IV مؤشرات الأداء لنمذجة الصبيب المقيس

من المهم تحديد مؤشرات الأداء لإجراء معايرة الأنموذج، حتى يتم تحديد متغيرات النمذجة عن طريق معايرة الأنموذج الهيدرولوجي. وقد تم اقتراح مجموعة متنوعة من المؤشرات، التي تم استخدامها في السنوات الأخيرة في النمذجة الهيدرولوجية (Moriasi et al, 2007).

1. مؤشرات الأداء لمخرجات الصبيب في شموليته

تختلف مؤشرات تقييم أداء النماذج الهيدرولوجية حسب نوع الدارسة. حيث يمكن اعتماد مؤشرات الأداء لقياس مدى فاعلية الأنموذج في نمذجة قيم الصبيب في شموليته، عكس المؤشرات التي تركز على تقييم فعالية النمذجة خلال فترات محددة (فترات الشح المائي أو الامتطاح).

- **معدل الخطأ المطلق (MAE) والخطأ التربيعي (RMSE)**

تمكننا مؤشرات مثل معدل الخطأ المطلق (MAE) وجذر معدل الخطأ التربيعي (RMSE) من قياس الانحراف بين القيم المحاكاة والقيم المقيسة، ويتم التعبير عنها بنفس الوحدة للصبيب المحاكى (Chai et Draxler, 2014).

يقيس MAE معدل مدى الأخطاء في سلسلة من التنبؤات، بغض النظر عن اتجاهها. كما يقيس الدقة للمتغيرات المستمرة. ويتم التعبير عنها من خلال الصيغة (11.4):

11.4
$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{n}|O_i - S_i| \qquad MAE \gg 0$$

بحيث: O_i: قيم الصبيب المقيس i ؛ S_i: قيم الصبيب المحاكى i ؛ N: عدد القيم المقيسة والمحاكاة.

وبالتالي، فإن المؤشر MAE هو معدل القيم المطلقة للاختلافات بين محاكاة النموذج والملاحظات المقابلة. MAE عبارة عن درجة خطية، مما يعني أن جميع الفروق الفردية يتم ترجيحها بالتساوي في حساب المعدل. ويتم التعبير عن المؤشر RMSE حسب الصيغة (11.5):

11.5
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(O_i - S_i)^2} \qquad RMSE \gg 0$$

نظرًا لأنه يتم تربيع الأخطاء قبل حساب المتوسط ، فإن RMSE يعطي وزنًا مرتفعًا نسبيًا للانحرافات الكبيرة. هذا يعني أن RMSE مفيد بشكل خاص عندما تكون الانحرافات الكبيرة غير مرغوب فيها بشكل خاص. يمكن استخدام مؤشري MAE وRMSE معًا لتشخيص اختلاف الخطأ في سلسلة من عمليات المحاكاة أو التنبؤات. بالتالي فإن المؤشر RMSE سيكون دائمًا أكبر من المؤشر MAE أو مساويًا له. بالإضافة إلى ذلك يشير (Chai et Draxler, 2014) إلى أنه عند تقييم حساسية خطأ الأنموذج فإن يتم تفضيل المؤشر RMSE على المؤشر MAE.

- **مؤشر Nash-Sutcliffe**

يستخدم مؤشر **Nash-Sutcliffe** على نطاق واسع في الهيدرولوجيا (Nash et Sutcliffe, 1970). يعبر مؤشر الأداء Nash-Sutcliffe عن نسبة التباين التكميلية بين القيم المحاكاة والقيم المقيسة مقارنة بالتباين الموضح للقيم الملاحظة. لذلك يجب أن يكون التباين التكميلي صغيرًا قدر الإمكان حتى تكون النسبة ضئيلة. يتراوح مؤشر Nash بين ∞- و1. يشير NSE البالغ 1 إلى أن البيانات المحاكاة تطابق تمامًا البيانات المقيسة (الصيغة 11.6).

11.6
$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(O_i - \overline{O})^2} \qquad -\infty \leq Nash \leq 1$$

ومع ذلك، فإن مؤشر Nash حساس جدًا للقيم المتطرفة نظرًا لكون الفروق يتم تربيعها (Legates et McCabe, 1999; Moriasi et al., 2007) . وعلى الرغم من أنه أحد المعايير الأكثر استخدامًا لتقييم أداء النماذج الهيدرولوجية، فقد كان NSE موضوع مناقشات في العديد من الأعمال (Criss et Winston, 2008; Jain et Sudheer, 2008; McCuen et al., 2006; Schaefli et Gupta, 2007). وقد تم اقتراح إصدارات معدلة لمؤشر NSE لجعلها أقل حساسية للقيم العالية، وعلى الرغم من أنها لم تستخدم إلا قليلاً في الدراسات (Moriasi et al., 2007). كما تجدر الإشارة إلى أن المؤشر Nash يبالغ في تقدير الأداء الفعلي لنماذج المتغيرات الموسمية العالية، على سبيل المثال الأحواض المائية التي يهيمن ذوبان الثلوج على ديناميكاتها (Gupta et al., 2009).

- **مؤشر Kling-Gupta (KGE)**

يضم مؤشر NSE (Gupta et *al*, 2009) ثلاث عناصر كما تبين الصيغة (11.7):

$$NSE = -\beta - \alpha^2 + 2r\alpha \qquad 11.7$$

α هو علاقة الانحراف المعياري للصبيب المحاكى σ_s والمقيس σ_o. يقيس التباين النسبي للصبيب المحاكاة والمقيس:

$$\alpha = \frac{\sigma_S}{\sigma_O} \quad \text{بحيث} \quad \beta_n = \frac{\mu_S - \mu_O}{\sigma_O} \qquad 11.8$$

μ_O و μ_S هما على التوالي معدلات الصبيب المقيس والمحاكى. r هو معامل الترابط الخطي للصبيب المقيس والمحاكى، نحصل عليه حسب الصيغة (11.9).

$$r = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N}\frac{(O_i-\mu_O)(S_i-\mu_S)}{\sigma_O\sigma_S} \qquad 11.9$$

اعتمد (Gupta et *al*, 2009) العناصر الثلاثة r و α و β واقترح مؤشرا أُطلق عليه اسم Kling-Gupta Efficiency (KGE)، حيث يتم تحديدها وفقًا للمسافة الإقليدية (ED) بين العناصر والوحدة، وهي أقصى قيمة لها. ويتم التعبير عن KGE من خلال العلاقة (11):

$$KGE = 1 - ED \qquad -\infty \leq KGE \leq 1 \qquad 11.10\text{11.11}$$

$$\text{بحيث:} \quad ED = \sqrt{(r-1)^2 - (\alpha-1)^2 - (\beta-1)^2}$$

بحيث β هي تحيز الأنموذج: $\beta = \frac{\mu_S}{\mu_O}$

وبذلك، فإن هذا المؤشر يجعل من الممكن إعطاء نفس الأوزان للعناصر الثلاثة r و α و β. وقد اعتبر (Gupta et *al*, 2009) أن مؤشر الأداء NSE يتجاهل الوزن النسبي لكل مكون وأن الأخير يعتمد على فترة المعايرة.

2. مؤشرات الأداء لنمذجة صبيب الشح

تميل مؤشرات الأداء، التي سبق تعريفها، إلى إعطاء أهمية كبيرة للتباين الحاصل بين القيم العليا للصبيب المقيس والمحاكى (صبيب الامتطاح). لكن من الضروري ألا نقتصر على دراسة هذه الوظيفة الموضوعية، خصوصا أننا بصدد دراسة فترات الشح المائي بشكل خاص.

- **القيم الجذرية واللوغاريتمية لمؤشر Nash-Sutcliffe**

في إطار هذا البحث، انصب اهتمامنا على الصبيب خلال فترات الشح المائي، وبالتالي يبدو من المناسب بالنسبة لنا الاحتفاظ، بمؤشر Nash-Sutcliffe الذي سيتم حسابه على الجذور التربيعية للصبيب (الصيغة 11.11). هذا المؤشر عام إلى حد ما ويعطي وزناً مماثلاً لمحاكاة الامتطاحات والشح المائي، وقد تم الاحتفاظ بعدة معايير من أجل تقييم قدرة الأنموذج على إعادة إنتاج سلوك الأحواض النهرية:

$$Nash(\sqrt{Q}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(\sqrt{O}_i - \sqrt{S}_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(\sqrt{O}_i - \overline{\sqrt{O}})^2} \qquad -\infty \leq Nash(\sqrt{Q}) \leq 1 \qquad 11.11$$

بالإضافة إلى مؤشر Nash-Sutcliffe المحسوبة على معدلات الصبيب وعلى الجذور المربعة لمعدلات الصبيب المحددة في الفقرة السابقة، فقد اخترنا كذلك استخدام معيار Nash-Sutcliffe بناءً على لوغاريتمات معدلات الصبيب (الصيغة 11.12)، الذي يعطي أهمية أكبر للشح المائي، مما يجعله ذا أهمية كبيرة في تقييم أداء الأنموذج.

11.12 $$Nash(Ln(Q)) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(Ln(O_i + \varepsilon) - Ln(S_i + \varepsilon))^2}{\sum_{i=1}^{N}(Ln(O_i + \varepsilon) - \overline{Ln(O + \varepsilon)})^2} \quad -\infty \leq Nash(Ln(Q)) \leq 1$$

بحيث: $\varepsilon = \overline{O_i}/N$ تؤخذ في حالة وجود صبيب منعدم.

وبالتالي، فإن مؤشرات الأداء المشتقة من مؤشر Nash-Sutcliffe ستسهل علينا قراءة النتائج التي تم الحصول عليها على حوضي الدراسة، وتقييم فعالية النماذج الهيدرولوجية أثناء فترات الشح المائي.

- **القيم الجذرية واللوغاريتمية لمؤشر Kling-Gupta (KGE)**

إن تقييم مخرجات الأنموذج الهيدرولوجي باعتماد عدة مؤشرات يوفر لنا معايير مختلفة للتحقق من نتائج محاكاة صبيب الشح. ولأنه تم البحث عن أبسط المؤشرات التي يمكن اعتمادها بالنسبة لأحواض الدراسة، فقد اعتمدنا مشتقات مؤشر الأداء KGE من خلال تحويلات التصريف، وقد تم اختيار ما يلي:

KGE ($\sqrt{Q}$): والذي يرتكز على مخرجات قيم الصبيب الوسيطة؛

KGE (LogQ): يرتكز بشكل أساسي على نمذجة الصبيب خلال فترات نزول الصبيب؛

KGE (1/Q): والذي يرتكز بشكل أساسي على الصبيب المنخفض (الشح المائي).

إن اعتماد القيم الجذرية واللوغاريتمية لمؤشر الأداء KGE يأتي لتحليل ما إذا كان استخدامها يحسن من أداء الأنموذج ويؤثر إيجابا في هامش الثقة خلال فترات الشح المائي.

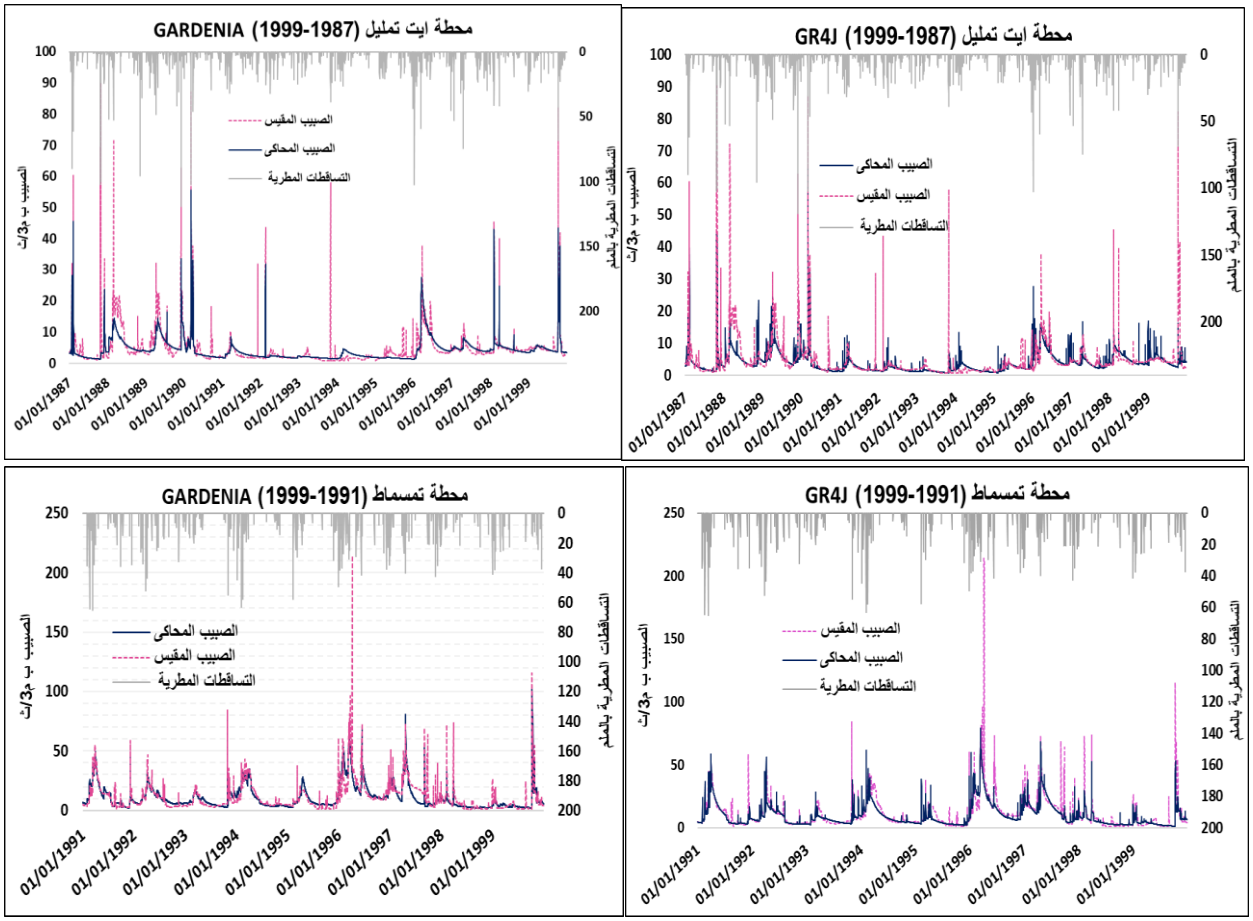
V. نتائج النمذجة الهيدرولوجية

تتمثل الخطوة الأولى في تنفيذ النمذجة لعلاقة الصبيب- التساقطات المطرية في الوضع الشامل. في هذا المستوى، نعتبر الحوض الهيدرولوجي ككيان واحد له خصائص موحدة. وقبل تنفيذ الأنموذجين الهيدرولوجيين تم تحضير المدخلات المتمثلة أساسا في التساقطات المطرية على المستوى اليومي ثم حساب قيم التبخر-النتح اليومي انطلاقا من معطيات درجات الحرارة اليومية المتوفرة بمحطة ايت سكمين، وأخيرا معطيات الصبيب اليومي على مستوى كل محطة.

1. نتائج تثبيت الأنموذجين GR4J و GARDÉNIA.

يتم تثبيت الأنموذجين بعد مجموعة من المقاطع على جهاز الحاسوب، من خلال إجراء عدة تعديلات على المتغيرات بين القيم الحدية أو بالاعتماد على تطبيق «Solveur» في برنامج Excel بالنسبة للأنموذج GR، إلى أن حصلنا على أكبر قيمة لمؤشر Nash. أو الحصول على أكبر معامل الترابط بين الصبيبين المقيس والمحاكى بالنسبة للأنموذج GARDÉNIA.

مبيان 149: نتائج تثبيت الأنموذجين GR4J وGARDÉNIA على المستوى اليومي.



تجدر الإشارة إلى أن مؤشر Nash يعتمد على قدرة الأنموذج لإعادة إنتاج العمليات الهيدرولوجية، وأيضا جودة المعطيات المعتمدة، التي تلعب دورا مهما في أداء النماذج الهيدرولوجية، خصوصا معدلات الصبيب خلال فترات صعوده (الامتطاحات) التي تعتمد أساسا على موثوقية منحنيات المعايرة.

يتضح من المبيان 149 أن هناك اختلافا في مخرجات كل أنموذج بحوضي الدراسة خلال مرحلة التثبيت:

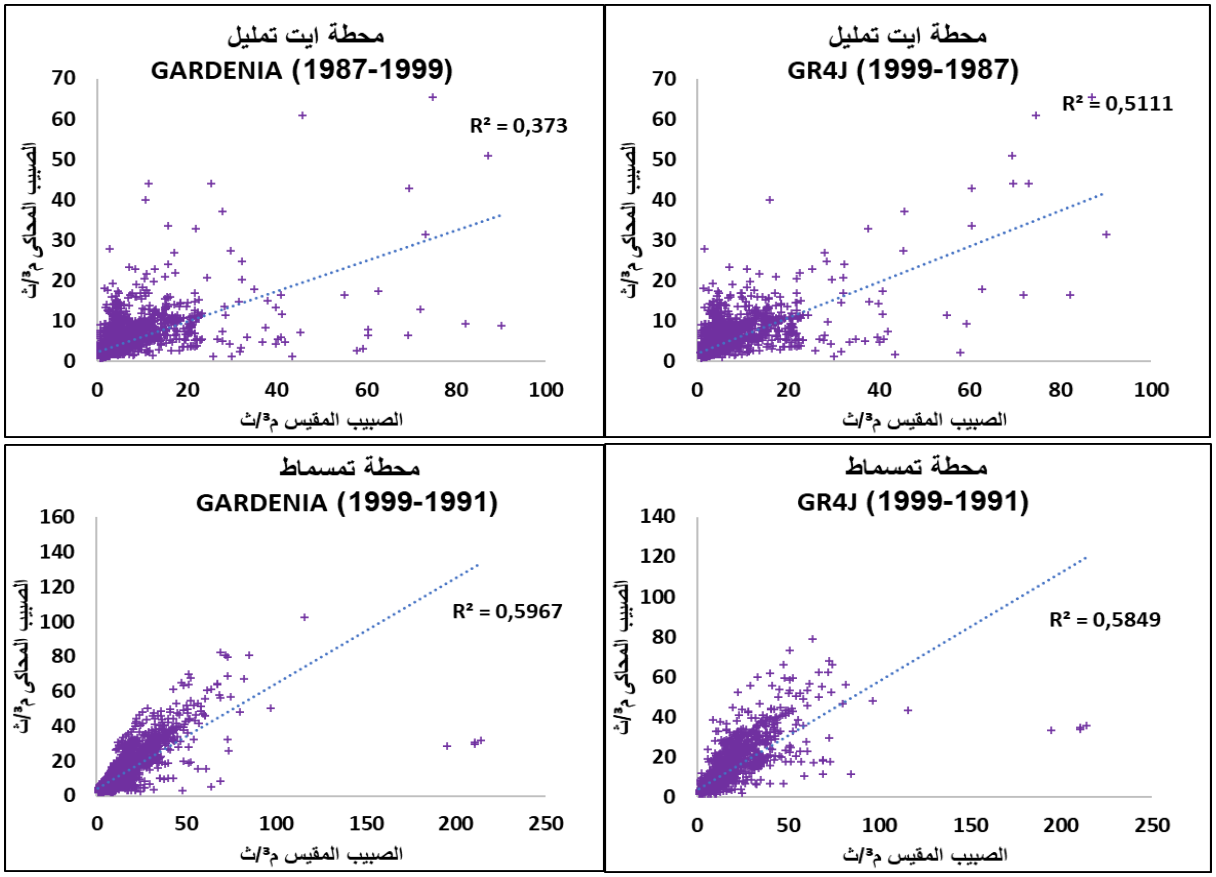
الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: يظهر من خلال نتائج تثبيت الأنموذج GARDÉNIA بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل أن مخرجات النمذجة الهيدرولوجية حققت نتائجا غير مرضية، ويدل على ذلك معامل Nash الذي سجل 53%. إلا أن النتائج بالنسبة للأنموذج GR4J كانت أكثر توافقا، وهو ما يبينه معامل Nash الذي سجل 56 %. وعلى العموم تبقى نتائج النمذجة الهيدرولوجية باعتماد الأنموذجين الهيدرولوجيين ضعيفة على مستوى هذا الحوض الفرعي، وهو ما يوضحه التفاوت الحاصل بين الصبيبين المقيس والمحاكى، خصوصا في فترات صعود الصبيب.

حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): حققت عمليات تثبيت الأنموذجين بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) عند محطة تمسماط، على العموم، نتائج مرضية ويتضح ذلك من خلال المبيان 149، الذي يظهر توافق واضح خلال الفترة الزمنية للتثبيت، كما أن معامل Nash يزيد من تأكيد هذا التوافق، حيث سجل 57 % و 60 % على التوالي بالنسبة للأنموذج GR2M و GARDÉNIA. إلا أنه يلاحظ تفاوت بين الصبيبين المقيس والمحاكى خلال فترات صعود الصبيب بالنسبة للأنموذجين.

تؤكد نتائج الترابط الخطي بين الصبيب المقيس والصبيب المحاكى ما تم التوصل إليه انطلاقا من مؤشر Nash. وإذ أن النتائج كانت غير مرضية خصوصا بالنسبة للأنموذج الهيدرولوجي GARDÉNIA بالحوض

الفرعي لواد أيت تمليل عند محطة أيت تمليل. فيما كانت مرضية بالنسبة للأنموذجين الهيدرولوجيين بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) عند محطة تمسماط.

مبيان 150: الترابط الخطي بين الصبيب المقيس والمحاكى لفترة التثبيت على المستوى اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط.

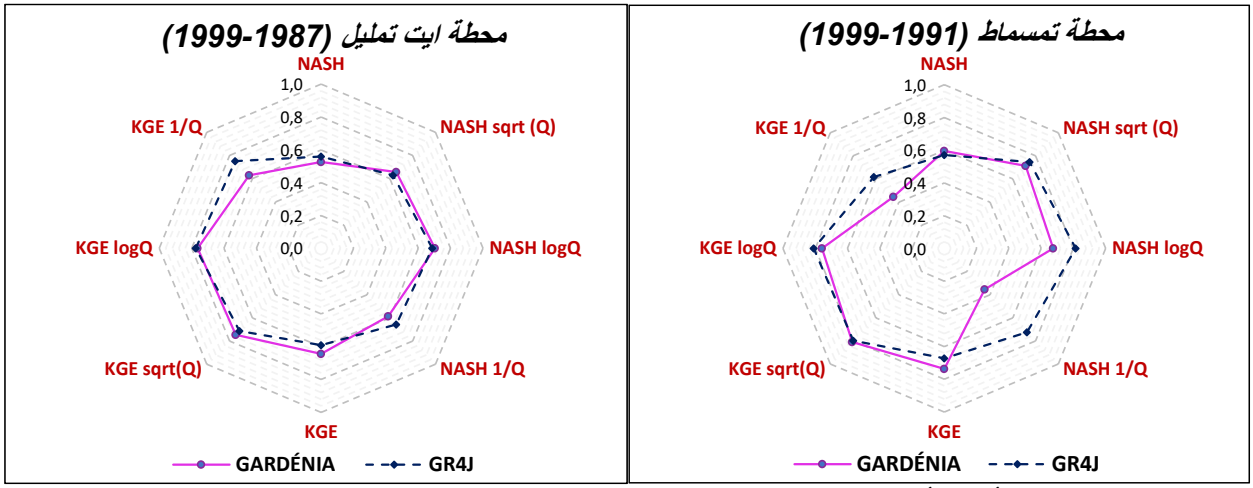


كما سبقت الإشارة، فقد تم اعتماد عدد من المؤشرات لقياس أداء كل أنموذج خلال فترات مختلفة (فترات صعود الصبيب وفترات نزول الصبيب). يمثل الجدول 61 مؤشرات الأداء لمحاكاة الصبيب في شموليته، أظهرت النتائج ضعف أداء الأنموذج الهيدرولوجي GARDÉNIA وهو ما يدل عليه المؤشران RMSE وMAE (اللذان يبتعدان من 0) حيث أن الصبيب المقيس والصبيب المحاكى يعرفان تفاوتا كبيرا في فترات صعود الصبيب خصوصا خلال فترات الامتطاحات المترددة بالحوض. كما أن أداء الأنموذجين أفضل على مستوى حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) عند محطة تمسماط، وقد تأكد ذلك انطلاقا من مؤشرات أداء الخطأ التربيعي RMSE والخطأ المطلق MAE (تقترب من 0)، وكذلك المؤشر KGE التي تجاوزت 67% بالنسبة للأنموذجين.

جدول 61: مؤشرات الأداء لفترة التثبيت على المستوى اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط.

	الأنموذج	Nash	KGE	RMSE	MAE	R^2
محطة أيت تمليل	GARDÉNIA	0,53	0,64	0,53	0,60	0,37
	GR4J	0,56	0,59	0,66	0,44	0,51
محطة تمسماط	GARDÉNIA	0,60	0,74	0,26	0,45	0,59
	GR4J	0,57	0,67	0,46	0,32	0,58

مبيان 151: مؤشرات الأداء لنمذجة الجريان خلال فترة التثبيت بمحطتي أيت تمليل وتمسماط.



فيما يتعلق بتقييم أداء الأنموذج لمعدلات الصبيب ذو القيم المتوسطة والضعيفة، فقد تم اعتماد مشتقات مؤشرات الأداء NASH وKGE. ويبين المخطط الشعاعي (مبيان 151) تقييم نتائج محاكاة الصبيب على مستوى حوضي الدراسة:

الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: رغم أن مؤشرات الأداء NASH و KGE (الخاصة بقيم الصبيب المرتفع) كانت ضعيفة، إلا أن تلك الخاصة بمحاكاة الصبيب ذو القيم المتوسطة والضعيفة كانت جيدة. وقد سجل الأنموذج الهيدرولوجي GR4J نتائج جيدة في محاكاة صبيب الشح، كما يوضح ذلك المؤشران NASH(1/Q) و KGE(1/Q) اللذان سجلا على التوالي 67% و 77%.

حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): سجلت مؤشرات أداء الأنموذج الهيدرولوجي GR4J، نتائج جيدة تراوحت بين 57% و 82%، وقد حققت محاكاة الصبيب ذو القيم المتوسطة والضعيفة نتائج مقبولة. أما بالنسبة للأنموذج الهيدرولوجي GARDENIA فقد سجل نتائج ضعيفة بالنسبة لمحاكاة صبيب الشح وهو ما يوضحه مؤشري الأداء Nash(1/Q) و KGE(1/Q) اللذان سجلا على التوالي 35% و 45%.

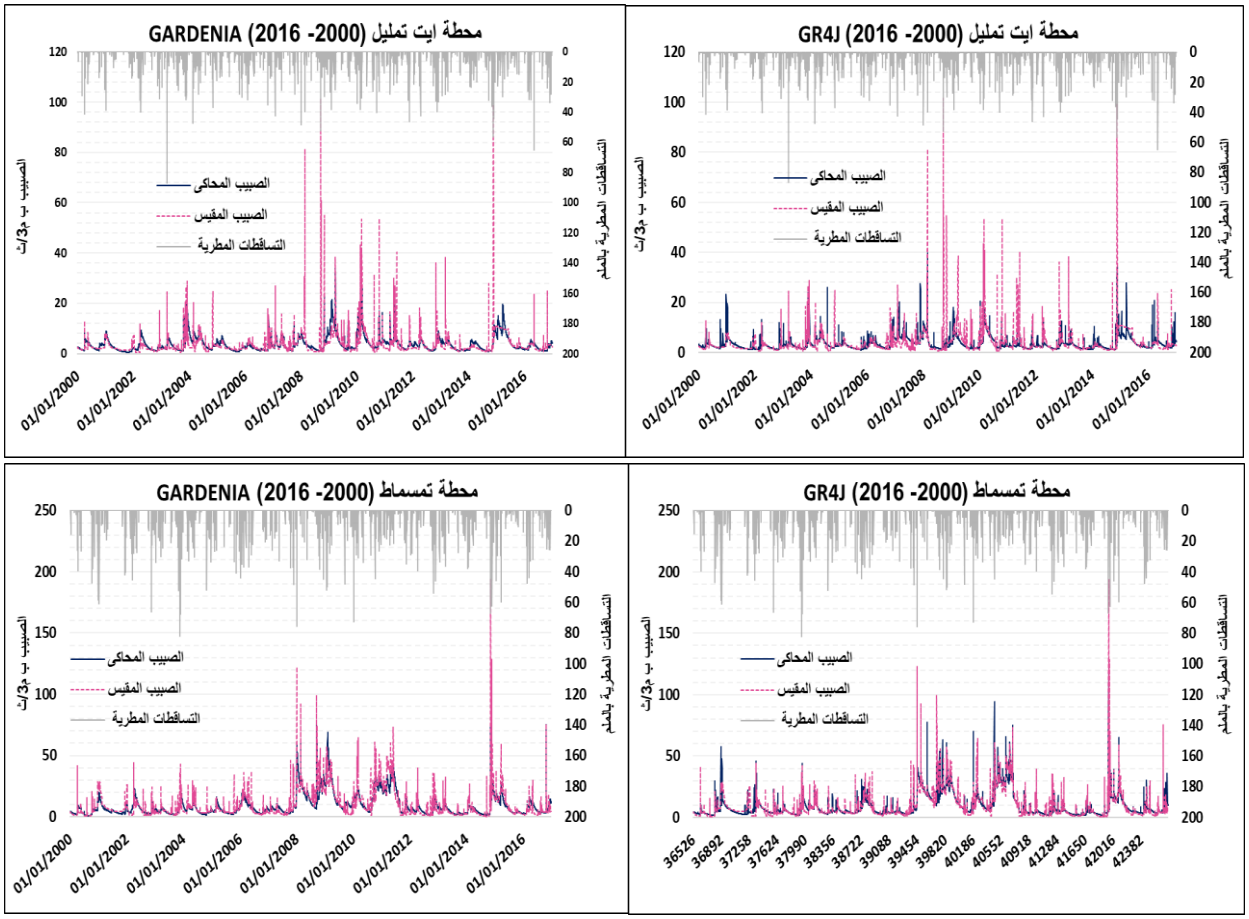
2. نتائج التحقق من الأنموذجين GR4J و GARDÉNIA.

للتأكد من كفاءة الأنموذج، يتم تقييم أدائه، بشكل عام، على بيانات الصبيب خلال الفترة الممتدة من (2000-2016) التي لم يتم اعتمادها في مرحلة التثبيت.

الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: سجلت القيم العليا للصبيب المقيس والمحاكى تفاوتا كبيرا، الشيء الذي يؤكده مؤشر الأداء Nash، حيث سجل على التوالي 26% و 34% بالنسبة للأنموذجين GR4J و GARDÉNIA.

حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): حقق مؤشر الأداء Nash قيما مرضية جدا على مستوى الحوض، حيث سجل على التوالي 78 % و70 % بالنسبة للأنموذجين GR4J و GARDÉNIA.

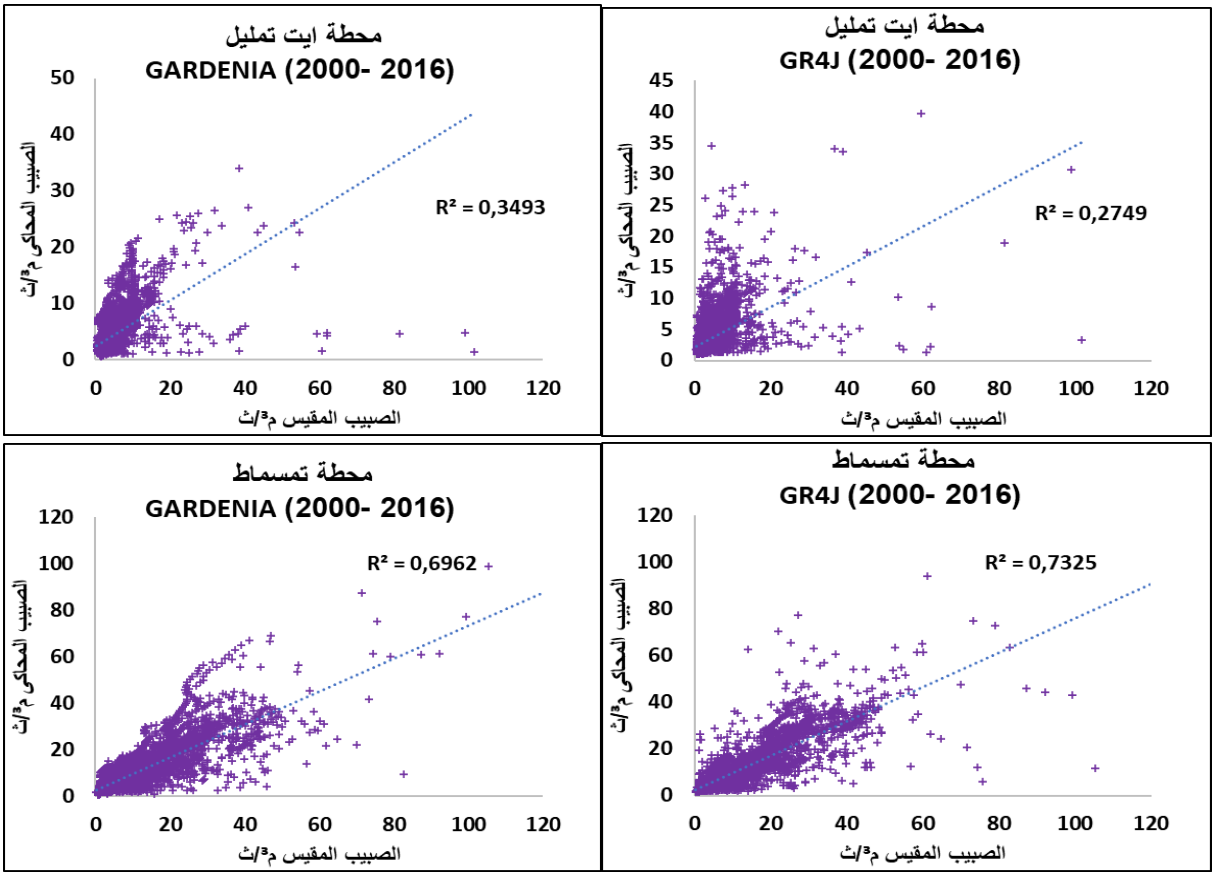
مبيان 152: نتائج التحقق من الأنموذجين GR4J و GARDÉNIA على المستوى اليومي.



تؤكد نتائج الترابط الخطي (مبيان 153) ما تم التوصل إليها من خلال مؤشر الأداء Nash، حيث كانت مخرجات النمذجة الهيدرولوجية لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) عند محطة تمسماط جيدة على العموم، والتي سجلت معامل ترابط خطي فاقت 70%، على عكس النتائج التي تم التوصل إليها على مستوى الحوض الفرعي لواد أيت تمليل الذي سجل معامل ترابط خطي أقل من 40% بالنسبة للأنموذجين، كما تميز بتغايرية قوية للصبيب خصوصا خلال السنوات الرطبة، حيث تم تسجيل قيم مهمة خلال فترات صعود الصبيب.

تمكنا من خلال مؤشر الأداء Nash وطريقة الترابط الخطي من قياس مدى فعالية النمذجة الهيدرولوجية بشكل عام، وتقييم أكثر للمحاكاة خلال فترات صعود الصبيب. وفي المرحلة الموالية سنعمل على تقييم نتائج النمذجة خلال فترات نزول الصبيب (الشح المائي).

مبيان 153: الترابط الخطي بين الصبيب المقيس والمحاكى لفترة التحقق على المستوى اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط.



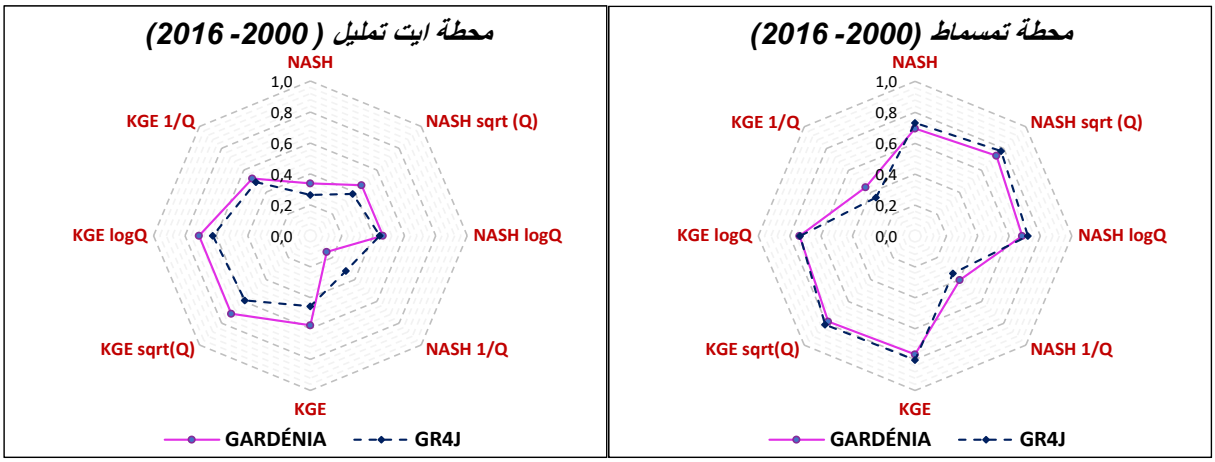
يلخص الجدول 62 النتائج التي تم التوصل إليها. كما تشير القيم المسجلة بالنسبة لمؤشري الخطأ المطلق (MAE) والخطأ التربيعي (RMSE)، أن نتائج محاكاة الصبيب جيدة بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) خصوصا بالنسبة للأنموذج الهيدرولوجي GR4J. أما بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل فقد كانت النتائج متوسطة إلى ضعيفة، خصوصا مخرجات الأنموذج الهيدرولوجي GR4J الذي سجل قيم ضعيفة لمؤشرات الأداء.

جدول 62: مؤشرات الأداء لفترة التحقق على المستوى اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط.

	الأنموذج الهيدرولوجي	Nash	KGE	RMSE	MAE	R^2
محطة أيت تمليل	GARDÉNIA	0,34	0,58	0,59	0,42	0,35
	GR4J	0,26	0,46	0,66	0,47	0,27
محطة تمسماط	GARDÉNIA	0,70	0,77	0,38	0,18	0,70
	GR4J	0,73	0,80	0,36	0,16	0,73

يبين المخطط الشعاعي (مبيان 154) تقييم نتائج محاكاة الصبيب ذو القيم المتوسطة والضعيفة على مستوى حوضي الدراسة باعتماد مشتقات مؤشرات الأداء NASH وKGE:

مبيان 154: مؤشرات الأداء لنمذجة الجريان خلال فترة التحقق بمحطتي أيت تمليل وتمسماط.



الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: سجلت مؤشرات الأداء NASH ومشتقاته قيما ضعيفة بالنسبة للأنموذجين، غير أن المؤشر KGE والمؤشرات المشتقة منه سجلت نتائجا مرضية، باستثناء المؤشر KGE(1/Q) الذي عرف قيما دون المتوسط. على العموم، كانت نتائج محاكاة الصبيب على مستوى هذا الحوض ضعيفة كذلك في مرحلة التحقق، ويمكن تفسير ذلك بجودة معطيات الصبيب على مستوى محطة أيت تمليل.

حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): سجلت مؤشرات الأداء قيما شبه متطابقة بالنسبة للأنموذجين GR4J و GARDENIA، والتي تدل على نتائج جيدة بالنسبة لمحاكاة معدلات الصبيب العليا والمتوسطة، غير أنه بالنسبة للشح المائي فقد كانت النتائج غير مرضية، وهو ما يوضحه المؤشران Nash(1/Q) و KGE(1/Q) اللذان سجلا نتائج أقل من 40%.

على العموم، كانت مخرجات الأنموذجين الهيدرولوجيين، وفقا لمؤشرات الأداء، مرضية بحوضي الدراسة. وقد أثبت الأنموذج الهيدرولوجي GR4J فعاليته في محاكاة الصبيب في مرحلتي التثبيت والتحقق خلال فترات الشح المائي، ويتضح ذلك انطلاقا من مؤشرات الأداء الخاصة بقيم الصبيب الضعيفة التي فاقت 60% في أغلب الحالات. وحققت مخرجات مرحلة التحقق نتائج ضعيفة بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، خصوصا بالنسبة للصبيب عند القيم المرتفعة، إلا أن مؤشرات الأداء لقيم الصبيب المنخفض كانت لا بأس بها. كما تجدر الإشارة إلى أن جودة معطيات الصبيب تشكل عاملا أساسيا ومؤثرا في نتائج مخرجات النمذجة الهيدرولوجية، بغض النظر عن الأنموذج المعتمد.

3. النمذجة الهيدرولوجية أداة للتنبؤ بالشح والنضوب المائي

تتردد أغلب أحداث الشح المائي خلال الفترات الصيفية، حيث تكون كمية التساقطات المطرية ضعيفة بالإضافة إلى ارتفاع معدلات الحرارة والتبخر-النتح. وبالتالي فإن التنبؤ بالصبيب خلال فترات الشح المائي أمرٌ ضروريٌ لتحسين إدارة المياه واتخاذ التدابير المناسبة للتخفيف من الآثار الاجتماعية والاقتصادية والبيئية. بالإضافة إلى ذلك، فإن احتمال زيادة حدة الشح المائي في سياق التغيرات المناخية يفرض البحث عن أدوات للتنبؤ بالصبيب في مستوياته الدنيا.

1.3. الإشكالية

يتطلب تحديد وتحليل ونمذجة صبيب الشح، في ظل الوضعية المناخية التاريخية والحالية، فهم الميكانزمات المتحكمة في السلوك الهيدرولوجي للحوض خلال فترات الشح والنضوب المائي، خصوصا، مع غياب التساقطات المطرية لمدة معينة. هذه الأحداث الهيدرولوجية المتكررة المرتبطة بالشح في الموارد المائية تؤثر على الحالة الهيدرولوجية لسد مولاي يوسف باعتباره المغذي الأول للقطاعات المسقية العصرية والتقليدية، كما أن نظام الجريان المائي يتأثر هو الآخر بشكل مباشر بنظام الواردات المائية مما ينعكس سلبا على حجم المخزون المائي للسد (أشهبون وأخرون، 2020).

إن التنبؤ بالصبيب خلال الشح المائي هي مسألة بالغة الأهمية وخصوصا في الأحواض التي تشهد أنشطة بشرية وسوسيو اقتصادية ترتبط بشكل كبير بوفرة الموارد المائية، ونتكلم عن الشح والنضوب المائي عندما تكون المياه الجوفية هي المزود الرئيسي وفي بعض الأحيان المزود الوحيد للمجرى المائي. وبالتالي فإن هناك عواملا كثيرة توثر في هذا الصبيب من أهمها الخصائص الجيولوجية التي تم دراستها في الفصل الثاني. ويمكن أن يساهم التنبؤ بصبيب الشح على المدى القصير والمتوسط في تدبير الموارد المائية المتاحة مستقبلا، والحفاظ على الاشتغال الهيدرولوجي للحوض وجودة المياه والتنوع البيولوجي، بالموازاة مع تطبيق الإجراءات القانونية والتنظيمية لمختلف مستعملي الماء. كما أن التوقع على المدى المتوسط إلى الطويل يجعل من الممكن تدبير المخزون المائي على مستوى السد بقدر الإمكان والتنبؤ بأي مساهمات إضافية.

2.3. المنهجية المعتمدة في التنبؤ بصبيب الشح والنضوب المائي

للتنبؤ بصبيب الشح، هناك عدة طرق ممكنة. الافتراضات الأساسية لكل منها قوية إلى حد ما، اعتمادًا على البيانات المتاحة ومستوى معرفة وفهم الاشتغال الهيدرولوجي للحوض المدروس. وسنعتمد في هذه العملية على طريقتين تعتبران من أهم مناهج التنبؤ بصبيب الشح (Nicolle et al, 2020):

قوانين النضوب المائي: ويتعلق الأمر بإعادة تشكيل الانخفاض في صبيب الأنهار بمرور الوقت في غياب التساقطات المطرية في المستقبل. وتأخذ هذه الطريقة بعين الاعتبار الصبيب الذي تمت ملاحظته في وقت التنبؤ بمثابة الشرط الأولي. يستخدم قانون Maillet (الأسي المتناقص) بشكل شائع لمحاكاة انخفاض الصبيب انطلاقا من الحالة الأولية. غير أن الافتراض بغياب التساقطات المطرية في المستقبل يؤدي إلى تقديرات تدفق متشائمة.

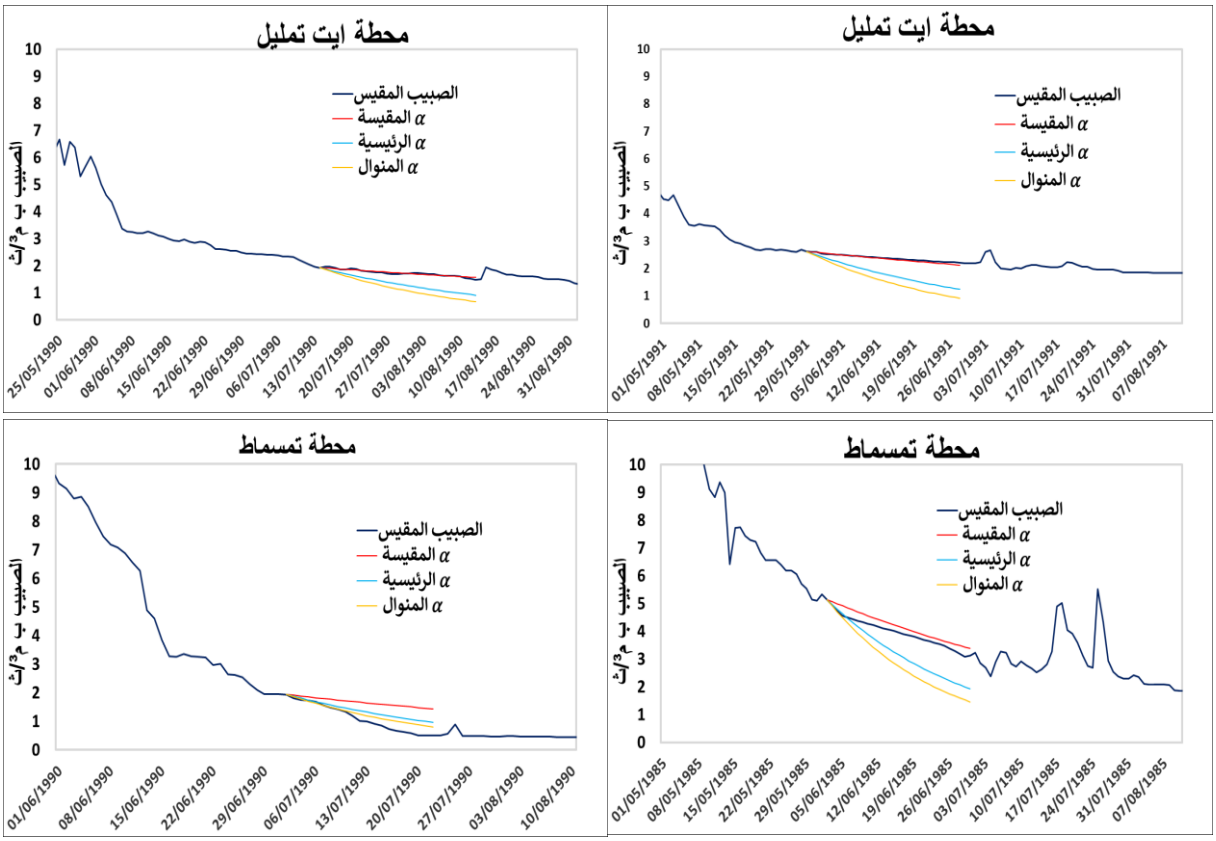
وتعتمد عملية التحقق من الصحة على إعادة تشكيل النضوب المائي باعتماد معامل α المحصل عليه من خلال المعالجة الإحصائية السابقة، (α المنوال و α الرئيسية) كما سيتم اللجوء إلى معامل النضوب المائي α المحصل عليه انطلاقا من الدراسة الميدانية. لاختبار الطريقة، نختار أطول حلقة نضوب خلال فترة الدراسة وأطولها في فترة الصيف. في الواقع، يتعلق الأمر باستهداف الحلقات الأطول، لأن التنبؤ بالنسبة لهذه الفترات هو الأكثر فائدة والأكثر حساسية.

الأنموذج الهيدرولوجي GR4J: يسمح هذا الأنموذج من إعادة إنتاج السلوك الهيدرولوجي للأحواض النهرية استجابة للتأثيرات المناخية (التساقطات المطرية والتبخر- النتح). وقد تمكنّا في مرحلة سابقة من محاكاة الحالات الأولية لوحدات الحوض النهري، مع مراعاة الظروف المناخية لتقديم تقديرات التصريف. إذا توفرت العديد من السيناريوهات المناخية المستقبلية، وكذا في غياب التساقطات المناخية، فيمكننا بالتالي الوصول إلى توزيع الصبيب المستقبلي المقابل، وبالتالي إلى المعلومات الاحتمالية.

3.3. إجراءات تقييم الأداء للتنبؤ بالشح المائي

تم وضع إجراءات تقييم مشترك لتحديد طرق الاختبار الأقرب قدر الإمكان لظروف الاشتغال الفعلية ولضمان تناسق النتائج. يتضمن إجراء تقييم الأنموذج إعادة تشكيل الصبيب على السلسلة الزمنية التاريخية للصبيب بحوضي الدراسة، وذلك بتسليط الضوء على الفترات الصيفية (من ماي إلى شتنبر) التي توافق فترات انخفاض منسوب المياه وقلة التساقطات المطرية. ويتضمن هذا الإجراء التموضع في بداية فترة النضوب المائي والتنبؤ كما لو كان يتم إصداره في الوقت الفعلي. تتراوح فترات النضوب المائي بين 20 و30 يوما، وسيتم استهداف تقييم أداء النماذج في آفاق ذات أهمية قصوى للتنبؤ بالنضوب المائي في مدة أقصاها 60 يومًا (مبيان 155).

مبيان 155: أمثلة لمرحلة التحقق من فترات النضوب المائي باعتماد معامل النضوب المائي α (1978-2016)



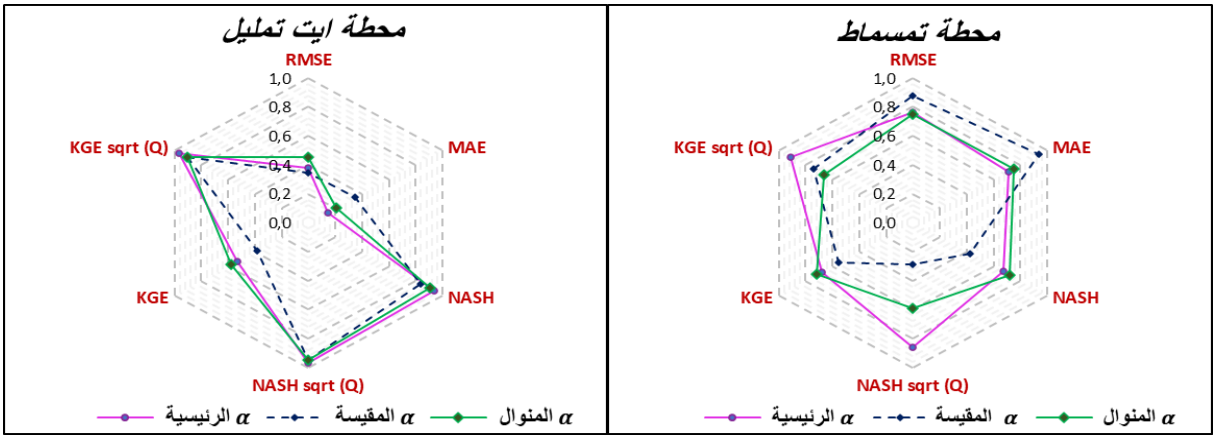
تم إجراء عمليات استقراء فترات النضوب المائي باعتماد معامل النضوب المائي α الرئيسية وα المنوال وكذلك α المقيسة من خلال العمل الميداني. وبلغت الفترة الأكثر امتدادا 30 يوما بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل عند محطة أيت تمليل، حيث تم ملاحظتها شهر يونيو سنة 1991.

يُظهر الجدول 63 أن الانحراف المعياري ومؤشر الأداء Nash مقبولان على العموم بالنسبة لحوضي الدراسة، باستثناء نتائج استقراء الصبيب باعتماد معامل النضوب المائي α المقيسة على المستوى الميداني، التي سجلت قيمة ضعيفة لمؤشر الأداء Nash. وللتأكيد النتائج تم اعتماد مجموعة من مؤشرات الأداء الأخرى كمعدل الخطأ المطلق (MAE) والخطأ التربيعي (RMSE) (Chai et Draxler, 2014).

جدول 63: الانحراف المعياري ومؤشر الأداء Nash للصبيب المستقرأ حسب معاملات النضوب المائي α

	α الرئيسية			α المنوال			α المقيسة		
	المعامل	الانحراف المعياري (م3/ث)	Nash	المعامل	الانحراف المعياري (م3/ث)	Nash	المعامل	الانحراف المعياري (م3/ث)	Nash
الحوض الفرعي لواد أيت تمليل	0,025	0,79	0,93	0,035	0,79	0,90	0,007	0,83	0,84
حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)	0,035	1,56	0,68	0,044	1,51	0,72	0,014	1,61	0,43

مبيان 156: مؤشرات الأداء لمحاكاة الصبيب حسب معاملات النضوب المائي α



يبين المخطط الشعاعي (مبيان 156) تقييم نتائج استقراء الصبيب على مستوى حوضي الدراسة باعتماد مشتقات مؤشرات الأداء NASH وKGE وMAE وRMSE:

الحوض الفرعي لواد أيت تمليل: يشير مؤشري الأداء MAE وRMSE (التي تتجه إلى 0) إلى ضعف الانحرافات بين قيم الصبيب المستقرأ والمقيس، ما يفسر قوة الترابط بينهما. وعلى العموم، سجلت مؤشرات الأداء في مجملها نتائج جيدة.

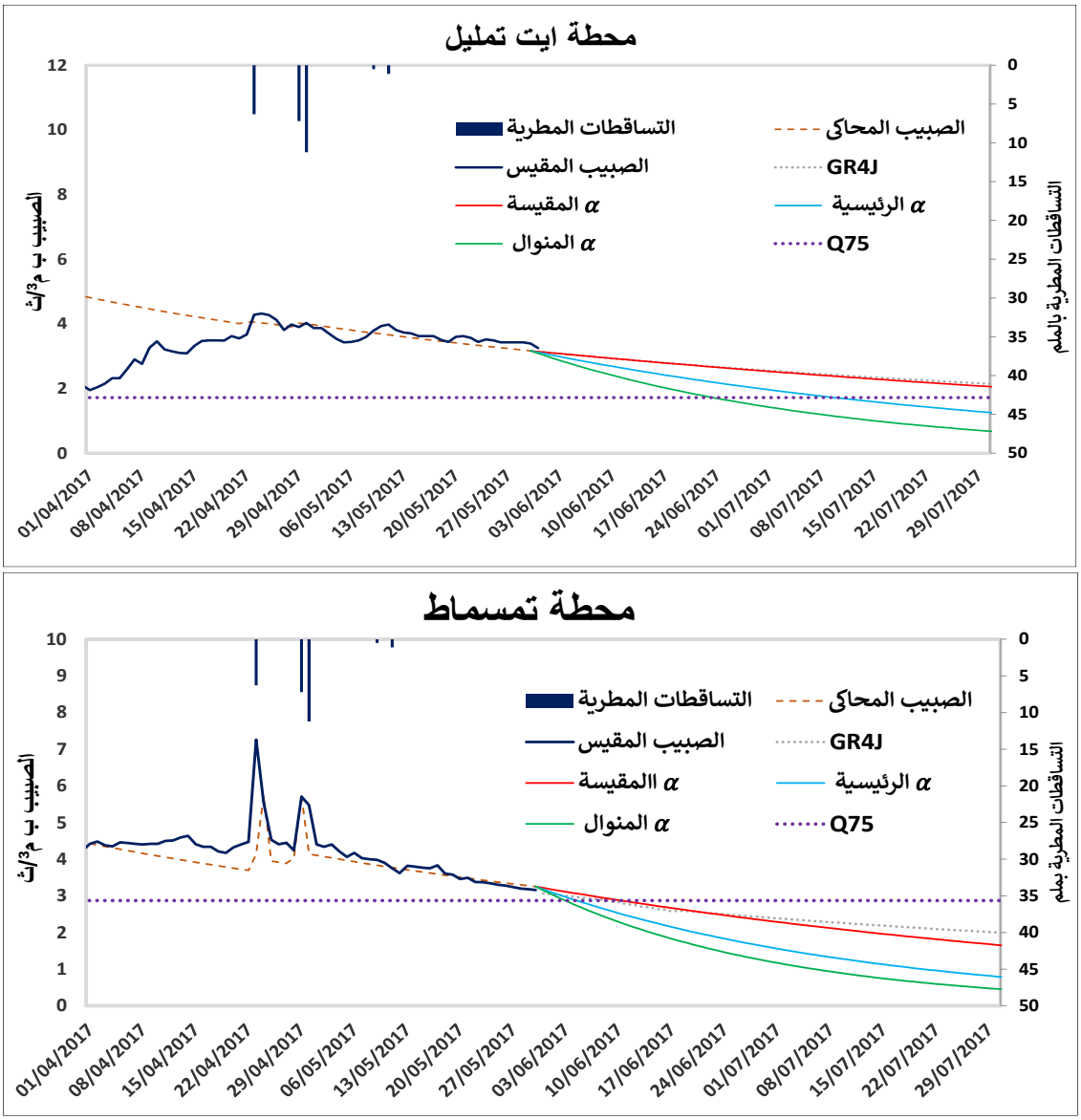
حوض واد تساوت (عالية سد م يوسف): عرفت نتائج استقراء الصبيب باعتماد معامل النضوب المائي α المقيس على المستوى الميداني انحرافات كبيرة مع الصبيب المقيس. في المقابل أظهر تقييم المؤشرات أداء جيدا بالنسبة لمحاكاة الصبيب باعتماد معامل النضوب المائي α الرئيسية والمنوال.

4.3. نتائج التنبؤ بصبيب الشح والنضوب المائي

من خلال النظر في التطور الحقيقي للصبيب الملاحظ خلال سنوات الدراسة، يمكننا تقدير التطور المحتمل للصبيب خلال صيف سنة 2017. ويجب الإشارة إلى أنه سيتم التنبؤ بصبيب المجرى المائي المرتبط بتصريف المياه الجوفية، في غياب أي تأثير للتساقطات المطرية.

تكمن أهمية هذه الحسابات في الأخذ بالاعتبار المخاطر المرتبطة بالمناخ خلال أشهر الفترة الصيفية. وهكذا، يمكننا أن نلاحظ أنه، في فترات مشابهة من السلسلة الإحصائية المدروسة، يمكن أن يتردد صبيب فترة الصيف (مثال سنة 1990) بسبب قلة أو غياب التساقطات المطرية. إن هذا التحليل الإحصائي على أساس معاملات النضوب المائي α يجعل من الممكن تجاوز التحليل البسيط للتوزيع المحتمل لأنه مشروط بدراسة إحصائية لهذه المعاملات خلال سلسلة تاريخية.

مبيان 157: التنبؤ بصبيب الشح لسنة 2017 بمحطتي أيت تمليل وتمسماط



تتموضع حزمة المنحنيات التسلسلية المستقرأة فوق عتبة صبيب الشح خلال بداية شهر يونيو (مبيان 157). إلا أنه سرعان ما انخفضت عن مستويات هذه العتبة بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)، حيث استمر الصبيب في الانخفاض بوتيرة سريعة بالنسبة للصبيب المستقرأ باعتماد معامل النضوب المائي α الرئيسية وبوتيرة أسرع بالنسبة ل α المنوال. إن الصبيب المدعم بالتغذية الباطنية البالغة الأهمية بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل ساهم في التخفيف من سرعة الانخفاض في كميات الصبيب، والتأجيل، لبضعة أيام أو لأشهر، في بلوغ عتبات صبيب الشح للمجرى.

على عكس النهج الإحصائي الذي تم اعتماده استنادا إلى معاملات النضوب المائي، تضمنت النتائج أعلاه النمذجة الهيدرولوجية والتنبؤ على المدى القصير بالصبيب باعتماد الأنموذج الهيدرولوجي GR4J، والذي اعتمد في تقدير الصبيب المحتمل، خلال فترة التنبؤ، على محاكاة الحالة الهيدرولوجية للحوض خلال السلسلة التاريخية. وبالتالي يمكن فهم التطور المحتمل للصبيب من خلال النظر في الماضي الهيدرولوجي للحوض النهري. وقد أفرزت نمذجة الصبيب المتوقع باعتماد الأنموذج الهيدرولوجي GR4J على العموم، نتائجا مرضية بحوضي الدراسة. إن ما يميز الأنموذج الهيدرولوجي هو فعاليته في مراعاة الوضع الهيدرولوجي لفترة ما قبل التنبؤ، حيث يمكن للعوامل المناخية أن تؤثر بشكل كبير على السلوك الهيدرولوجي خلال فترة ما قبل التنبؤ، ولا سيما التساقطات المطرية ومدى مساهمتها

في ملء الخزانات الجوفية. إن مخرجات الصبيب باعتماد الأنموذج الهيدرولوجي كانت متقاربة مع طريقة استقراء الصبيب باعتماد معامل النضوب المائي α المقيسة على المستوى الميداني.

من جهة أخرى، يمكن استخلاص عدة معلومات من خلال التطور المحتمل لمعدلات الصبيب. حيث يتضح أنه من الممكن استخلاص كميات العجز المحتملة من خلال عتبات صبيب الشح، أو عدد الأيام تحت هذه العتبات. كما أن معرفة معدلات الصبيب الملحوظة أثناء انخفاض منسوب المياه التي توافق فترات الشح المائي، والتنبؤ بمستوياته في ظل غياب التساقطات المطرية على المدى القصير والمتوسط، تجعل من الممكن تعديل نتائج منحنى النضوب المائي وترجمته إلى مستويات الخطر المرتبط بندرة الموارد المائية.

إن عملية التنبؤ بالصبيب على المدى القصير والمتوسط يمكن أن تساعد في تحديد الوضع الهيدرولوجي، انطلاقا من مؤشرات هيدرولوجية تم دراستها خلال السلسلة الإحصائية (39 سنة). كما يمكن تعميم هذا الإجراء على سنوات مستقبلية إلى حدود القياسات المتوفرة على مستوى محطة القياس، وبالتالي الوصول إلى مجموعة من النتائج (عدد الأيام تحت العتبة، الحد الأدنى للشح المائي، جودة المياه...) التي تساعد في تدبير الحاجيات المائية، وفي نفس الوقت الحفاظ على الحياة الإيكولوجية للكائنات الحية.

خـــــاتمة الفصل الحادي عشر

لقد وقع الاختيار، في هذه الدراسة، على أنموذجين هيدرولوجيين مختلفين لنمذجة الجريان بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، بالإضافة إلى مدخلات الأنموذجين (التساقطات المطرية، التبخر-النتح المحتمل والصبيب) تتميز هذه النماذج باختلاف درجة التعقيد وخصوصيات المتغيرات المميزة لكل منهما:

يشترك الأنموذجان في المدخلات الهيدرومناخية المعتمدة، إلا أنهما يختلفان في نوع وعدد المتغيرات والمعاملات التي تتحكم في نمذجة الجريان داخل الحوض النهري. غير أن الهدف الأساسي من استعمال هذه النماذج هو الفهم الجيد للاشتغال الهيدرولوجي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) خصوصا خلال فترات الشح المائي.

ولتقييم فعالية هذه النماذج تم اعتماد مجموعة من مؤشرات الأداء، تختلف حساسيتها لقيم الصبيب (الشح المائي وصبيب الامتطاح). أوضحت هذه المؤشرات تقارب فعالية الأنموذجين في محاكاة صبيب الشح، وبجودة أكثر بالنسبة للأنموذج الهيدرولوجي GR4J الذي اثبت فعاليته في محاكاة الصبيب في مرحلتي التثبيت والتحقق بالنسبة لقيم الصبيب المنخفضة، ويظهر ذلك من خلال مؤشرات الأداء الخاصة بقيم الصبيب الضعيفة التي فاقت 60% في أغلب الحالات.

وقد اعتمدنا، في التنبؤ بصبيب الشح والنضوب المائي، على طريقتين تعتبران من أهم مناهج المعتمدة في ذلك:

قوانين النضوب المائي باعتماد المعامل α : انطلاقا من القياسات الميدانية والدراسة الإحصائية لفترات النضوب المائي تمكّنا من إعادة تشكيل الصبيب خلال فترات الشح المائي. وقد أثبتت هذه الطريقة فعالية كبيرة في التنبؤ واستقراء قيم الصبيب على المدى القريب والمتوسط (أقل من شهرين). هذه المنهجية المعتمدة تتجاوز وضع احتمالات عشوائية بسيطة لأنها مشروطة بدراسة إحصائية قبلية لسلوك الجريان خلال فترات الشح والنضوب المائي على مدى سلسلة إحصائية ممتدة (39 سنة).

الأنموذج الهيدرولوجي GR4J: اعتمادا على محاكاة السلوك الهيدرولوجي خلال مرحلتي التثبيت والتحقق، تمكنّا، من خلال الأنموذج الهيدرولوجي، من التنبؤ بصبيب الشح على المدى المتوسط. وتكمن فعالية هذا الأنموذج في مراعاته للوضع الهيدرولوجي لفترة ما قبل التنبؤ، بالإضافة إلى التأثير المحتمل للعوامل المناخية، ولا سيما التساقطات المطرية ومدى مساهمتها في ملء الخزانات الجوفية.

الفصل الثاني عشر: الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): المظاهر والتجليات والتأثير وآفاق التدبير

مقـــــدمة الفصل الثاني عشر

إن دراسة وفهم الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) لا يرتبط بالخصوصيات الطبيعية والمناخية فقط، بل له ارتباط وطيد بالخصوصيات البشرية، أي تلك الممارسات البشرية التي يمكن أن تؤدي إلى الإخلال بالتوازنات البيئية.

تستخدم الساكنة الموارد الطبيعية والخدمات البيئية لتلبية احتياجاتهم. وبالتالي، تخضع هذه الموارد للتغييرات التي قد تتجاوز القدرات التجديدية للنظم البيئية. وبالتالي يصبح من اللازم دراسة العلاقات بين الموارد الطبيعية والأنشطة البشرية. عندما يتعلق الأمر بالمياه، فإن هذه العلاقات متنوعة جدا. غالبًا ما يتم إجراء التحليل إما من خلال اعتبار المياه موردًا أو كوسط بيئي. ورغم ذلك، فإن الجمع بين الاثنين مسألة ضرورية: فالماء هو مورد لتنمية الأنشطة البشرية وعنصر أساسي في السلامة البيئية، وخاصة الأنهار.

إن الهدف من هذا الفصل هو دراسة علاقة التفاعل بين تردد فترات الشح المائي من جهة والاستغلال البشري للموارد المائية وجودة المياه من جهة أخرى. إن الفهم الجيد لهذه العلاقة تجعل من الممكن التفكير في سبل لتدبير الوضع والخروج بحلول ممكنة. ستتم هذه الدراسة من خلال ثلاثة محاور أساسية هي كالتالي:

المحور 23: تقييم شامل لأنواع التجهيزات الهيدروفلاحية، من خلال جرد وتصنيف السواقي وتمثيلها خرائطيا، باعتماد منهجية العمل الميداني (قياس صبيب السواقي) والكارطوغرافي، وذلك بهدف تحديد كميات المياه المستعملة في السقي على الخصوص باعتباره القطاع الأكثر استهلاكا للماء؛

المحور 24: قياس وتتبع جودة المياه باعتماد أجهزة القياس في الموقع، وقد تم اختيار نقط تتوزع بين عالية ووسط وسافلة الحوض؛

المحور 25: سيتم عرض عدد من الأنظمة المؤطرة لتدبير الماء على المستوى الدولي، ومقارنتها بتلك المعتمدة على الصعيد الوطني. ويبقى الهدف من ذلك تحديد مستويات صبيب الشح، من أجل اتخاذ تدابير استباقية لإدارة الأزمات المرتبطة بالخصاص المائي.

المحور 23: الأنشطة الفلاحية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): الانعكاسات والتقييم

يعرف حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) دينامية بشرية كبيرة، كما يتميز بأنشطة فلاحية مهمة، لهذا سنركز في هذا المحور على دراسة الأنشطة الفلاحية السقوية باعتباره يتطلب كميات مهمة من الماء بالمجال الذي نحن بصدد دراسته. على هذا النحو، سنقوم بتقييم شامل لأنواع التجهيزات الهيدروفلاحية، التي يتم تحويل عبرها مياه السقي من الواد مباشرة أو من المنابع والعيون، عن طريق نظام السواقي، والتي سيتم جردها وتصنيفها حسب الأهمية وتمثيلها خرائطيا اعتمادا على صور الأقمار الاصطناعية Landsat (2020) والمصادقة عليها انطلاقا من الزيارات الميدانية. كما يؤدي جلب المياه إلى انخفاض مستوى الصبيب في البيئات الطبيعية، مما قد يتسبب في خصاص الموارد المائية. ومن المرجح أن تؤدي عمليات جلب المياه إلى تسريع وتيرة الشح المائي وزيادة العجز المائي عندما تحدث هذه العملية خلال فترة طبيعية من نزول الصبيب (بشكل عام في الصيف). يزداد هذا التأثير عندما تكون الأحجام المجلوبة كبيرة ويستمر ذلك بمرور الوقت.

إن الهدف من هذا المحور هو معرفة مدى تدخل الإنسان في المجال، والكشف عن علاقة التفاعل القائمة بينهما، ومن جهة أخرى تحديد كميات المياه المجلوبة عن طريق نظام السواقي في فترات مختلفة من السنة، مع التركيز على فترات نزول الصبيب. سيتم ذلك من خلال الخرجات الميدانية وتتبع صبيب السواقي، بالإضافة إلى المعطيات المحصل عليها من طرف المديرية الإقليمية للفلاحة بأزيلال (DPAA, 2014).

منهجيا، تم الاعتماد في بلورة هذا الجانب على التحري والزيارات الميدانية من خلال:

- قياس وتتبع صبيب السواقي وجردها وتصنيفها حسب الأهمية، ثم القيام بكارطوغرافيا هذه السواقي والمجالات الفلاحية بعد التحقق والتأكد من خلال الزيارات الميدانية؛
- إنجاز استمارات بلغ عددها 114 وقد اعتمدنا في توزيعها على مجموعة من المعايير نذكر منها: معيار القرب من المجرى المائي، معيار التوزيع الجغرافي بين عالية ووسط وسافلة الحوض، تمركز الساكنة في بعض المناطق من الحوض دون أخرى، كما استندنا في البحث الميداني على الاستجوابات الموجهة واللقاءات المفتوحة في عدد من الدواوير التي توجد ضمن الحوض المدروس.

I. الشبكة الهيدروفلاحية و تنظيم المجالات المسقية

في البداية، يجب أن نستحضر التجهيز الهيدروفلاحي، لأنه يعتبر أول خطوة في ظهور النشاط الفلاحي وتوسعه، إذ لا يمكن تصور نشاط فلاحي دون إعداد مسبق. والحديث عن الإعداد لا يعني بالضرورة إعداد عصري كالذي نشهده في الدوائر السقوية مثلا، وإنما نتحدث هنا عن الإعداد التقليدي الذي عرفه الإنسان منذ توجهه لفلاحة الأرض واستغلالها.

1. نظام السواقي بالمجالات المسقية

يتم جلب المياه اللازمة للسقي انطلاقا من الواد أو ما يصطلح عليه "أسيف"، أو انطلاقا من العيون والينابيع المنتشرة، ويتم تحويلها عن طريق إقامة سدود تُغير اتجاه جزء من مياه الواد عن مجراه إلى الأراضي عبر القنوات والسواقي المعدة لذلك، ويُعتمد في بنائها، غالبا، على مواد تقليدية (القش والأتربة وبعض الأكياس المليئة بالرمال ومواد أخرى) لتحويل المياه، بحيث تتضافر جهود السكان، لتشييدها. لكن خلال فترات الإمتطاحات الموسمية فإن هذه السدود الهشة تتعرض للتلف كليا، بحيث يتم جرفها بواسطة مياه الواد ما يستدعي إعادة بنائها أو ترميمها مجددا (الفول، 2016).

تتم عملية الجلب بالنسبة للدواوير حسب النسب التالية:

- 30 % من الدواوير يستفيدون انطلاقا من مياه الأودية (واد تساوت، او احد روافده)؛
- 26% من الدواوير يستفيدون من مياه العيون؛

- 44 % يستفيدون بشكل مزدوج من المياه العيون ومياه الأودية؛ (DPAA, 2014.)

يتمظهر ذكاء وإبداع الساكنة في كيفية جلب المياه، إذ يتم تشييد أغلب السواقي بطريقة تقليدية، يتراوح عرضها بين 10 و 40 سنتيمتر، (الفول والغاشي، 2018) تخترق هذه السواقي سطح التربة والصخور الصلبة، كما تقطع الأخاديد والشعاب عن طريق تدعيمها بواسطة أغصان الأشجار ومواد أخرى. يُعتبر الانحدار العام للسواقي، بطبيعة الحال، أقل من انحدار الواد أو العيون، ويتم اقتيادها إلى المدرجات المعدة للفلاحة، ويتغير طول السواقي حسب الانحدار العام للوادي أو العيون أو الارتفاع النسبي للأراضي المعدة للسقي، ويتراوح طولها بين عشرات الأمتار وبعض الكيلومترات.

نميز بين نوعين من شبكة السواقي المشيدة بالحوض:

- الشبكة الرئيسية من السواقي: شبكة تسمح بجلب الماء انطلاقا من الواد أو الينابيع والعيون، حيث توفر مياه السقي والاستعمال المنزلي لدوار أو أكثر.
- الشبكة الثانوية من السواقي: شبكة تسمح بتوزيع المياه داخل مجال كل دوار، إلى غاية الأراضي الفلاحية.

تتفرع السواقي الرئيسية إلى عدة سواقي فرعية حيث توفر المياه للمشارات الفلاحية، كما نجد مجموعة من السواقي الثانوية مصدرها الينابيع والعيون تتجمع لتكون ساقية مهمة (عمل ميداني، 2019). يمثل الجدول 64 خصائص السواقي المتواجدة بمجال الدراسة. يتميز التجهيز الهيدروفلاحي بكثافة مهمة، ويبلغ مجموع طول هذه السواقي أكثر من 180 كلم، تمتد على طول المجرى الرئيسي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) وأهم روافده كأسيف ن أوروس وأسيف سيدي بوعلي وأسيف ن تاسلنت وأسيف ن ايت حميد و تاركا.... كما يتم جلب الماء أيضا من بعض العيون التي تتميز بصبيب مهم على طول السنة (عمل ميداني،2019). ويختلف طول السواقي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، وذلك حسب أهميتها وكمية المياه المجلوبة، وحسب المعطيات الممثلة في المبيان فإن هذه السواقي يمكن تقسيمها إلى قسمين:

- السواقي التي يزيد طولها عن 2000 متر: تتميز هذه السواقي بقطر وعمق يبلغان 40 سنتمتر مما يدل على أهميتها، وهي مرتبطة مباشرة مع المجرى الرئيسي أو المنبع المائي، يتم من خلالها جلب المياه، وبالتالي يمكن اعتبارها رئيسية أو كبيرة.
- السواقي التي يقل طولها عن 2000 متر: يبلغ قطر وعمق هذه السواقي 30 سنتمتر، غالبا ما تتفرع عن سواقي كبيرة، وبالتالي يمكن اعتبار هذه السواقي سواقي فرعية أو ثانوية.

يمكن التمييز كذلك بين سواقٍ مشيدة بالتراب، وأخرى بالإسمنت المسلح، وكلتا الطريقتين للبناء لها جوانب إيجابية وسلبية فالسواقي الإسمنتية تقوم بتوصيل المياه إلى المستفيد دون ضياع تقريبا، أما السواقي الترابية فتسمح بتسرب كمية من المياه المجلوبة، غير أن الجانب الإيجابي في السواقي الترابية هو أن عدد كبير من الأشجار والمغروسات المتواجدة على جنباتها تستفيد من المياه المتسربة منها.

جدول 64: خصائص السواقي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)

اسم الساقية	الطول (m)	الجماعة القروية	المجال المسقى	قياس القطر	قياس العمق
تسكاعوالت*	3000	امين اولاون	أمزرى	40	40
ادمامن*	1500	امين اولاون	أمزرى	30	30
امسكان*	2500	امين اولاون	أمزرى	40	40
اشباكن*	2500	امين اولاون	أمزرى	40	40
ايت حميد	2 000	ايت امديس	ايت حميد	40	40
تمزريت	1 500	ايت امديس	ايت حميد	30	30
اسفولا	1 800	ايت امديس	ايت حميد	30	30
تيسويتين	2 000	ايت امديس	ايت حميد	40	40
تيبورودين	1500	ايت امديس	ايت حميد	30	30
تلغزى	3 000	ايت امديس	تشاكوشت	40	40
ايت جعا	3 500	ايت امديس	تشاكوشت	40	40
ايت خطاب	2 500	ايت امديس	تشاكوشت	40	40
ايت موسى	1 200	ايت امديس	تشاكوشت	30	30
تاسّا	1 500	ايت امديس	تشاكوشت	30	30
ايت ملال	2 000	ايت امديس	ايسكت ايت اومديس	30	30
ايت لحسن	2 500	ايت امديس	ايسكت ايت اومديس	30	30
تكوريانت	2 500	ايت امديس	ايسكت ايت اومديس	30	30
ايسكت	3 000	ايت امديس	ايسكت ايت اومديس	40	40
تسليبيت	1 500	ايت امديس	ايسكت ايت اومديس	30	30
امركود	3 000	أيت تمليل	امركوت	40	40
اكنسو نوارك	2 000	أيت تمليل	آرك	30	30
انافاك	2 500	أيت تمليل	آرك	30	30
تكلاست	1 500	أيت تمليل	آرك	30	30
اماسين	1 000	أيت تمليل	آرك	30	30
ادار نوارك	1 400	أيت تمليل	آرك	30	30
ايت حمزة	2 000	أيت تمليل	عالية تساوت	40	40
ايت علي نيتو	1 500	أيت تمليل	عالية تساوت	30	30
فاخور	2 000	أيت تمليل	عالية تساوت	40	40
ايكونان	1 500	أيت تمليل	عالية تساوت	30	40
تاسلنت	2 000	أيت تمليل	عالية تساوت	40	30
تاكورت	1 200	أيت تمليل	عالية تساوت	30	30
تازروت	2 000	أيت تمليل	تيسالى	30	30
نوفلا	1 000	أيت تمليل	تيسالى	30	30
تاسلنت	3 000	أيت تمليل	تاسلنت	40	40
تاغوغت	2 000	أيت تمليل	ايفولو	30	30
تاسلنت	1 500	أيت تمليل	ايفولو	30	30
تيسيلى	1 500	أيت تمليل	ايفولو	30	30
تيغفست	2 000	أيت تمليل	فدغات	30	30
تاركا	2 500	أيت تمليل	فدغات	30	30
توفغين	3 000	أيت تمليل	فدغات	40	40
ايت علا	2 000	أيت تمليل	فدغات	30	30
ايسلى*	8 000	ايت حكيم	اوروس	40	40
ايت طالب*	6 000	ايت حكيم	اوروس	40	40
اكونى*	3 200	ايت عادل	سيدى بوعلى	40	40
امشكدال*	1 600	ايت عادل	سيدى بوعلى	40	40

المصدر : (DPAA, 2014) (* عمل ميداني، 2019)

لوحة صور 14: لسواقي رئيسية وثانوية بمجال الدراسة (عمل ميداني، نونبر 2019)

ساقية ثانوية من الإسمنت بسافلة ايت حميد | ساقية رئيسية ترابية بسافلة أسيف سيدي بوعلي

ساقية ترابية بمنطقة ايت موسى | ساقية رئيسية من الإسمنت بسافلة أسيف سيدي بوعلي

2 مستجمعات المياه: تافراوت

يتميز فصل الصيف بندرة المياه بالحوض المدروس، وهذا ما يفسر تواجد خزّانات صغيرة للمياه أو ما يصطلح عليه في المنطقة ب "تافراوت" ويتشكل من حاجز صغير للتخزين، يتم بناؤه بواسطة التراب أو الحجارة أو الإسمنت، يخترقه ثقب في الجزء الأسفل يتم إغلاقه في فترات تعبئة "تافراوت" (الفول والغاشي، 2018).

تقع تافراوت إما على السواقي الرئيسية أو على السواقي الثانوية. بالنسبة للحالة الأولى، فإن الدواوير المتواجدة في العالية لها الأفضلية على حساب الدواوير المتواجدة بالسافلة، وأي رافد يتواجد بسافلة "تافراوت" يشكل حق إضافي بالنسبة للدواوير بالسافلة، غير أنه في السنوات الجافة يبدأ الماء بالندرة في اتجاه السافلة، وهذا سبب الخلاف بين الدواوير المتواجدة في العالية والسافلة (عمل ميداني، 2019) .

بناءً على المبدأ العام للعرف السائد والمتعلق بالنوبة، فالنظام المتبع لاستغلال الموارد المائية يمكن أن يكون أكثر تعقيدا. يمكن لساقية واحدة أن تعبئ عدة "تافراوت" الواحدة تلوى الأخرى، والتي، بدورها، تنطلق منها سواقي فرعية في اتجاه المشارات المُستغلة، وانطلاقا من الفائض المائي يمكنها أن تساهم مرة أخرى في تعبئة "تافراوت" رئيسية أو فرعية جديدة (الفول والغاشي، 2018).

يتم تحرير الماء، خلال السنوات العادية، من "تافراوت " مرتين كل 24 ساعة، هناك إذن فترتين من السقي؛ الفترة الصباحية والفترة المسائية، وهو ما يصطلح عليه "تيرمت" باللغة المحلية. أما خلال السنوات الجافة، فيتم تحرير "تافراوت" مرة واحدة خلال اليوم الواحد، في بعض الدواوير. وفي السنوات المطيرة يمكن تحرير المياه 4 مرات في اليوم بالنسبة لبعض "تافراوت" الواقعة على الساقية الكبيرة.

بصفة عامة، فالمسؤول عن عملية السقي ينتظر امتلاء "تافراوت" ليتم تحرير المياه المعبأة فيها، غير أنها ليست قاعدة مطلقة، حيث أن بعض الدواوير يتم تحرير المياه مرتين في اليوم حتى في السنوات الجافة، رغم عدم امتلاء "تافراوت"، فالماء في هذه الحالة يتم توزيعه بالاعتماد على قاعدة "الزمن" وليس بالاعتماد على "الكمية". كما أن المشارات القريبة من تافراوت، المتواجدة في العالية، هي التي تستفيد أولا، ثم تأتي بعدها المشارات المتواجدة بالسافلة (عمل ميداني، 2019).

3 تجهيز المشارات الفلاحية المسقية

يتم جلب الماء عن طريق نظام: السواقي الرئيسية، السواقي الثانوية، "تافراوت"، لتصل إلى المشارات الفلاحية، وذلك حسب البرنامج المتبع من طرف كل فلاح، حسب "فترة الماء" المخصصة له. ويمكن التمييز بين الأراضي المسقية بشكل دائم، وأخرى مسقية بشكل موسمي (نصف المسقية والمسقية).

صورة 15: نموذج المشارات الفلاحية بالمجال المسقي بالحوض المدروس (عمل ميداني: نونبر 2019)

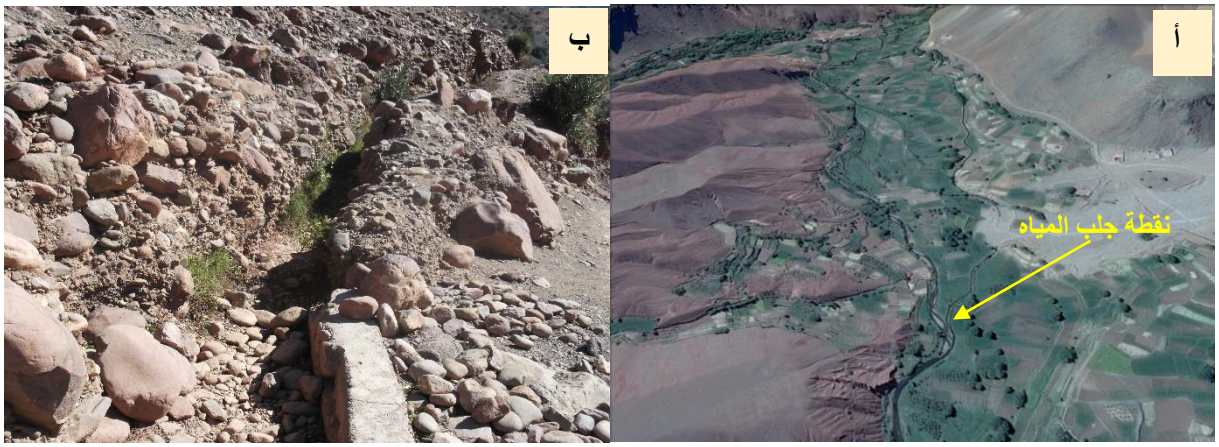
تتم عملية سقي المشارات إما عن طريق تشكيل خدود صغيرة مفصولة بدعامات من الأتربة، أو عن طريق قواديس صغيرة. وتتميز المدرجات المستغلة بكونها مسطحة أفقيا نوعا ما، حيث يتم فتح القنوات من العالية والتي تستقبل، بدورها، الماء عن طريق السواقي الثانوية، ينتشر الماء بين الممرات المشيدة في المشارات، وبالتالي تتم عملية غمر الأرض بالماء، هذه العملية غير ملائمة في بعض الأحيان في الأراضي التي تتميز بالتكوينات الطينية، المنتشرة بشكل كبير في حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، والمتميزة بمعامل نفاذية ضعيف. بالإضافة إلى ذلك فعملية السقي تتطلب أن تكون المشارات ذات ميل ضعيف جدا، لهذا يمكن أن نجد ضايات أو بقع تتجمع فيها المياه، على العكس من ذلك حيث نجد بعض المناطق المشرفة لا يصلها الماء وبالتالي تتأثر المغروسات في كلتا الحالتين.

4 صيانة التجهيزات المائية

تتعرض التجهيزات المائية والسواقي وتيفوروين وخصوصا نقطة المأخذ المائي أو ما يصطلح عليه في المنطقة "أوكوك Ouggoug" للتلف خلال فترات التساقطات المطرية وارتفاع منسوب الماء (الإمتطاحات).

يتم إنشاء حواجز جاهزة على طول الساقية، خلال فترات السقي، بحيث تكون عملية كبح الماء، بأقصى سرعة عند الضرورة، لتجنب ضياع الماء أو أي ضرر يمكن أن يحدثه على المزروعات.

صورة 16: أ) نقطة جلب الماء بعالية الحوض (Google Earth, 2019). ب) ساقية بمنطقة ايت موسى تعرضت للتلف بفعل الإمتطاح (عمل ميداني: نونبر 2019)



تنجز الأشغال الكبرى، المتعلقة بأعمال تجديد وترميم السواقي، خلال شهري مارس وأبريل، بعد فترات الإمتطاحات. ويساهم كل فلاح في عملية الإصلاح بحصة عمل متناسبة مع مساحة الأرض التي يملكها وبالتالي حصته من الماء. بالنسبة للفلاحين الذين لا يتحملون أعباء العمل أو الأغنياء من ملاك الأراضي، فيقومون باكتراء فلاحين آخرين مقابل قدر مالي متفق عليه. أما المدة الزمنية المخصصة لصيانة وإصلاح التجهيزات الهيدروليكية، فتتغير من دوار لآخر ومن منطقة لأخرى، وتمتد من بضعة أيام إلى عشرات الأيام (الفول والغاشي، 2018).

جدول 65: تشييد وصيانة التجهيزات الهيدروفلاحية بمجال الدراسة

المشروع	الدواوير	فترة المشروع	المسؤول عن المشروع	الشركاء	الإنجاز
تشييد ساقية	تيغفيست	2013-2014	الجماعة	المندوبية الجهوية للفلاحة، الجمعيات	تشييد ساقية بطول 2000 م
تشييد ساقية	أماسين	2013	الجماعة	المندوبية الجهوية للفلاحة، الجمعيات	تشييد ساقية بطول 1000 م
تشييد وصيانة 8 سواقي (الواد)	ايت موسى، ايت ابراهيم، تامكونسي، أمكدول، امزوارن، تاسا، تيغمرت، أفلايان	2014-2016	الجمعيات المحلية	الجماعة، المندوبية الجهوية للفلاحة	تشييد وصيانة سواقي بطول 21647 م
تشييد وصيانة 17 ساقية لجلب الماء من العيون	ماتارت، تيمزيت، اموكزن، تملوليمت، ابارداز، ايت واسنوان، تمغرين، اسفولا، ايت خطاب، ايت جعا، اسيكي، ايت حمودو، ايت بواحي، تاركا نيغيل، ايت توكيمت، ايت ابراهيم، تاسلي	2011-2015	الجمعيات المحلية	الجماعة، المندوبية الجهوية للفلاحة	تشييد وصيانة سواقي بطول 15800 م، كما تم تشيد 17 حوض لتجميع المياه.

المصدر: (DGCL,2010)

تساهم الجمعيات المحلية، بدعم من المبادرة الوطنية للتنمية البشرية ووكالة التنمية الاجتماعية والجماعة المحلية وغيرها، في صيانة وتشييد التجهيزات الهيدروفلاحية بالمجال في إطار النهوض بالقطاع الفلاحي من أجل الرفع من الإنتاجية الفلاحية وتنمية الاقتصاد المحلي، يبين الجدول 65 بعض الأشغال التي قامت بإنجازها في هذا الإطار.

على ضوء ما سبق، يتضح أن الحوض يتميز بشبكة مهمة من السواقي، خصوصا في السنوات الأخيرة، حيث عملت الجمعيات المحلية بتنسيق مع مؤسسات الدولة المتمثلة في المندوبية الإقليمية للفلاحة بأزيلال والجماعات المحلية وغيرها... بتشييد مجموعة من السواقي والتي بلغ مجموع طولها 40447 متر.

II. مظاهر الحق في مياه السقي

1. القوانين والأعراف المنظمة لتوزيع الماء

تشكل الأعراف المحلية القديمة أساس النظام التقليدي للمياه بالمغرب. وهذا النظام لا يقوم على قاعدة موحدة، بل على مجموعة من المبادئ تولدت وسط بيئات متباينة، تماشيا مع عادات وتقاليد كل جماعة. ف" المالكون للماء يتناوبون على استعماله حسب الحصص الزمنية المخصصة لكل واحد منهم وفق ما يملكه في الماء. وكانوا يتفقون على شخص معروف بالاستقامة والنزاهة والصرامة، للإشراف على توزيع الماء على المالكين حسب حصة كل منهم ... " (أيت حمزة، 1987). ويعتبر النظام العرفي للمياه وسيلة للملكية الجماعية أو الملكية الفردية. فإذا كانت وافرة تفوق حاجيات السكان والفلاحة تكون ملكا للجماعة. أما إذا كانت قليلة، فتملك من طرف الأفراد والعائلات. وفي استطاعة ذوي حقوق الملكية التصرف في المياه كما يشاءون، كبيعه أو كراءه مستقلا عن الأرض. وفي الغالب، تكون الحقوق العرفية على الماء شفوية، وإثبات ملكية الماء أو حق استعماله والتصرف فيه، يقع على عاتق الجماعة. " وكانت ملكية الماء أو حق السقي تابعة لملكية الأرض. فكانت تباع وتوهب وتورث تبعا للأرض، كما كان حق الماء يشفع في حالة بيع أحد الشركاء في الماء نصيبه فيه وحده دون الأرض، لاستغنائه عنه (الصباحي، 2011).

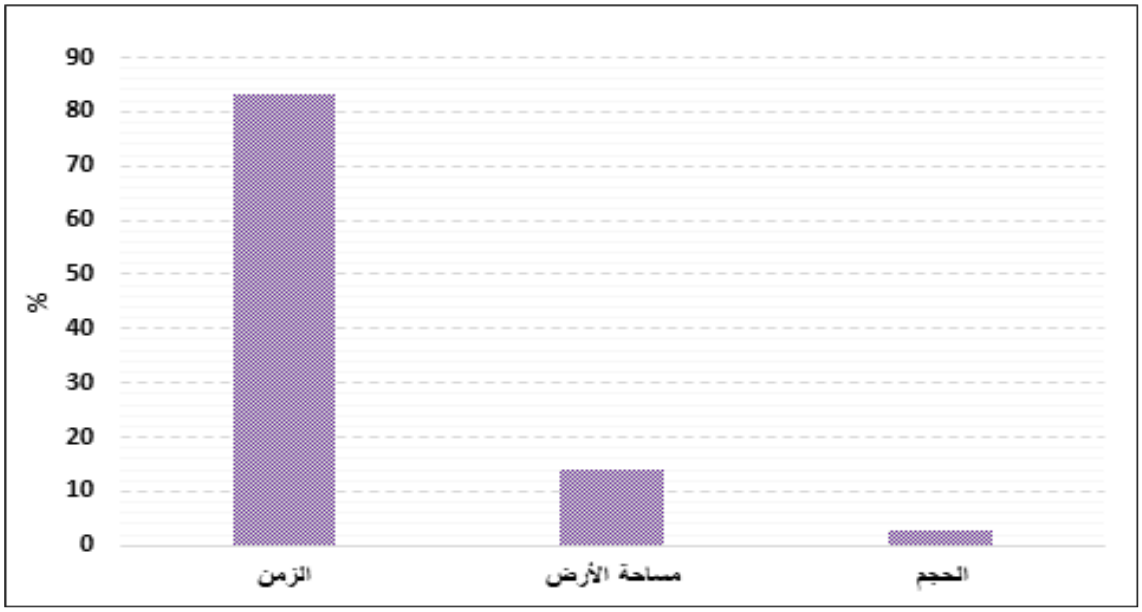
2. المعيار المعتمد لتوزيع مياه السقي:

على العموم، يتم توزيع مياه السقي باعتماد أحد المعايير الثلاث: حجم مياه السقي، مساحة الاستغلالية الفلاحية، زمن أو مدة السقي. نفس المعايير تم اعتمادها بالنسبة للدواوير المتواجدة بمجال الدراسة، غير أن الدراسة الميدانية أوضحت أن 83% من المستجوبين أكدوا اعتمادهم على المعيار الزمني في توزيع مياه السقي بين المستفيدين من هذا الحق.

يمكن أن يتم توزيع المدة الزمنية للسقي داخل كل دورة سقوية حسب طرق ووسائل مختلفة:

- بطريقة تقليدية، يتم إنجاز عملية توزيع الماء من طرف شخص مختص في ذلك من ساكنة الدوار، والذي له دراية في الدورة السقوية وكل الحقوق المتعلقة بالماء، بحيث أن قراراته لا تخضع للنقاش، ويكون متفرغا لهذا النشاط فقط، ويسمى باللغة المحلية "أمازال"، ويتم تنصيبه من طرف الدوار مقابل قدر من المال يكون متفقا عليه مسبقا، أو مقابل عيني من المحصول. يسهر "أمازال" على تقسيم المياه بين ملاك الأراضي والقبائل بالعدل ويراقب السواقي الرئيسية من سرقة المياه.
- في بعض الحالات، هناك علاقة بين المدة الزمنية للسقي وحجم الماء، ويتم ذلك من خلال تثبيت عصا، في قعر "تافراوت"، مدرجة بعلامات تدل على الوقت. لكن الفلاح الأخير في الدورة السقوية لا يستفيد من نفس حجم الماء الأوائل بسبب الأوحال المترسبة في قعر "تافراوت"، فهو يصبح المستفيد الأول في الدورة الموالية.
- وهناك طرق أخرى لحساب وقت الاستفادة، من الماء مثل استعمال ظل عصا مثبتة في الأرض أو صخرة عالية، أو استعمال إناء "تاطاست" من النحاس تحتوي على ثقب صغير جدا توضع فوق الماء ينفد عبره حتى تغمر بالكامل، وهي المدة الزمنية التي يستفيد منها الفلاح ويمكن أن تتكرر العملية عدة مرات حسب مساحة الملكية. غير أن هذه الطرق التقليدية أصبحت متجاوزة ولا نجدها إلا نادرا في بعض المناطق.

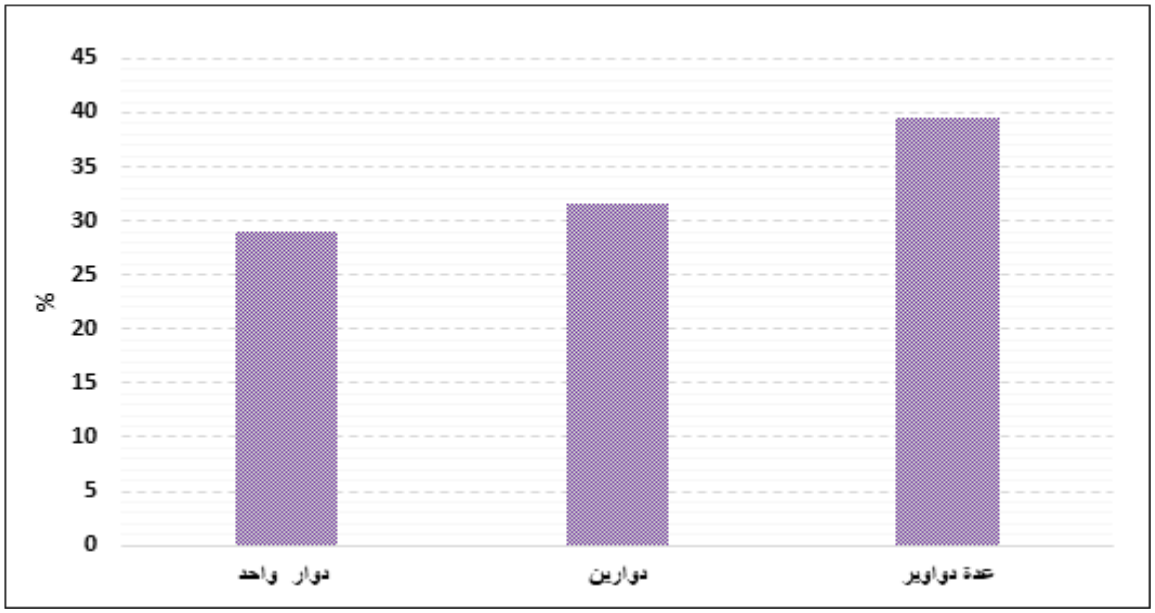
مبيان 158: المعايير المعتمدة في توزيع مياه الدورة السقوية



3. عدد الدواوير المستفيدة من الدورة السقوية

على مستوى كل دوار أو أكثر، يتم تأسيس دورة سقوية أو ما يسمى النوبة، من أجل احترام الحق في الماء لكل مستفيد، حيث يحق لكل مالك قطعة أرضية بالمنطقة أن يستفيد من المياه السطحية في إطار النوبة، وخلالها يستفيد كل فلاح من وقت أو حجم من الماء، يتناسب بشكل ترابطي مع الحجم الزمني النظري على المستوى السنوي، كما يتم الأخذ بعين الاعتبار مساحة الأرض التي بحوزة المستفيد (عمل ميداني، 2019).

مبيان 159: عدد الدواوير المستفيدة من الدورة السقوية (عمل ميداني، 2019)



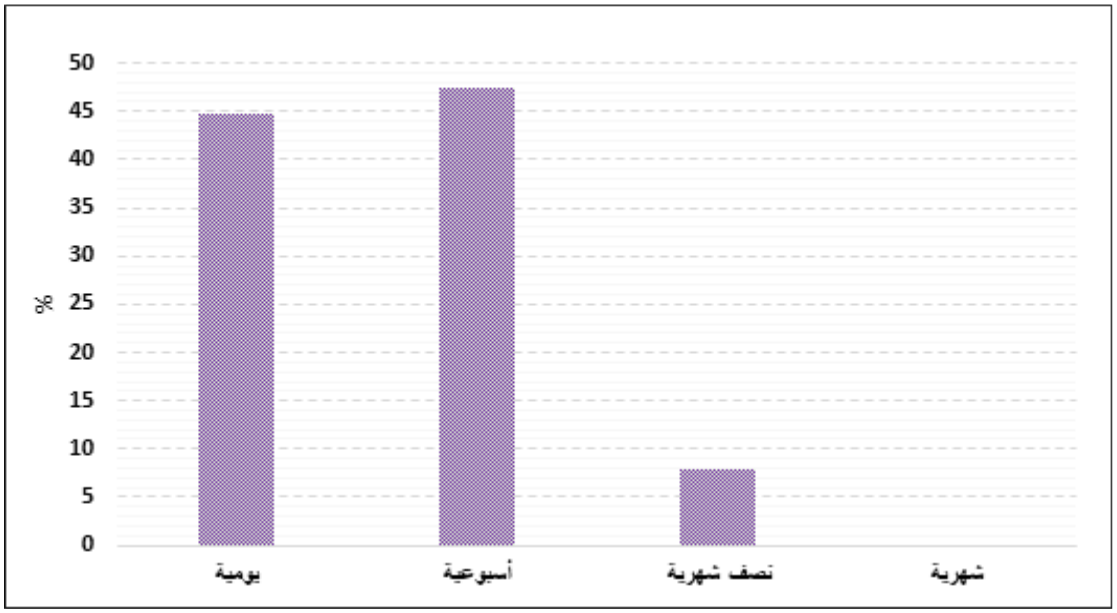
ويجب التمييز بين الدورة السقوية المرتبطة بدوار واحد، والدورة السقوية المرتبطة بالساقية الرئيسية التي تمر على عدة دواوير. تمتاز بعض الدواوير، مثل دوار أيت عفان، بحرية تصرفه بالماء، في هذه الحالة لا نتكلم بشكل صارم على نظام النوبة، فتوزيع الماء يتم حسب معيار محدد متفق عليه مسبقا.

أما في حالة الدورة السقوية المرتبطة بالساقية الرئيسية، التي تمر عبر دوارين أو أكثر، فإن المكلف بعملية توزيع مياه السقي يحرص على توزيع مياه السقي، حسب المعيار المتفق عليه، بشكل يضمن وصول المياه إلى أقصى استغلالية بسافلة أخر دوار مستفيد.

4. نظام الدورة السقوية (النوبة)

تتأرجح "النوبة" في الدورة السقوية بين يوم واحد و15 يوما، وبالنسبة لتافراوت فتتراوح بين 2 و7 أيام (عمل ميداني، 2019). وتتحكم في المدة الفاصلة بين الاستفادة من الحق في الماء عدة عوامل تختلف من منطقة لأخرى. ومن هذه العوامل: وفرة المياه في المجرى المائي أو العيون مصدر تزويد السواقي (الصبيب) وكذا الخصوصيات المناخية والهيدرولوجية للسنة أو الفترة من السنة (جافة أو رطبة)، ثم عدد الدواوير والاستغلاليات المستفيدة من الدورة.

مبيان 160: المدة الزمنية الفاصلة بين كل استفادة من النوبة



يوضح الجدول 66 السواقي الرئيسية بالمجال المدروس ومدة الدورة المائية بالنسبة للدواوير التي تستفيد منها.

وبالتالي، تتغير الدورة السقوية من فصل لآخر ومن سنة لأخرى، فكلما قلت الموارد المائية كلما تم التمديد في الفترة الزمنية للدورة المائية. فخلال السنة الجافة يتم تحرير الماء، من تافراوت، مرة واحدة كل 24 ساعة بدل مرتين، وبالتالي فإن الفترة الزمنية للدورة المائية تتضاعف مرتين. أما إذا تم تحرير الماء مرتين في 24 ساعة في نفس السنة الجافة، ففي هذه الحالة يتم اختزال حجم الماء إلى نصف حصة لكل فلاح لكي يستفيد الجميع من الدورة (عمل ميداني، 2019).

جدول 66: الدورة المائية المرتبطة بالسواقي الرئيسية بالحوض المدروس (DPAA, 2014) (عمل ميداني، 2019)

المجال المسقي	النوبة الممنوحة	الجماعة
ايت حميد	7 أيام	ايت أومديس
تشاكوشت	7 أيام	ايت أومديس
ايسكت ايت اومديس	9 أيام	ايت أومديس
ايسكت ايت اومديس	10 أيام	ايت أومديس
أمركوت	12 يوما	أيت تمليل
أمركوت	10 أيام	أيت تمليل
أمركوت	15 يوما	أيت تمليل
أمركوت	8 أيام	أيت تمليل
أريك	10 أيام	أيت تمليل
عالية تساوت	10 أيام	أيت تمليل
تيسالي	10 أيام	أيت تمليل
تيسالي	10 أيام	أيت تمليل
تسلنت	9 أيام	أيت تمليل
افولو	8 أيام	أيت تمليل
فغدات	7 أيام	أيت تمليل
ايت فرين	8 أيام	*ايت حكيم
ايت حكيم	7 أيام	*ايت حكيم
اكوني	9 أيام	*ايت عادل
امشكدال	9 أيام	*ايت عادل

III. كارطوغرافيا التجهيزات الهيدروفلاحية والمجالات المسقية

يتم جلب المياه عبر شبكة من السواقي، والتي تتكون من مجموعة من المنشآت والتجهيزات اللازمة لأجل التمكن من تغطية أكبر مساحة ممكنة من الأراضي القريبة من الموارد المائية. تضمن هذه التجهيزات نقل المياه وتقسيمها وتوزيعها على المجالات المسقية. وكما سبقت الإشارة، فإن الحوض المدروس يتميز بشبكة سقوية مهمة، لهذا كان من اللازم العمل على تحديد وتمثيل هذه التجهيزات حتى تكون عملية الوصف والتحليل واضحة. ونظرا لشساعة الحوض المدروس، والذي تبلغ مساحته 1307 كلم^2، سنعمل على تمثيل السواقي بمقياس كبير حتى يتسنى لنا تحديد موقع وأنواع السواقي بدقة عالية، لذا تم تقسيم المجالات إلى 12 مجالا مسقيا (الفول، 2016). يتطلب تمثيل شبكات السواقي والمجالات الفلاحية عناصر تقنية تتناسب مع المشهد الطبيعي؛ سيتم الاستناد بشكل أساسي على المسح الميداني باستخدام GBS واستخدام صور الأقمار الصناعية Landsat (2020). تحدد الانحدارات المساحات المسقية في حالة السقي الانجدابي (وهي التقنية الأكثر استعمالا)، حيث أن المياه لا ترتفع عكس المنحدرات، حتى بدون معرفة الموقع الدقيق للسواقي، يمكننا معرفة أين تمر أعلى ساقية بواسطة صور الأقمار الصناعية. إن الغاية من جرد وتمثيل التجهيزات الهيدروفلاحية والمجالات المسقية هو تسليط الضوء على أهمية التدخل البشري بالحوض المدروس، والتمهيد في مرحلة آتية لتقييم وتقدير كمية المياه المجلوبة.

المجال المسقي أمزري

يقع المجال المسقي لأمزري بمنابع واد تساوت، والتي تنتمي للجماعة القروية إيمي ن اولاون التابعة لإقليم ورزازات. تتميز المنطقة بشبكة لابأس بها من التجهيزات الهيدروفلاحية لجلب الماء، والتي يمكن أن نجملها كالتالي (عمل ميداني، 2019):

- الساقية الكبيرة التي توفر المياه لدوار تاسكاعوالت وأمزري والتي يبلغ طولها 3000 متر، وتوجد نقطة جلب الماء (أكوك Ouggoug) بعالية تسكاعوالت.
- ساقية متوسطة لجلب المياه من أسيف ن امسكان والتي توفر المياه لتساوت اوفلا.

- ساقية صغيرة لجلب الماء من أسيف ن إدمامن: عزيب ادمامن.
- ساقية اشباكن والتي تجلب الماء من واد تساوت بعالية الدوار.

كما يتوفر المجال على تافراوت بمنطقة تساوت ن اوفلا وأخرى بمنطقة اكودال ن ايشباكن والتي تتغدى من ذوبان الثلوج بقمة جبل تيكنوستي.

المجال المسقي لعالية تساوت وايفولو وتيسالي وتاسلنت

يقع هذا المجال المسقي بعالية الحوض، والتابع للجماعة القروية لأيت تمليل، يتميز هذا المجال بشبكة هيدروغرافية مهمة رغم وعورة التضاريس بالمنطقة ويمكن جرد هذه القنوات والسواقي التي تقوم بتحويل الماء باستعمال الجاذبة الأرضية أيضا كالتالي (عمل ميداني، 2019):

- سواقي صغيرة التي تحول جزءاً من مياه واد تساوت بالقرب من دوار ايت علي ن ايتو.
- الساقية الكبيرة التي تجلب جزءاً من مياه تساوت بسافلة دوار ايت علي ن ايتو.
- الساقية الكبيرة التي تجلب الماء من واد تساوت عالية دوار ايت حمزة.
- الساقية الكبيرة لايت تيسيلي حيث نقطة جلب الماء توجد بعالية امي ن تيسكي.
- ساقية تاغوكت وساقية تاسلنت توفر مياه السقي انطلاقا من أسيف ن تاسلنت.
- ساقيتي أسيف ن تيفتشت و أسيف مكداز توفر مياه السقي على التوالي لدواري تيفتشت ومكداز.

المجال المسقي لفدغات وآراك

المجالان المسقيان لفدغات وآراك ينتميان للجماعة الترابية لأيت تمليل، ويتم جلب الماء انطلاقا من أسيف ن أماسين وفدغات، هذا الأخير يعتبر من الروافد المهمة لواد تساوت الذي يتميز بجريان دائم وتزيد أهميته في السنوات التي تعرف تساقطات ثلجية، ويتم توزيع السواقي بالمجالات المسقية على الشكل التالي (عمل ميداني، 2019):

- الساقية الكبيرة لأسيف ن تيزي ن فدغات، وتقع نقطة جلب الماء بعالية دوار تاغروت، هذه الساقية توفر مياه السقي لدوار تاغروت وتوفغين، وتبلغ المساحة المسقية بهذا المجال أكثر من 100 هكتار.
- الساقية الكبيرة لأسيف ن تيغفيست بعالية واد فدغات الذي يوفر مياه السقي لدوار تيغفيست، وتبلغ المساحة المسقية بهذا المجال 90 هكتار.
- ساقيتا أسيف ن أماسين توفر مياه السقي لدوار اماسين وتيزي ن ايت عطو وايمي ن ازايم.
- ساقية صغيرة بعالية دوار اكوردان تحول مياه السقي انطلاقا من منبع مائي.
- سواقي متوسطة تحول جزء من مياه تساوت بسافلة دوار تاكلاست وايركت.

المجال المسقي لايت حميد وايبورودين

يقع المجالان المسقيان لأيت حميد وايبورودين بالضفة اليسرى لواد تساوت، بالجماعة الترابة ايت اومديس، يأتي جزء من المياه الموجه لسقي المشارات الفلاحية انطلاقا من رافدين مهمين هما أسيف ن ايت حميد وأسيف ن ايبورودين، ويتميز المجالان بشبكة مهمة من السواقي وبالتالي مجالات فلاحية مهمة، ويتم توزيع هذه السواقي كالتالي (عمل ميداني، 2019):

- ساقيتان لتحويل مياه السقي انطلاقا من أسيف ايبورودين توفران المياه لدوار ايبورودين وتالنت.
- ساقيتان كبيرتان بأسيف ن تاركا بالضفة اليمنى واليسرى، توفران مياه السقي للمجالات المسقية لتاركا زكزات.
- ساقيتان صغيرتان انطلاقا من اسيف تاونزارفت تحولان جزءاً من المياه لدوار تاونزارفت وتاركا زكزات بالضفة اليسرى.
- الساقية الكبيرة لأسيف ايت حميد حيث نقطة جلب الماء توجد بسافلة ايبرداز توفر مياه السقي لدوار ايت موسى وايسفولا ووايمزوارن وتيزرت.
- ساقية صغيرة انطلاقا من واد تساوت، توفر المياه لدوار اسفولا، وبالنسبة للدوار بضفة الواد بسافلة تيزرت فإن تزويده بمياه السقي يتم انطلاقا من ساقية كبيرة في اتجاه دوار تيزي وتيغمرت وامكدول.
- ساقية صغيرة تحول جزءاً من مياه أسيف ن ايت خطاب، في اتجاه دوار ايت خطاب.

- ساقية متوسطة انطلاقا من أسيف ن تيلغزي توفر المياه لدوار تيلغزي و ايمزيلن.
- ساقية كبيرة بعالية أسيف ايت حميد حيث نقطة جلب الماء توجد بعالية ايمشكيون، وتحول هذه الساقية المياه نحو دوار امشكيون وتيسيلي وتيبورودين وايت تيكما وايت ابراهيم وتيملولينت وتامدلو

المجال المسقي لتشاكوشت وايسكت ايت اومديس

يقع المجال المسقي لتشاكوشت وايسكت ايت اومديس داخل تراب الجماعة القروية لأيت اومديس، ويتميز المجال المسقي لتشاكوشت بتجهيز هيدروفلاحي مهم، يتشكل أساسا من سواقي كبيرة أو رئيسية تتفرع إلى سواقي ثانوية لتوزيع الماء على المشارات الفلاحية. وتتوزع السواقي على الشكل التالي (عمل ميداني، 2019):

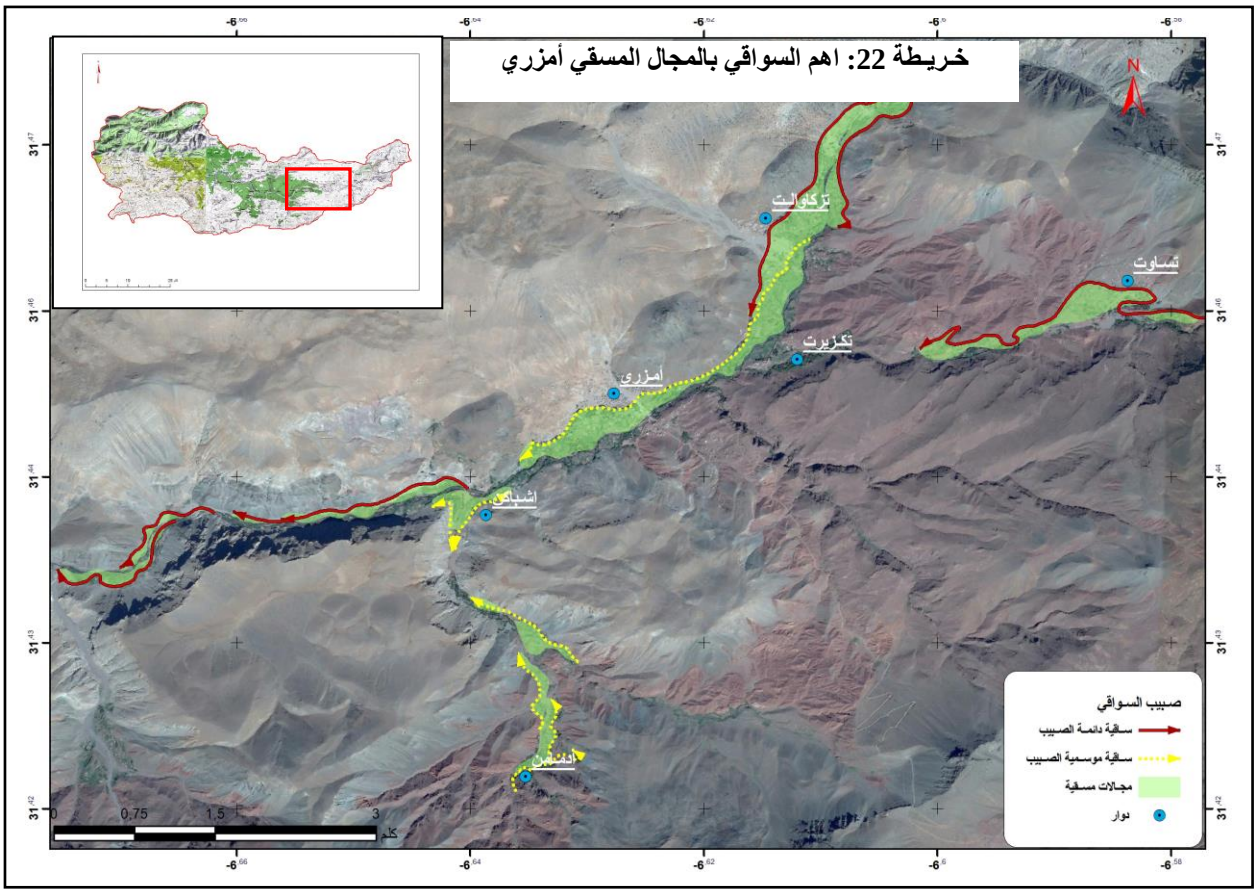
- الساقية الكبيرة لتيغمرت، تقع نقطة جلب الماء بعاليته، وتوفر هذه الساقية المياه لدوار تيغمرت وأمكدورن.
- الساقية الكبيرة لأسيف تيلغزي، توفر المياه للمجالات المسقية لدوار امكدورن وتكداولت وتمكونسي.
- الساقية الكبيرة لإيكرامان، تُحَول جزء من مياه واد تساوت، في اتجاه المجالات المسقية بالضفة اليمنى لواد تساوت.
- سواقي صغيرة على طول أسيف ايت صالح توفر المياه لدوار ايت حدو وتكريانت وايت لحسن.

المجال المسقي لأوروس وسيدي بوعلي

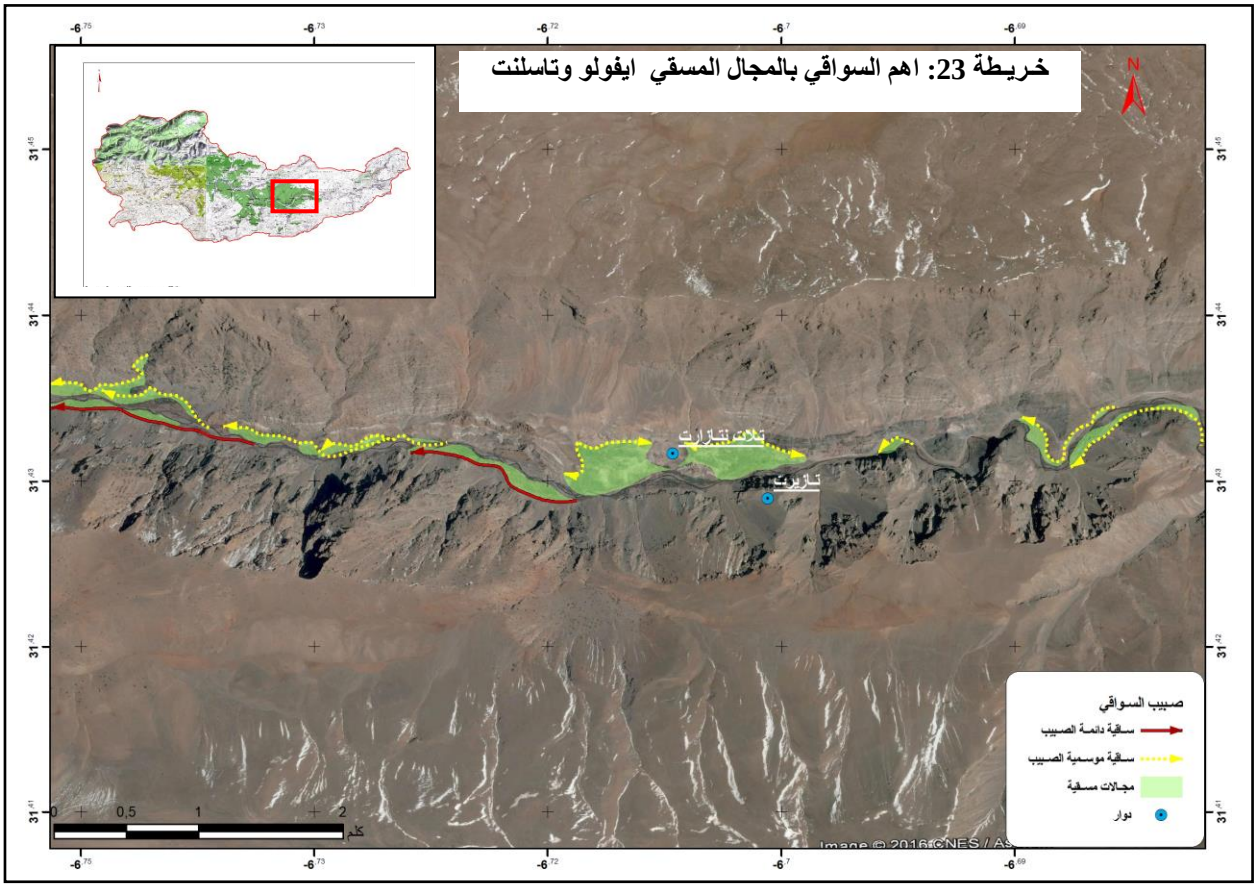
بسافلة الحوض يقع المجالان المسقيان لأوروس وسيدي بوعلي اللذان ينتميان، على التوالي، للجماعتين القرويتين ايت حكيم وايت عادل، وتقدر المساحة المسقية لمنطقة اوروس ب 350 هكتار، يقطعها أسيف اوروس الذي يعتبر رافدا مهما، دائم الجريان، بالضفة اليسري لواد تساوت. أما المجال المسقي بسافلة سيدي بوعلي فتقدر مساحته ب 130 هكتار، ويتميز هذا الواد بجريان دائم.

ويعرف هذان المجالان أنشطة فلاحية مهمة على طول السنة، نظرا لوفرة الماء طول السنة، ويتميز بشبكة هيدروفلاحية مهمة نفصلها كما يلي (عمل ميداني، 2019):

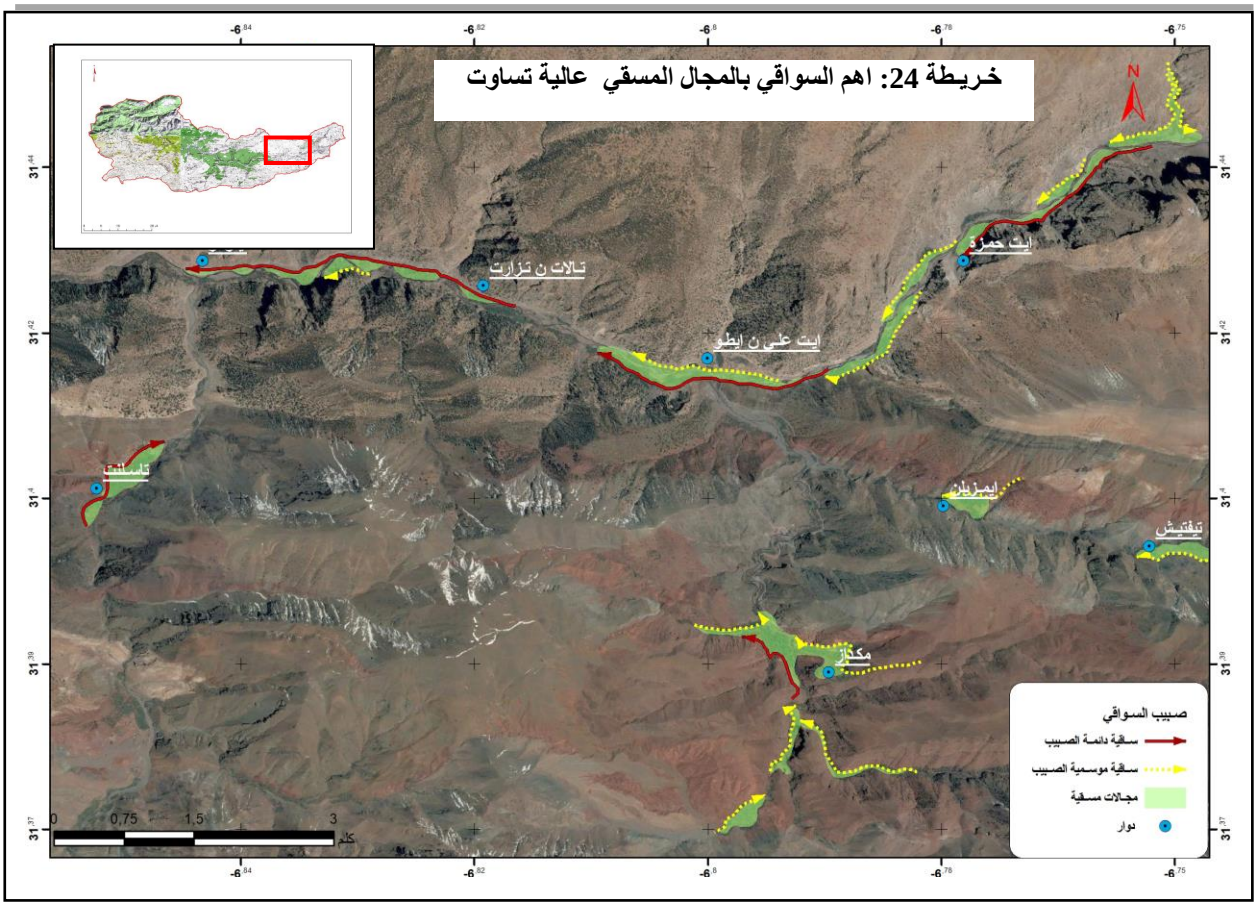
- الساقية الكبيرة بالضفة اليمنى لأسيف اوروس توفر الماء السقي لدوار ايسلي وتيزي وأزيلال، وتقع نقطة جلب الماء بعالية دوار ايسلي.
- الساقية الكبيرة بالضفة اليسرى لأسيف اوروس، حيث نقطة جلب الماء توجد بعالية دوار ايت طالب في اتجاه دوار ايت طالب وايزمروان تانت فريك.
- الساقية الكبيرة بالضفة اليمنى لأسيف سيدي بوعلي توفر مياه السقي لدوار امشكدال.
- الساقية الكبيرة بالضفة اليسرى لأسيف سيدي بوعلي، في اتجاه المجال المسقي بسافلة دواري اكوني وايكا.

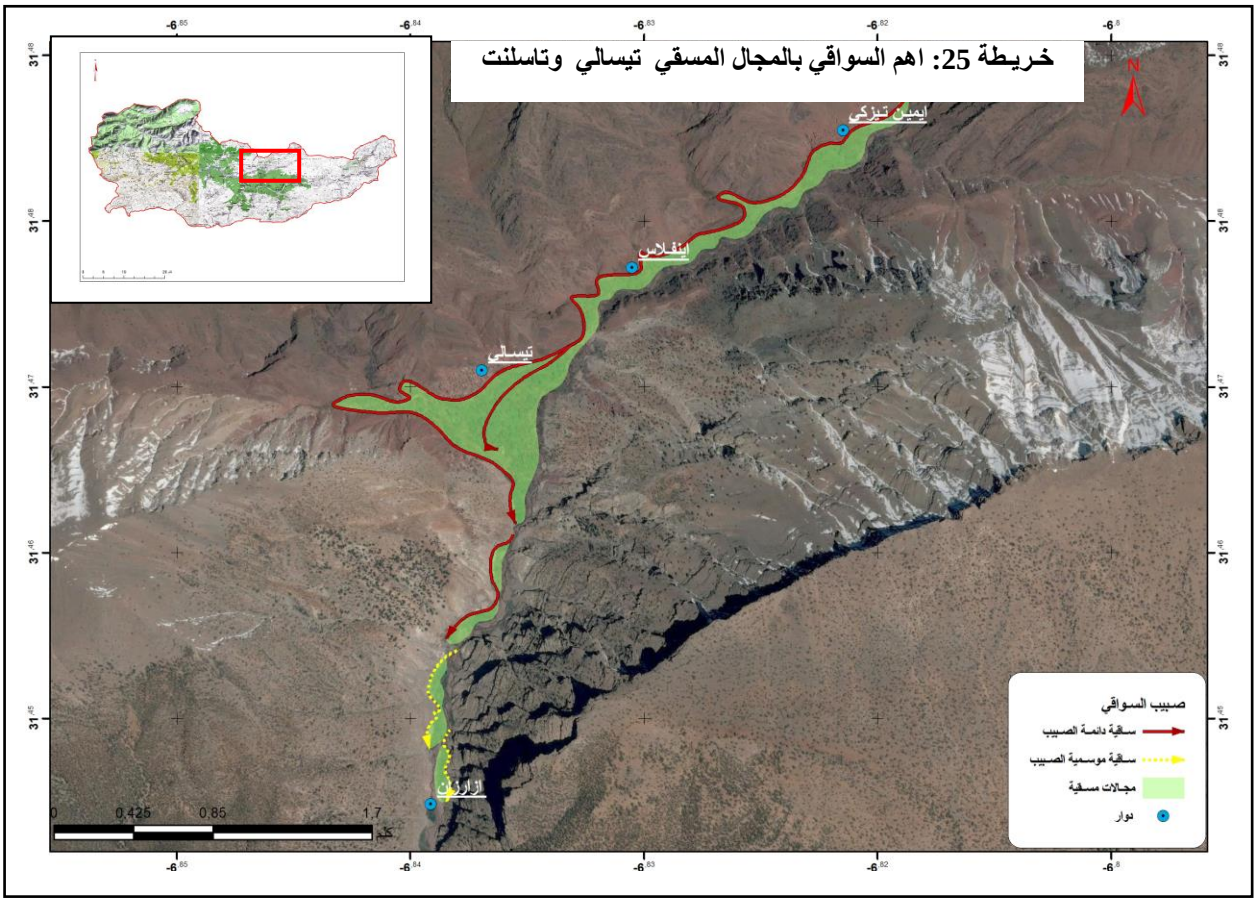


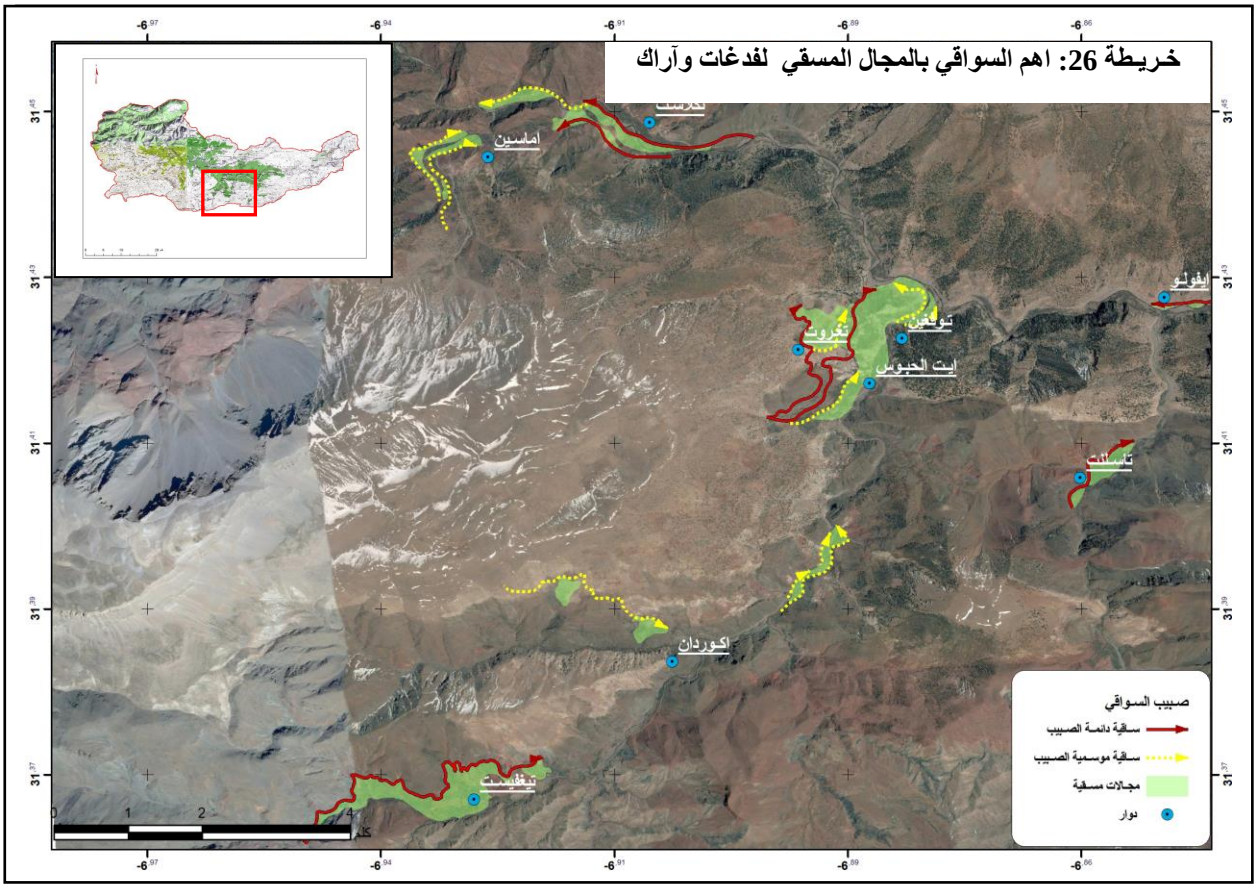
خريطة 22: اهم السواقي بالمجال المسقي أمزري



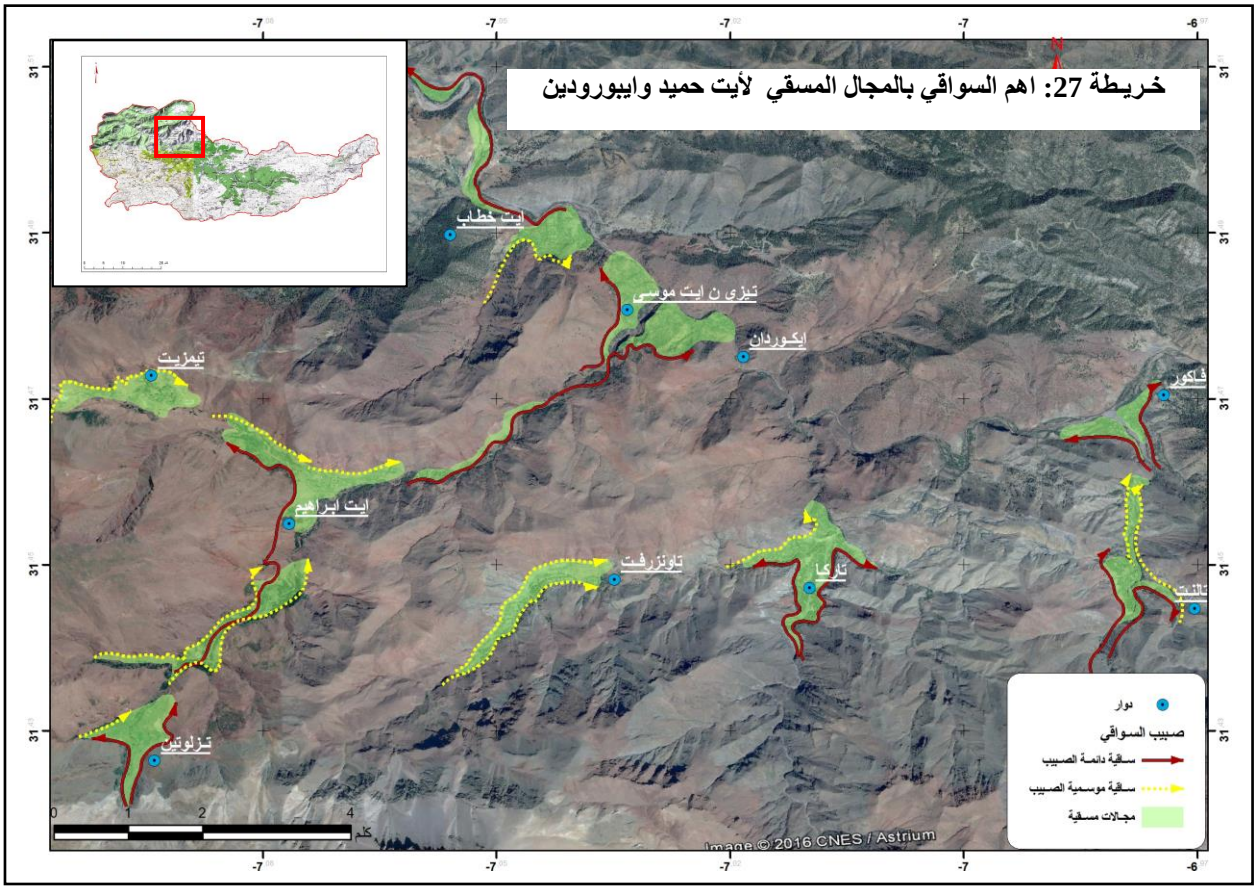
خريطة 23: اهم السواقي بالمجال المسقي ايفولو وتاسلنت


خريطة 24: اهم السواقي بالمجال المسقي عالية تساوت
N
تالات ن تزارت
ايت حمزة
ايت علي ن ايطو
تاسلنت
ايمزيلان
تيفتيش
مكناز
صبيب السواقي
سقية دائمة الصبيب
سقية موسمية الصبيب
مجالات مسقية
دوار
0 0,75 1,5 3 كلم

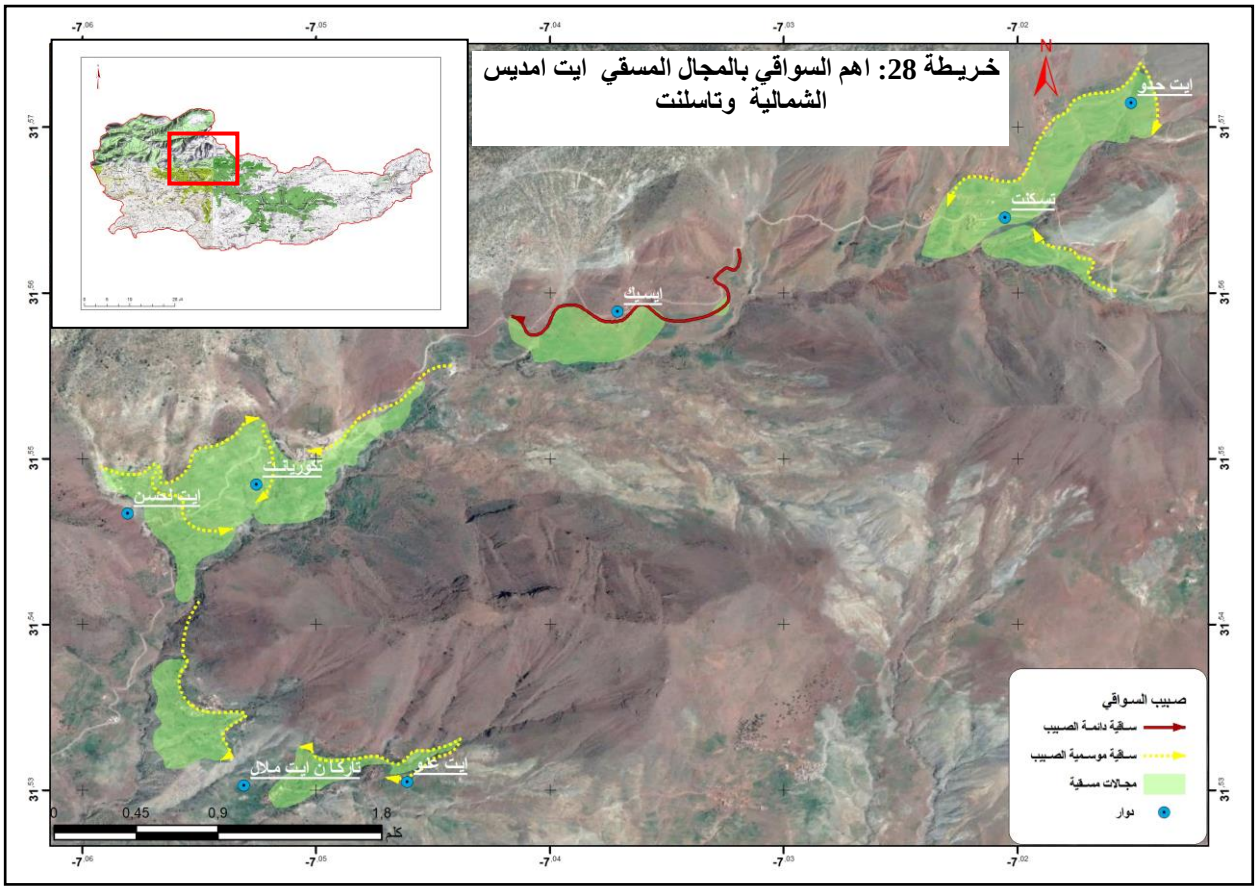

خريطة 25: اهم السواقي بالمجال المسقي تيسالي وتاسلنت
N
ايميل تيزكي
إنفلاس
تيسالي
ازارزان
صبيب السواقي
سقية دائمة الصبيب
سقية موسمية الصبيب
مجالات مسقية
دوار
0 0,425 0,85 1,7 كلم

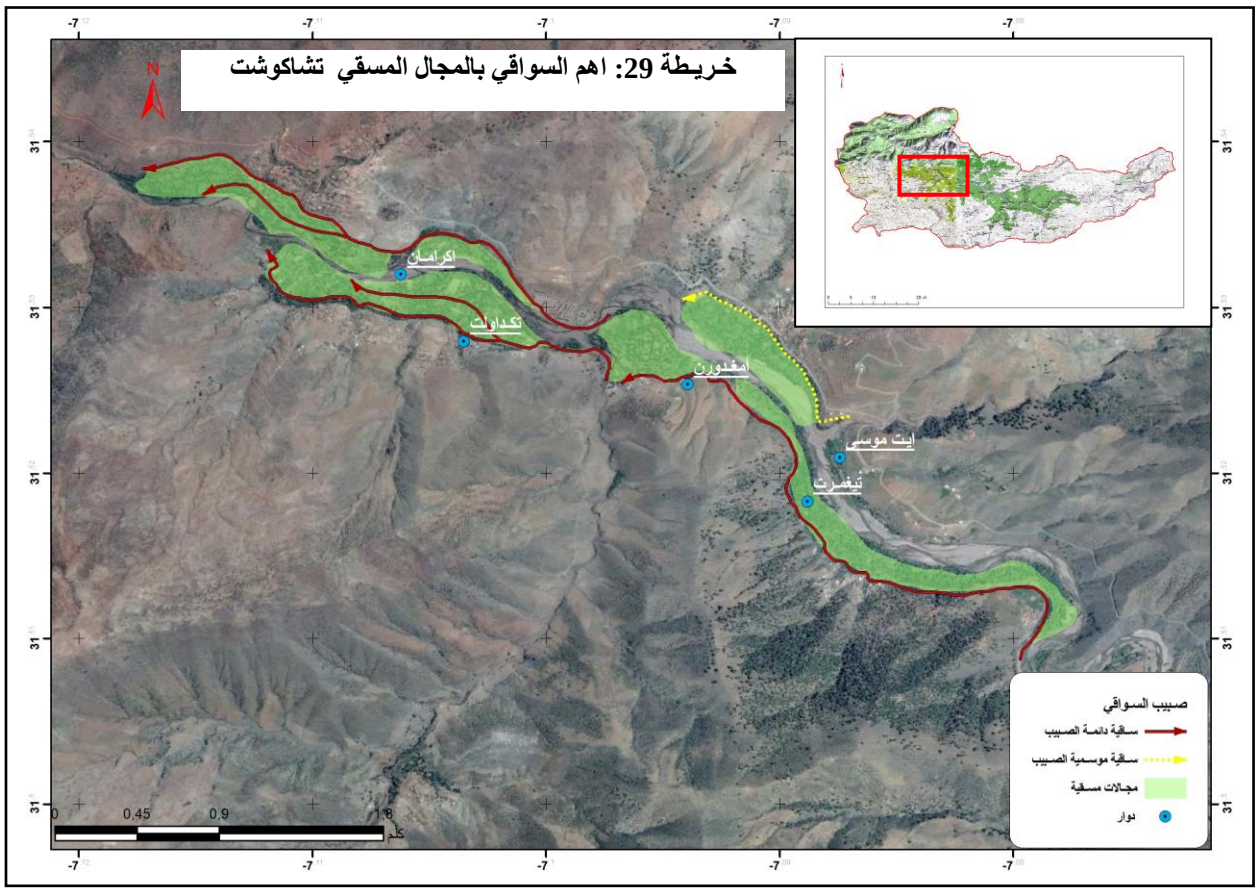


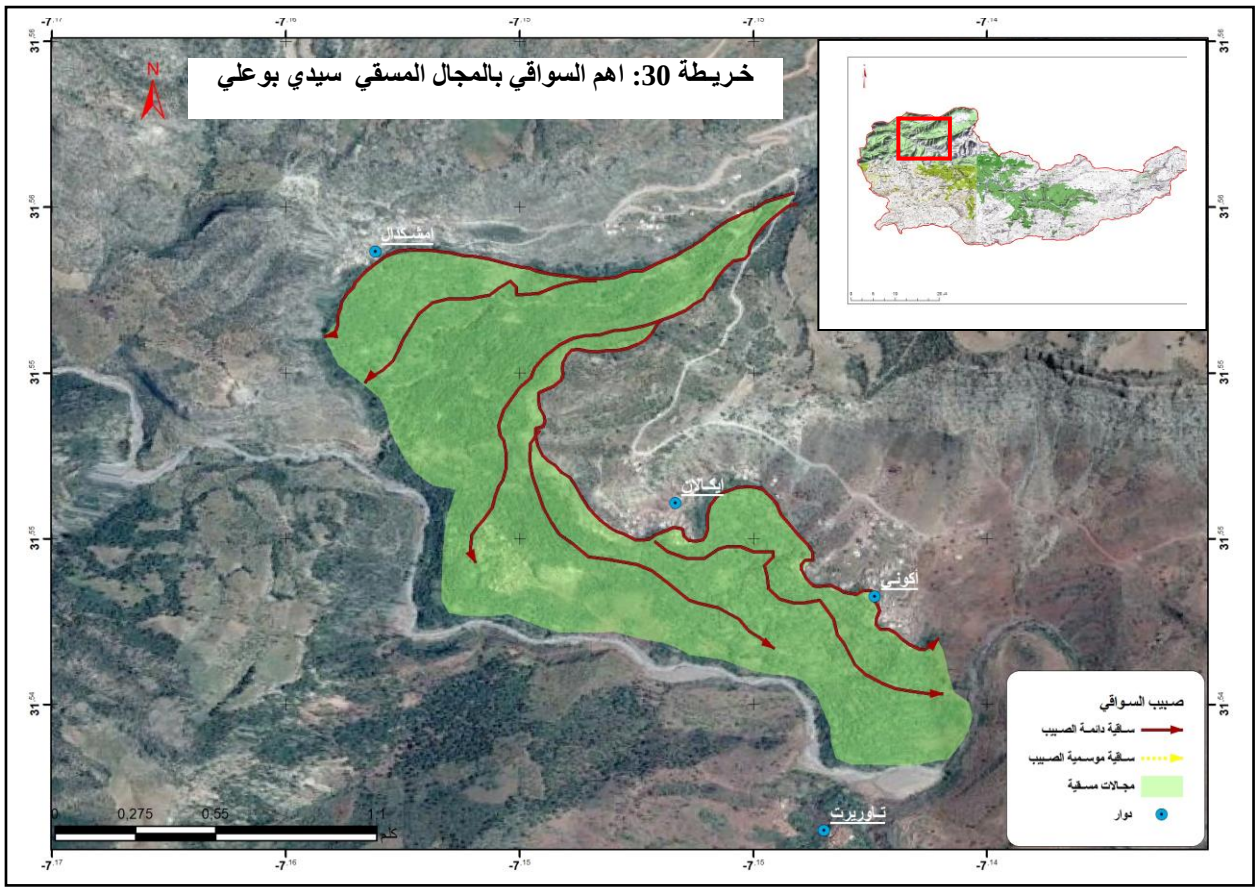
خريطة 26: اهم السواقي بالمجال المسقي لفدغات وآراك



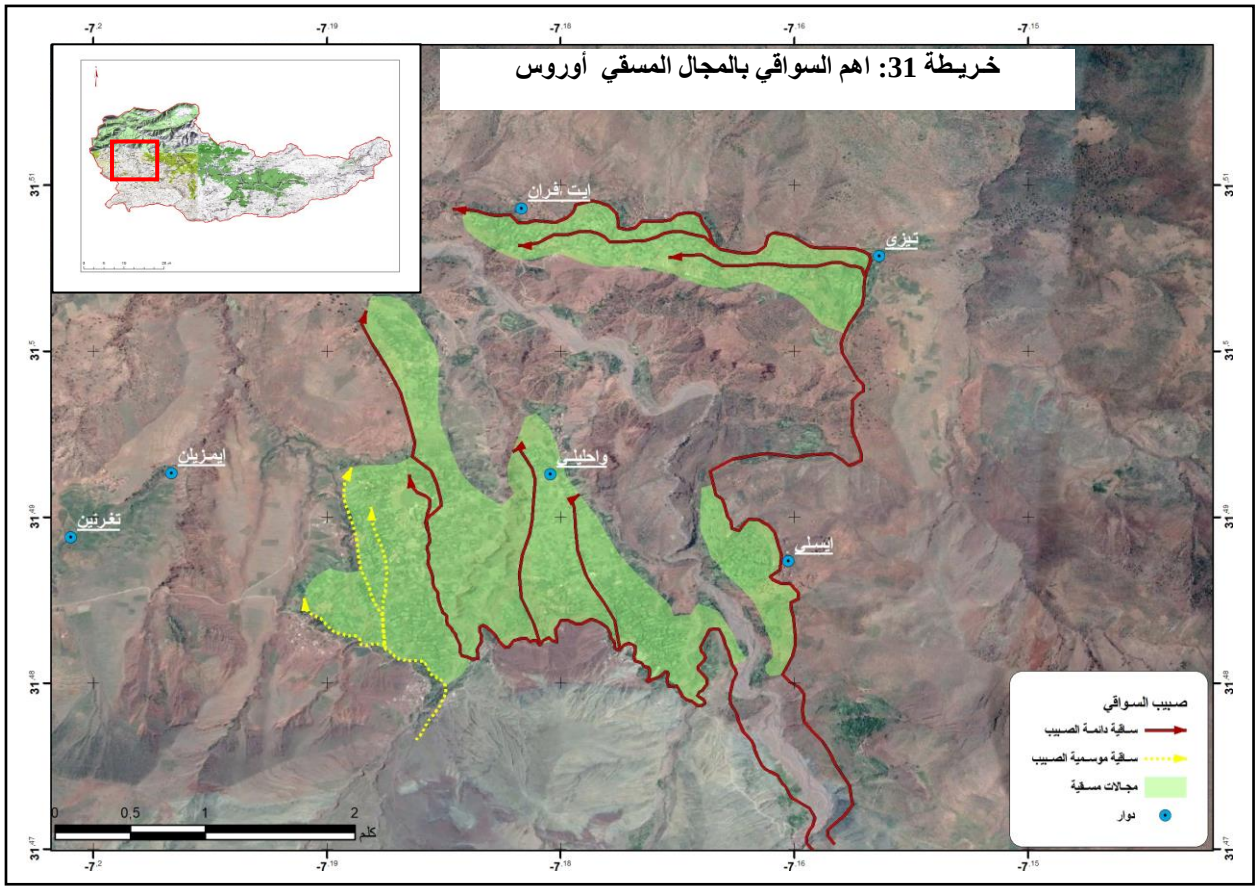
خريطة 27: اهم السواقي بالمجال المسقي لأيت حميد وايبورودين


خريطة 28: اهم السواقي بالمجال المسقي ايت امديس الشمالية وتاسلنت
N
ايت حدو
تاسكلت
ايسبك
تكوريلت
ايت لحسن
تاركان ايت ملال
ايت تغلو
0 0.45 0.9 1.8
كلم
صبيب السواقي
ساقية دائمة الصبيب
ساقية موسمية الصبيب
مجالات مسقية
دوار


خريطة 29: اهم السواقي بالمجال المسقي تشاكوشت
N
اكرامان
تكداوات
امغدورن
ايت موسى
تيغسرت
0 0.45 0.9 1.8
كلم
صبيب السواقي
ساقية دائمة الصبيب
ساقية موسمية الصبيب
مجالات مسقية
دوار



خريطة 30: اهم السواقي بالمجال المسقي سيدي بوعلي



خريطة 31: اهم السواقي بالمجال المسقي أوروس

تركزت أغلب الأراضي الفلاحية المسقية، بالمجال المدروس، على طول ضفاف الأودية، وارتبط وجودها بتوزيع شبكة من السواقي، وقد تم تصنيفها، حسب الأهمية، إلى صنفين؛ سواقي كبيرة يبلغ طولها 78 كلم، وسواقي صغيرة يبلغ طولها 108 كلم.

يتم من خلال هذه السواقي، التي يبلغ مجموع طولها 186 كلم، توزيع المياه على الأراضي الفلاحية المسقية والتي يبلغ مجموع مساحتها 4649 هكتار (AHT GROUP AG - RESING, 2016)، ويبقى الهدف الأساسي من هذا الجرد هو تقدير كميات المياه المجلوبة، من أجل معرفة التأثير البشري على الاشتغال الهيدرولوجي للحوض المدروس.

تتم عملية جلب الماء، لسقي الأراضي الفلاحية، إما عن طريق وسيط يتم من خلاله تجميع المياه أو ما يصطلح عليه "تافراوت"، كما سبقت الإشارة إلى ذلك، أو بطريقة مباشرة، عن طرق ربط السواقي بالأراضي الفلاحية مباشرة، وبطبيعة الحال تحت إشراف شخص مختص، يسهر على عملية توزيع الماء ويدعى "أمازال".

تقع السواقي دائمة الصبيب في عالية المجالات المسقية المتوسطة والكبيرة المساحة، نظرا لتعدد الملكيات وتباعد الفترة الزمنية الفاصلة بين كل نوبة لنفس الفلاح. أما السواقي التي تحول المياه في اتجاه الملكيات القليلة فغالبا ما تكون موسمية الصبيب، لأن الملاكين يحققون الاكتفاء في الكميات المائية، وبالتالي يحددون فترات تتوقف فيها السواقي عن التوصيل لتجنب الري المفرط.

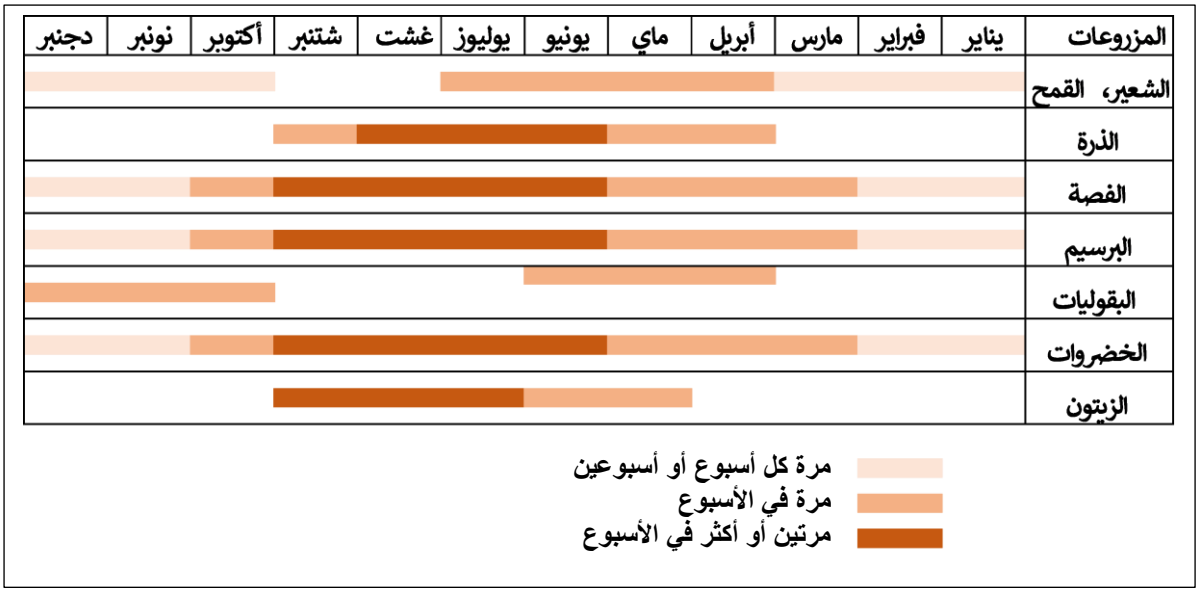
IV. تقدير كميات المياه المجلوبة

إن تقدير هذه الكميات المائية تبقى عملية صعبة للغاية، نظرا لشساعة منطقة الدراسة، وعدم حصر جميع السواقي بالمجال هذا بالإضافة إلى اختلاف الحاجات النظرية للماء بالنسبة للمزروعات وعدم اتباع تناوب زراعي موحد بين جميع الفلاحين . كما أن نظام السواقي يتميز بالتعقيد، حيث أن صبيبها يختلف بين السنوات الجافة والرطبة، بالإضافة إلى ذلك فهناك سواقٍ تتميز بجريان دائم على طول السنة، وأخرى غير دائمة. حيث أن نسبة مهمة من السواقي تتوقف عن توصيل المياه، وذلك لتفادي التأثيرات السلبية للري الزائد خلال فترات التساقطات المطرية أو لتعرض هذه السواقي للتلف خلال الفترات التي يرتفع فيها منسوب المياه (الإمتطاحات) أو بعد جفاف بعض الروافد الصغيرة. لهذا سنعمل في هذه المرحلة على تقدير كميات المياه الموجهة للسقي على الخصوص، لأنه النشاط الأكثر استهلاكا للماء بهذا المجال الجبلي، ولكي تكون النتائج أقرب إلى الواقع قمنا بزيارات ميدانية واعتمدنا على عدد من الاستمارات التي تم توزيعها على الفلاحين، كما استعنا ببعض بالمعلومات التي استقيناها من المندوبية الإقليمية للفلاحة.

1. نظام سقي المزروعات

إن عدم انتظام التساقطات المطرية لا يسمح بإعطاء فكرة عن كميات المياه التي تتطلبها أنواع المزروعات بدلالة الزمن أو المساحة. كما أن صبيب السواقي دائمة التغير حسب السنوات الجافة والرطبة ومن فصل لآخر، غير أنه يمكن إعطاء تقويم عام لفترات السقي حسب نوع المزروعات والتي تم الحصول عليه من خلال البحث الميداني الذي قمنا به (مبيان 161):

مبيان 161: نظام السقي لبعض المزروعات الفلاحية بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) (عمل ميداني، 2015)



لقد حاولنا، من خلال ما سبق إعطاء نظرة عامة عن السقي بالمجال المدروس، غير أن نظام السقي بالحوض المدروس يتغير من دوار لآخر ومن فلاح لآخر داخل نفس الدوار، وذلك تبعا لتوفر الماء وحاجياته وأهدافه. تُستغل المشارات الفلاحية التي توجد بالقرب من الساقية الرئيسية أو من تافراوت لزراعة ما هو مهم من وجهة نظر الفلاح أو مالك الأرض. ويمكن أن تفصل بين "نوبتين" متتاليتين من يوم واحد إلى 15 يوما بالنسبة لنفس الساقية، والفلاح يمكن أن يقوم ببعض الترتيبات بشكل ودي، بهدف تركيز ومضاعفة حصته.

2. تقدير الكميات المائية الموجهة لسقي المجالات الفلاحية على المستوى السنوي

ما دامت عملية جلب الماء الموجه للسقي عمليةً غيرَ خاضعةٍ للقياس بشكل مباشر، فيمكن الاستعانة بعدة طرق لتقدير الكميات المائية، ومن أهمها تحديد الاحتياجات النظرية من مياه السقي للمزروعات، ونظرا لعدم توفرنا على المعطيات الدقيقة والمتعلقة بالمساحات التي تشغلها أنواع الزراعات بالمجال المسقي، اعتمدنا العمل الميداني، من خلال قياس صبيب عدد من السواقي المهمة باعتماد طريقة تسمى "استكشاف مجال السرعة" باستخدام معدات أخف بكثير لظروف التدفق المنخفض (القياس باعتماد بكرة دقيقة واعتماد طريقة التعويم)، وأيضًا عداد النبضات وبرامج تحليل البيانات ... تم تسجيل كل قياس في ورقة مناسبة مصحوبة بتعليقات ورسوم بيانية كافية لشرح مكان وتاريخ ووقت القياس وطريقة القياس. كما اتخذنا عدد من المقابلات الشفهية للتعرف على الميكانيزمات التي تتحكم في عمل هذه السواقي، ثم تحديد الدائمة منها والمؤقتة الاشتغال....

حصلنا على بعض المعطيات المتعلقة بصبيب السواقي من المندوبية الإقليمية للفلاحة بأزيلال، التي تخص أهم السواقي المتواجدة على مستوى جماعة أيت تمليل وايت امديس، المنتميتان لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) واللتان تمثلان أكثر من 80 % من مساحة الحوض، بالإضافة إلى العمل الميداني بالمناطق الواقعة خارج الجماعتين المذكورتين والتي لا نتوفر على معلومات بخصوصها حيث عملنا على تحديد مواقعها وقياس صبيبها، ونستعرض من خلال الجدول 67 صبيب بعض السواقي بمجال الدراسة:

جدول 67: صبيب أهم السواقي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)

	المنبع المائي	الجماعة	المجال المسقي	متوسط الصبيب الموسمي ل/ث	متوسط الصبيب الدائم ل/ث
الحوض الفرعي لواد أيت تمليل	واد	امين اولاون	امزري*		80
	واد	امين اولاون	امزري*	40	
	عين	أيت تمليل	عالية تساوت	100	
	واد	أيت تمليل	تاسلنت*	30	
	واد	أيت تمليل	ايت حمزة*	30	
	واد	أيت تمليل	تيسالي	40	
	عين	أيت تمليل	تاسلنت		50
	عين	أيت تمليل	ايفولو	80	
	واد	أيت تمليل	فدغات		80
	عين	أيت تمليل	فدغات		40
الحوض الفرعي لواد تسمساط	واد	أيت تمليل	اماركوت	40	
	واد	أيت تمليل	توفغين*		60
	واد	أيت تمليل	اراك	70	
	عين	أيت تمليل	اراك	30	
	واد	ايت اومديس	ايت احميد		180
	عين	ايت اومديس	ايت احميد		50
	واد	ايت اومديس	تشاكوشت	120	
	واد	ايت اومديس	تشاكوشت	80	
	واد	ايت اومديس	ايت موسى*	50	
	واد	ايت اومديس	تاسا*	60	
	واد	ايت اومديس	ايت خطاب*		80
	واد	ايت اومديس	ايت ملال*	40	
	واد	ايت اومديس	تكوريانت*	40	
	واد	ايت اومديس	ايت لحسن*		40
	واد	ايت اومديس	ايسكت ايت	30	
	عين	ايت اومديس	ايسكت ايت		30
	واد	ايت عادل	سيدي بوعلي*		80
	واد	ايت عادل	سيدي بوعلي*		100
	واد	ايت حكيم	أوروس*		120
	واد	ايت حكيم	أوروس*		80

المصدر: (DPAA, 2014) (* عمل ميداني، 2015)

صورة 17: قياس صبيب الساقية باعتماد البكرة الدقيقة (عمل ميداني، 2019)

تتميز بعض السواقي بصبيب مهم ودائم على طول السنة، ويتعلق الأمر بالساقية الكبيرة لأيت حميد وأمزري وفدغات وسيدي بو علي وأوروس.... ويصل مجموع صبيبها إلى 1070 ل/ث، ويمكن القول أن هذه الكمية من المياه المجلوبة هي كمية مهمة خصوصا خلال فترات ندرة التساقطات المطرية التي تتزامن، بطبيعة الحال، مع فترة الشح المائي. أما فيما يخص السواقي الموسمية، فمن خلال البحث الميداني الذي قمنا به وعدد من الاستمارات المنجزة في هذا الشأن، فإن هذه السواقي المشيدة بالتراب تتعرض للتلف بفعل الإمتطاحات، لهذا ففي الفترة الممتدة بين دجنبر ومارس، تتوقف عن أداء وظيفتها لحين تجديدها وترميمها من جديد. الجدول 68 يلخص حجم المياه المجلوبة على المستوى السنوي:

جدول 68: تقدير حجم المياه الجلوبة على المستوى السنوي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف).

نوع السواقي	الصبيب ب ل/ث	حجم المياه الجلوبة ب م^3/السنة	المجموع ب م^3/السنة
السواقي الدائمة	1070	33743520	52371360
السواقي الموسمية	880	18627840	

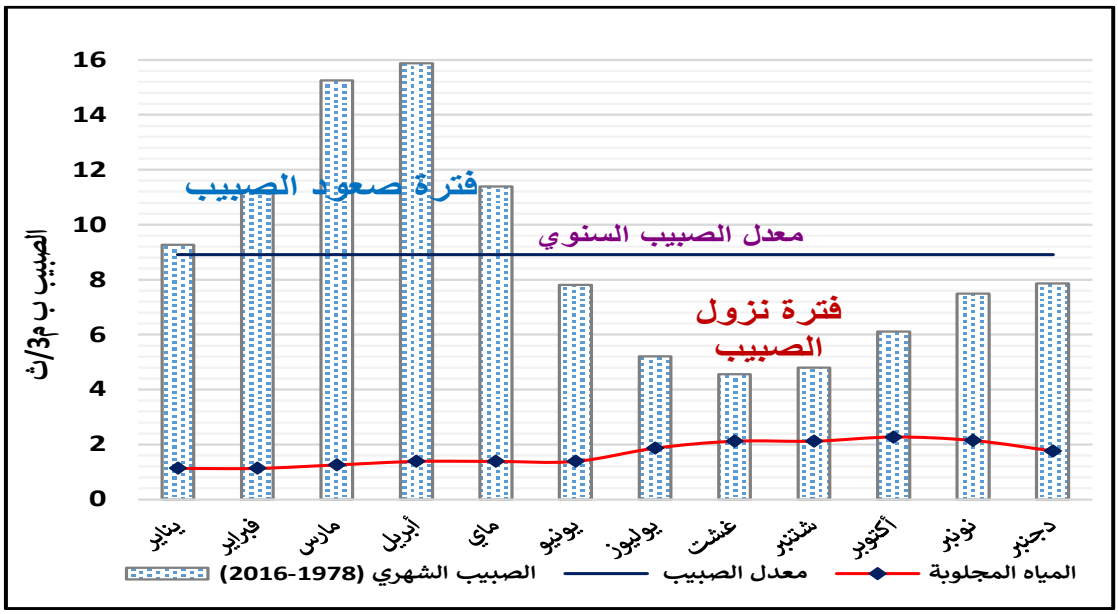
المصدر: (DPAA, 2014) (* عمل ميداني، 2015)

إن تقييم حجم المياه المجلوبة بالحوض المدروس يعطينا فكرة أولية عن كمية المياه الموجهة للسقي بالأساس، مما سيكون له وقع على الموارد المائية خلال فترات الشح المائي، كما لا ننسى تأثيره على نسبة ملء سد مولاي يوسف الذي يقع بسافلة الحوض (أشهبون وأخرون 2020)، مع العلم أن الطاقة الاستيعابية للسد لا تتجاوز 150 مليون و83 ألف متر مكعب، وإذا اعتبرنا أن معدل الصبيب لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) عند محطة تمسماط 9 م^3/ث خلال الفترة الممتدة بين 1978-2016، أي ما يعادل 283,8 مليون متر مكعب كمعدل سنوي، فإن كمية المياه المجلوبة تبلغ 52,4 مليون متر مكعب، أي ما يعادل 18% من معدل الموارد المائية السنوي المتاحة. إلا أن هذه النسبة تتضاعف خلال فترت الشح المائي بفعل الضغط المتزايد على الموارد المائية، والزيادة في الكميات المائية المجلوبة، في مقابل الانخفاض في معدل الصبيب للمجرى المائي.

3. تقدير الكميات المائية الموجهة لسقي المجالات الفلاحية على المستوى الشهري

تختلف كميات المياه المجلوبة حسب السنوات الجافة أو الرطبة، ومن فصل لآخر. حيث أن العوامل المناخية تؤثر بشكل مباشر في كميات المياه المجلوبة. وبالتالي، فإن قلة التساقطات المطرية في السنوات أو الفصول الجافة يدفع الفلاحين إلى مضاعفة الكميات المائية المجلوبة، مما يؤدي إلى الزيادة في الضغط على الموارد المائية.

مبيان 162: تقدير معدل الصبيب الشهري للمياه المجلوبة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (عمل ميداني، 2019)



وقد أظهرت دراسة الحصيلة الهيدرولوجية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) أن كميات المياه المجلوبة تتضاعف خلال الفترة الممتدة بين شهري يوليوز ونونبر (El Foul et El Ghachi, 2018). ويظهر المبيان 162 صبيب المياه المجلوبة خلال أشهر السنة في علاقتها بصبيب المجرى المائي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) على مستوى محطة تمسماط.

تحقق المحاصيل الزراعية، خلال الفصول الشتوية، اكتفاءً نسبيا في الحاجيات المائية من خلال التساقطات المطرية ورطوبة التربة (حالة المخزون)، وبالتالي فإن صبيب المياه المجلوبة يكون ضعيفا مقارنة بالصبيب الشهري للمجرى المائي خلال هذه الفترة. تتراوح نسبة المياه المجلوبة مقارنة بالصبيب الشهري بين 8% و 12% على مدى الفترة الممتدة بين شهري يناير وماي (شاكر وآخرون، 2020).

تزداد الحاجيات المائية للمحاصيل الزراعية خلال الفترة الصيفية، بفعل قلة أو غياب التساقطات المطرية وارتفاع كميات التبخر-النتح وجفاف التربة من المخزون المائي. تبلغ نسبة صبيب المياه المجلوبة بين 18% و 46% خلال الفترة الممتدة بين شهري يونيو ونونبر (شاكر وآخرون، 2020).

خلاصة

يتميز حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) بدينامية مهمة فيما يتعلق بالأنشطة الفلاحية، ورغم وعورة التضاريس، فقد سعت الساكنة مند القدم لحل مشكل الماء عن طريق شق مجموعة من السواقي التقليدية، وتطلب ذلك بدل قسط مهم من العمل الشاق والمستدام، وهكذا أنشأت القبائل شبكة من السواقي الترابية سواء على الواد أو على أحد روافده، ناتجة عن مسلسل طويل من التطور، ومن استثمار مجهودات مهمة من العمل اليدوي الذي تراكم خلال عدة عقود من الزمن. وقد بدلت الدولة، ممثلة في المندوبية الإقليمية للفلاحة والجماعات المحلية...، في السنوات الأخيرة، مجهودا كبيرا في تهيئة هذه المجالات في المناطق النائية، عن طريق صيانة التجهيزات الهيدروفلاجية، وتشييد بعضها بالإسمنت المسلح، وقد ساهمت السواقي بشكل كبير في الاستقرار البشري بالمنطقة مند القدم، وقد توارثت ساكنة هذه المنطقة قوانين عرفية صارمة لتدبير وتنظيم هذه الثروة النادرة. ويمكن إجمال النتائج التي تم التوصل إليها فيما يلي:

- تقع أغلب المجالات الفلاحية في بطون الأودية مجاورة للمجاري المائية، ويظهر ذلك من خلال كرطوغرافيا المجالات المسقية والتجهيزات الهيدروفلاحية التي قمنا بها؛
- يبلغ مجموع طول شبكة السواقي بالحوض 186 كلم، وما يميزها أنها تنقسم إلى سواقي دائمة الجريان وأخرى موسمية؛
- تتراوح نسبة المياه المجلوبة مقارنة بالصبيب الشهري بين 8% و 12% خلال فترة صعود الصبيب، و بين 18% و 46% خلال فترة نزوله.

تعرف فترة نزول الصبيب ضغطا كبيرا على الموارد المائية المتاحة بالحوض المدروس، مما يوضح بشكل جلي التأثير البشري على الصبيب خلال فترات العجز المائي. هذا الوضع سيؤدي إلى الزيادة في شدة الشح المائي، وبلوغ عتبات منخفضة، خصوصا خلال السنوات الجافة. علما أن المنطقة تتميز في غالبيتها بنظام سقي تقليدي، يعتمد أساسا على تقنيات السقي الانجذابي (تقنية الغمر) التي تستهلك كميات كبيرة من الماء.

المحور 24: الشح المائي وجودة المياه السطحية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): المظاهر والتأثير

يُعد الشح المائي فترة "طبيعية" ولكنه يمكن أن يميل إلى أن يكون أكثر شدة بمرور الوقت مع التغيير الديموغرافي وتطور الأنشطة حول المجرى المائي، مما يزيد من الضغوط على البيئة الطبيعية. إن عمليات تصريف الملوثات في غالب الأحيان موسمية، مما يزيد من تفاقم التأثير على البيئة في فترات معينة من السنة. خلال فترات نزول الصبيب، عندما تكون المجاري المائية أكثر هشاشة، تكون الضغوط أكبر. وبالتالي، فتأثير الشح المائي على النظام البيئي لا يمكن إهماله. أثناء فترات الشح المائي، تكون تركيزات بعض المواد في الماء أعلى بكثير مما كانت عليه خلال بقية السنة وهو ما يُشكل خطورة إذا اقترن بتأثير بشري. فكيف تساهم هذه الوضعيات للشح المائي في التأثير على جودة المياه وتفاقم آثار التلوث؟

سيتم الاعتماد، في تتبع ودراسة جودة المياه بالحوض المدروس، على المعايير الفيزيوكميائية في علاقتها بالصبيب، والمتمثلة أساسا في درجة الحرارة والتوصيلة ودرجة الحموضة وكمية الأوكسجين ودرجة العكارة. تم تتبع جودة المياه على مستوى خمس نقط بواد تساوت ونقطة واحدة بمنفذ الحوض الفرعي ايت بوعلي. وقد تم التركيز في إنجاز حملات التتبع والقياس على فترات نزول الصبيب. يتجلى الهدف الأساسي من هذا المحور في دراسة وتحليل حالة المياه بالحوض المدروس على المستوى المجالي والزمني، وفهم علاقة التفاعل بين جودة المياه والأنشطة البشرية، خصوصا خلال فترات الشح المائي.

I. تقديم نقط القياس واختيار معايير تتبع جودة المياه

شهد حوض تساوت عالية سد مولاي يوسف العديد من التغييرات في السنوات الأخيرة بسبب التزايد الديموغرافي، مما أثر بشكل مباشر على موارد المياه. وللتدقيق في التأثيرات المحتملة للأنشطة البشرية قمنا بجولات القياس والتتبع من أجل تفصيل دقيق في مراقبة جودة المياه بالحوض.

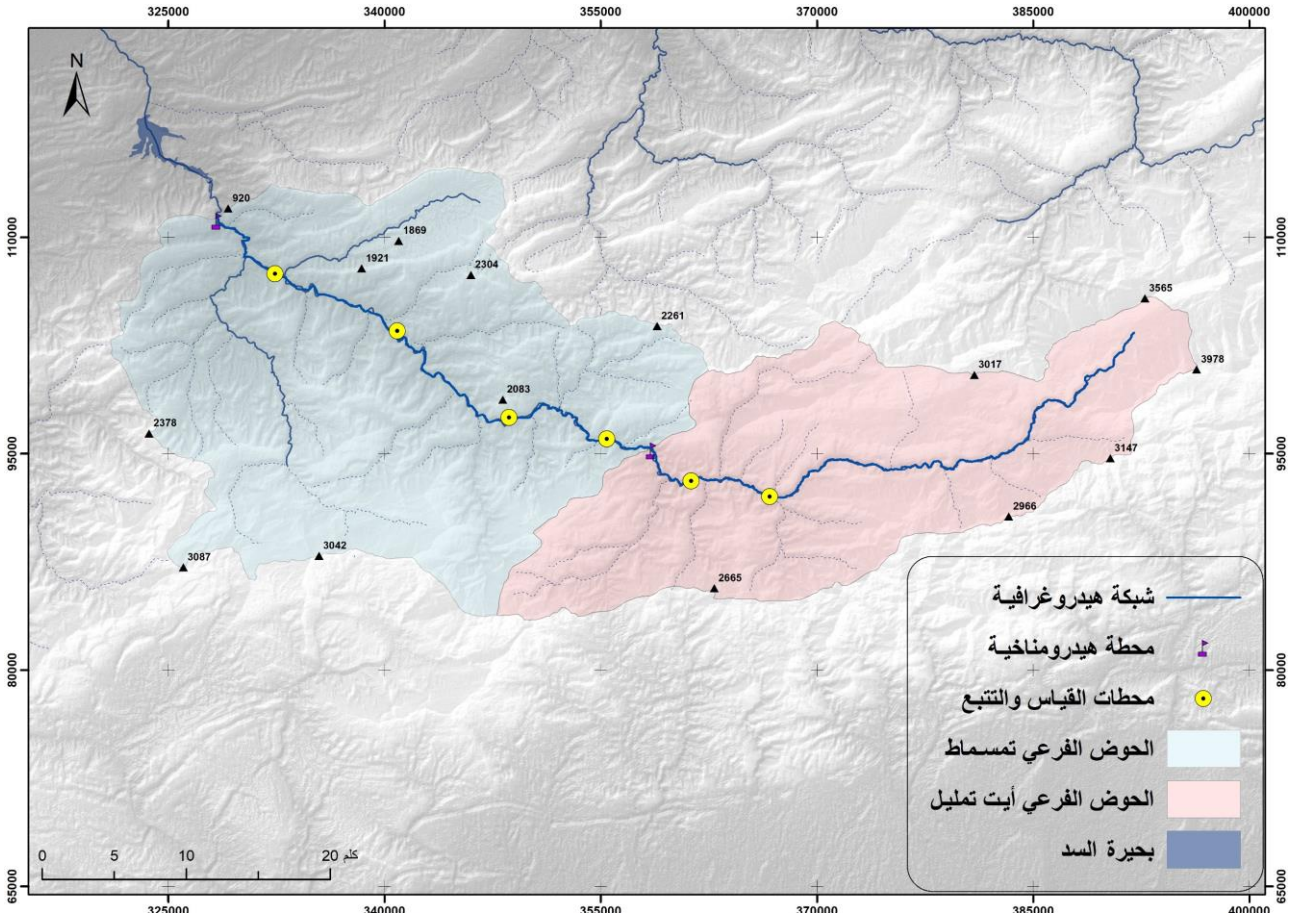
1. نقط تتبع جودة المياه

تم اختيار ست نقاط للتتبع، خمس منها تقع على المجرى الرئيسي للحوض النهري المدروس، وتطابق هذه النقط محطات تتبع قياس الصبيب. يوضح الجدول 69 المحطات المختلفة المختارة مع مواقعها المكانية:

جدول 69: موقع محطات قياس وتتبع جودة المياه

	الحوض	الرمز	X	Y	المساحة (كلم²)
المجرى الرئيسي	عالية ايفولو	T2	366723	93030	316
	ايفولو	T4	361300	93130	433
	ايت مكون	T6	355927	95754	542
	ايسولان	T9	348555	97478	662
	ايت إبراهيم	T11	340905	103538	872
حوض فرعي	ايت بوعلي	T15	332430	107495	65

خريطة 32: التوزيع المجالي لمحطات القياس والتتبع



المصدر: (الخريطة الطوبوغرافية لدمنات، سكورة، أزيلال، تلوات، 1/50000)

تقع جميع المحطات المختارة بالمجاري المائية دائمة الجريان (خريطة 32:)، بهدف تتبع تغيرات جودة المياه خلال فترات مختلفة من السنة، والتي سنركز فيها على فترات نزول الصبيب.

2. معايير الجودة المعتمدة في تتبع جودة المياه

يتم تحليل هذه المعايير في الموقع خلال حملة القياس، باستخدام معدات خاصة. هذه المعايير هي؛ درجة الحرارة والتوصيلة ودرجة الحموضة وكمية الأوكسجين ودرجة العكارة.

العكارة Turbidité: تعد العكارة تعبيرا جيدا عن مدى ودرجة صفاء المياه العذبة، فالعكارة هي مقياس لمرور الضوء خلال الماء ويستخدم كاختبار لقياس مدى جودة المياه بالنسبة للمواد العالقة. وعموما فإنه لا توجد علاقة بين درجة العكارة وتركيز المواد العالقة في المياه غير المعالجة، ولكن تتوقف درجة العكارة على كمية المواد العالقة ونوعها ولونها ودقة حبيباتها. يختلف هذا المعيار اعتمادًا على المركبات الرغوية (الطين، حطام الصخور، الكائنات الحية الدقيقة، إلخ) أو الأحماض الدبالية (تدهور النباتات) ولكن أيضًا التلوث الذي يعكر المياه (OMS, 2017). باستخدام جهاز العكارة نقيس المقاومة التي يعارضها الماء لمرور الضوء لإعطائه قيمة. وقد تم قياس العكارة بواسطة طريقة NTU (Nephelometric Nephelometric Unit) عن طريق قياس الطيف، أي قياس امتصاص الضوء بواسطة الماء. إذا كان NTU<5 تعتبر المياه صافية، وإذا كان NTU<30 فإن المياه عكرة نسبيا، أما إذا كان NTU<50 فإن المياه في هذه الحالة تعتبر عكرة. وقد أوصت الهيئات العالمية بعدم تخطي عكارة الماء خمس وحدات NTU، حيث أن الماء الذي له عكارة أكثر من خمس وحدات يكون غير صالح للشرب ويجب معالجته للتخلص من العكارة.

صورة 18: أجهزة قياس الموصلية ودرجة الحرارة (أ) والعكارة (ب)

الموصلية Conductivité: هو التعبير العددي على قابلية المحلول لتوصيل التيار الكهربائي. يعتمد هذا العدد على المجموع الكلي لتركيز وتكافؤ المواد المتأينة في الماء ودرجة الحرارة (25° درجة مئوية) خلال إجراء القياسات، إذ أن أكثر الحوامض العضوية والقواعد والأملاح لها قابلية جيدة للتوصيل الكهربائي، بينما المواد العضوية تكون رديئة التوصيل عادة (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec. 2015). يتم اعتماد وحدة ميكروسيمنس بالسنتيمتر ($Microsiemens/cm^{-1}$) وتزداد قابلية التوصيل الكهربائي مع الحرارة بنسبة 2 % لكل درجة حرارية. ويستخدم في القياس على جهاز الموصلية الذي يحتوي على الكترود بلاتيني أو غير بلاتيني يتم معايرته مع محاليل كلوريد البوتاسيوم. تحتوي المياه الطبيعية على تراكيز خفيفة من الأملاح المعدنية المتأينة وبالتالي فجميعها تشارك في الموصلية، وتنتج التوصيلية العالية عن ارتفاع نسبة الملوحة بسبب الملوثات المعدنية (Ghadbane, 2015). وتعرف الموصلية بأنها قياس مدى قابلية نقل الماء للتيار الكهربائي بوحدة الميكروسيمنز/ سم؛ إذ أنه كلما كان تركيز المواد الصلبة الذائبة في الماء أكبر كلما كانت قابلية الماء لنقل التيار الكهربائي أكبر، وتعتمد قيمة التوصيل الكهربائي على تركيز الأيونات الموجودة في المياه، وهي قابلية 1 $سم^3$ من الماء على توصيل التيار الكهربائي عند 25° درجة مئوية وتمثل مقلوب المقاومة النوعية للماء (مقلوب الاوم ohm وتسمى بالموز moh).

درجة الحرارة: تتعرض المسطحات المائية لتغيرات في درجات الحرارة بالإضافة إلى التقلبات المناخية العادية. تحدث هذه الاختلافات بشكل موسمي وفي بعض المسطحات المائية على مدار 24 ساعة. يمكن أن تُظهر البحيرات والخزانات أيضًا تقسيما طبقيا عموديا لدرجة الحرارة. تتأثر درجة حرارة المياه السطحية بخطوط العرض والارتفاع والموسم والوقت من اليوم ودوران الهواء والغطاء السحابي وتدفق الجسم المائي وعمقه. تؤثر درجة الحرارة بدورها على العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية في المسطحات المائية، وبالتالي على تركيز العديد من المتغيرات (Ghadbane, 2015). فمع زيادة درجة حرارة الماء، يزداد معدل التفاعلات الكيميائية بشكل عام مع تبخر وتطاير المواد من الماء. وتقلل الزيادة في درجة الحرارة أيضًا من قابلية ذوبان الغازات في الماء، مثل O_2 و CO_2 و N_2 و CH_4 وغيرها. يرتبط معدل التمثيل الغذائي للكائنات المائية أيضًا بدرجة الحرارة، ففي المياه الدافئة تزداد معدلات التنفس، مما يؤدي إلى زيادة امتصاص الأكسجين وزيادة تحلل المواد العضوية. كما تزداد معدلات النمو أيضًا (وهذا ملحوظ بشكل خاص للبكتيريا والعوالق النباتية التي تضاعف أعدادها في وقت قصير جدًا)، مما يؤدي إلى زيادة تعكر المياه ونمو النباتات الكبيرة وتكاثر الطحالب، عندما تكون الظروف الغذائية مناسبة (Chapman et Kimstach, 1996).

مقياس درجة حموضة الماء PH: تُستخدَم قيمة PH كمقياس معياري لقياس خصائص الماء. ومن الناحية العلمية، تعبّر قيمة PH عن مقدار تركيز أيونات الهيدروجين (H+) في سائل ما. إذا كان تركيز أيونات الهيدروجين (H+) في السائل مرتفعًا، فإنه يكون حمضيًا. وإذا كان التركيز منخفضًا، فإنه يكون قاعديًا. وهذا يعني أنه عند قياس تركيز أيونات الهيدروجين يمكن معرفة مقدار الحموضة والتعادل والقاعدية، وكذلك درجة كل منها. ولقيمة PH مقياس من 0 إلى 14، حيث القيمة 7 هي المستوى المتعادل وأي قيمة أقل من 7 يكون المحلول حامضيا مع انخفاض القيمة، وأي قيمة أعلى من 7 يكون قاعديا وتزداد القاعدية مع تزايد القيمة (Chapman & Kimstach, 1996). في كل بيئة طبيعية، تكون للمياه درجة حموضة الماء الخاصة بها اعتمادًا على القاعدة الصخرية والتربة في الحوض النهري، وتكون حموضة الماء PH>7 في مناطق الصخور الكلسية حيث المياه قاعدية لأنها عالية التمعدن، و PH<7 في مناطق الصخور البركانية حيث الماء حمضي. على العموم، تتراوح درجة حموضة الماء لمعظم المياه الطبيعية بين 6.0 و 8.5، على الرغم من أن القيم المنخفضة قد تحدث في المياه المخففة ذات المحتوى العضوي العالي، والقيم الأعلى في المياه المغذية والمياه الجوفية والبحيرات المالحة (Chapman et Kimstach, 1996). ومن الناحية المثالية، يجب تحديد حموضة الماء في الموقع، لذا سيتم استعمال جهاز قياس الموصلية ودرجة حموضة الماء PH.

صورة 19: أجهزة قياس درجة حموضة الماء (PH) (أ) وتركيز الأوكسجين (ب)

الأوكسجين: إن وجود الأوكسجين في الماء ضروري لتنفس الكائنات الحية المائية. ويؤدي نقص تركيز الأكسجين تحت عتبة معينة إلى اختناق الكائنات الحية. ويسمح الأكسجين الموجود في الماء أيضًا بعملية أكسدة المواد العضوية (التنقية الذاتية)، لكن هذا التحلل يستنزف البيئة المائية للأوكسجين. يمكن أيضًا التعبير عن الأوكسجين المذاب من حيث النسبة المئوية للتشبع، ويمكن للمستهلكين عادةً رصد المستويات التي تقل عن 80٪ من التشبع في مياه الشرب بسبب الرائحة الكريهة والذوق. ويمكن أن تحدث التغييرات في الأوكسجين المذاب بشكل موسمي، حتى على مدار 24 ساعة، اعتمادًا على درجة الحرارة والنشاط البيولوجي (أي التمثيل الضوئي والتنفس). يقلل التنفس البيولوجي، بما في ذلك التنفس المرتبط بعمليات التحلل، من تركيزات الأكسجين المذاب. في المياه الهادئة، قد تظهر جيوب من تركيزات الأكسجين المذاب العالية والمنخفضة اعتمادًا على سرعة العمليات البيولوجية. يمكن أن يؤدي تصريف النفايات الغنية بالمواد العضوية والمغذيات إلى انخفاض في تركيزات الأكسجين المذاب بسبب زيادة النشاط الميكروبي (التنفس) الذي يحدث أثناء تحلل المادة العضوية. في الحالات الشديدة لتركيزات الأكسجين المنخفضة (سواء كانت طبيعية أو من صنع الإنسان) قد تحدث ظروف لاهوائية (أي 0 مجم لتر أكسجين)، خاصة بالقرب من واجهة المياه والرواسب بسبب تحلل المواد الرسوبية (Chapman et Kimstach, 1996).

المعادن الثقيلة

العناصر الثقيلة هي عبارة عن معادن توجد بكميات قليلة في التربة والماء والهواء. لكن يمكن في بعض الأحيان أن نجدها بتراكيز مرتفعة بسبب الأنشطة البشرية. تتجلى خطورة هذه العناصر في كونها صعبة التحلل فضلاً عن ثباتها في البيئة وانتشارها لمسافات بعيدة عن مصادر نشوئها بفعل الرياح والعواصف والأمطار (Feng et al.,2007) كما تمتاز بقابليتها للتراكم الحيوي Bioaccumulation في أجسام الكائنات الحية، إذ يزداد تركيزها عبر حلقات السلسلة الغذائية، لذا فهي تشكل خطرا كبيرا على صحة الانسان لكونه يقع في قمة الهرم الغذائي فهو اذن المستودع النهائي لهذا التراكم (Aoyoma et al., 1978).

بعد جمع العينات في قوارير خاصة حسب البرتوكول التجريبي، تمت إضافة قطرات من حمض النتريك بتركيز 1M. وقمنا بحفظ القوارير في الثلج ثم نقلناها الى المختبر حيث قمنا بتحليلها. وقد اعتمدنا في تحليلنا للعينات على جهاز خاص يسمى "مطياف الكتلة البلازمية المقرونة بالحث " (بالفرنسية: le Spectromètre de Masse à Couplage Inductif، واختصارًا: ICP-MS) هو أحد أنواع مطياف الكتلة الذي يستخدم بلازما مقرونة بالحث لتؤين العينة. يفتت الجهاز ذرات العينة ويُشكل ذرات وأيونات صغيرة متعددة الذرات تُكشف بعد ذلك. ويتميز بقدرته على كشف المعادن والعديد من المواد غير المعدنية في العينات السائلة بتراكيز منخفضة للغاية. ويمكنه أيضا الكشف عن النظائر المختلفة لنفس العنصر، ما يجعله أداة متعددة الاستعمالات في الوسم النظيري.

اخترنا العناصر التالية ليتم قياسها: الألومنيوم (Al) والزرنيخ (As) والكادميوم (Cd) والكروم (Cr) والنحاس (Cu) والحديد (Fe) والنيكل (Ni)، والرصاص (Pb). هذه العناصر المختارة هي معادن، بتركيزات منخفضة في البيئة المائية ، تؤثر بشكل خطير على صحة الإنسان والكائنات الحية. يرجع وجودها في البيئة بشكل أساسي إلى الأنشطة البشرية. تمت مقارنة النتائج المحصل عليها مع معايير منظمة الصحة العالمية التي تحدد المقدار المسموح في المياه السطحية بالنسبة لكل معدن على حدة.

صورة 20: مطياف الكتلة البلازمية المقرونة بالحث (ICP-MS)

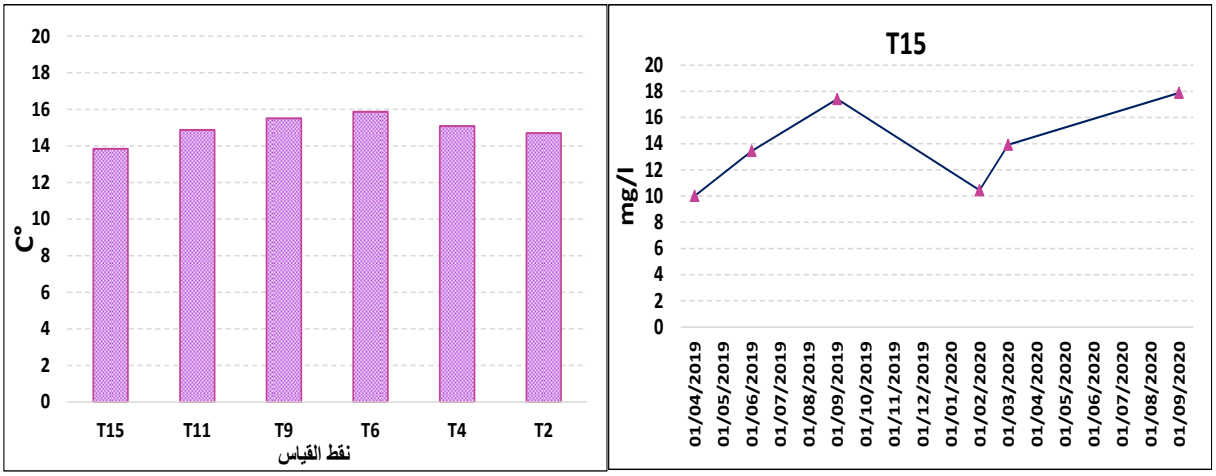
II. نتائج تتبع جودة المياه

تم برمجة ست حملات لقياس جودة المياه لستة مواقع تختلف حسب الخصوصيات الصخارية للحوض، مع مراعاة تموقعها بالقرب من التجمعات البشرية والأنشطة الفلاحية.

1. تغيرات درجات حرارة الماء

تلعب درجة حرارة الماء دورًا مهمًا في تعديل الخواص الكيميائية والفيزيائية وكذلك التفاعلات البيولوجية. يمثل المبيان 163 التغيرات المجالية والزمنية لدرجة حرارة الماء.

مبيان 163: التغيرات المجالية والزمنية لدرجة حرارة الماء



يعرف هذا المتغير، في المياه المدروسة، معدلا يتراوح بين 13,8 درجة مئوية (T15) و 15,8 درجة مئوية (T6)، ولا تظهر اختلافات كبيرة بين المحطات، كما أنها تتميز بمعدلات مرتفعة نسبيا خلال فترات الشح المائي، إلا أنها لا تتجاوز المعايير المغربية لجودة المياه السطحية (SEEE, 2007). يمثل المبيان 163 على اليمين التغيرات الزمنية لدرجة الحرارة للحوض الفرعي بوعلي. يتميز هذا الحوض الفرعي بركيزة صخرية متشكلة أساسا من الكلس الدولوميتي والمتميزة بنفاذية قوية، تعرف درجة الحرارة بالحوض الفرعي انخفاضا نسبيا تتراوح بين 10,01 C° و 17,88 C°. هذا الانخفاض يتم تفسيره بالجريان الجوفي والتساقطات الثلجية التي تغذي المجرى المائي، وكذلك الارتفاعات المهمة، وهي نفس الظروف التي تميز عالية حوض تساوت (T4, T2).

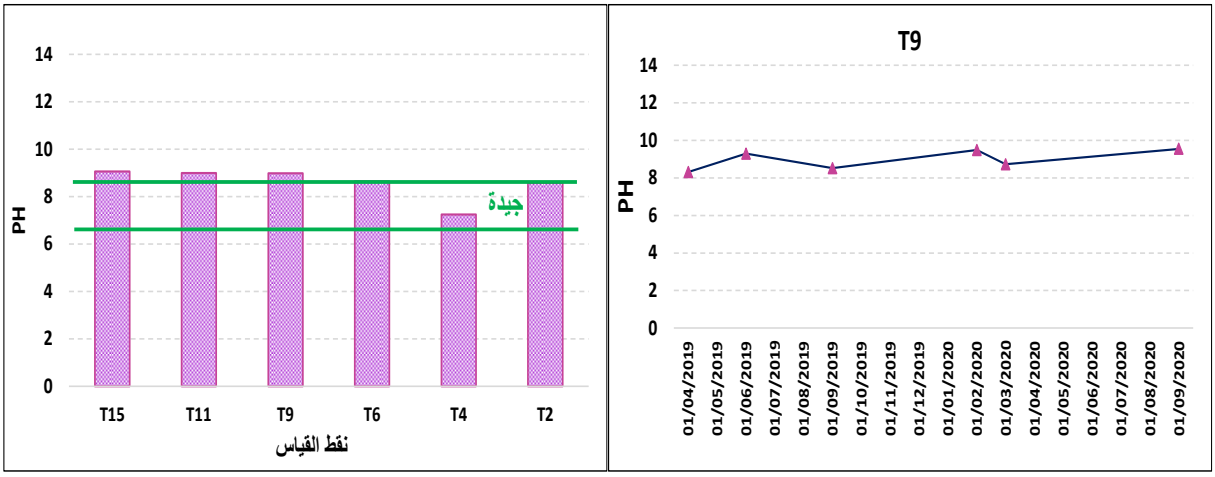
2. تغيرات حموضة الماء PH

تقيس حموضة الماء تركيز أيونات الهيدروجين في الماء، والذي يعكس التوازن بين الأحماض والقواعد. يحدد هذا المتغير عددًا كبيرًا من التوازنات الفيزيائية والكيميائية.

تتراوح قيم معدلات حموضة الماء بين 7,25 و 9,06 على طول المجرى المائي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). لا تُظهر المعدلات المقيسة اختلافا ملحوظا، ويميل الرقم الهيدرولوجي للمياه إلى القاعدية، نظرا للخصوصيات الصخارية لحوض الدراسة، التي تجعل مياه المجرى المائي عالية التمعدن (Ezzaouaq, 1991).

سُجلت قيم منخفضة نسبيا للرقم الهيدروجيني PH بعالية الحوض (منطقة ايفولو T4) والذي يمكن تفسيره بزيادة تركيز المواد العضوية بهذه المنطقة. على العموم، تبقى قيم حموضة الماء PH جيدة إلى متوسطة حسب معايير الجودة للمياه السطحية (SEEE, 2007). يمثل المبيان 164 التغيرات المجالية والزمنية للرقم الهيدروجيني PH.

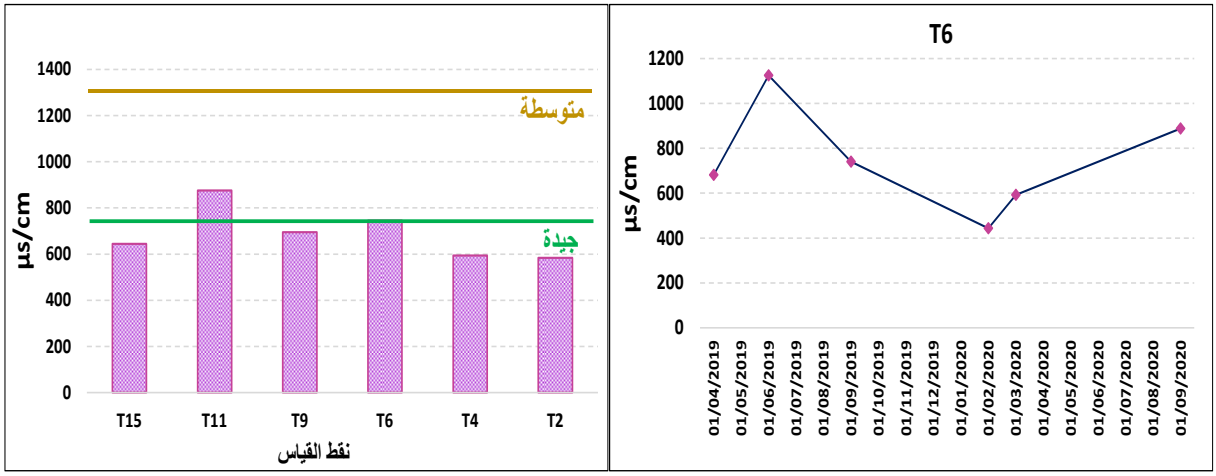
مبيان 164: التغيرات المجالية والزمنية للرقم الهيدروجيني PH



3. الموصلية

تعكس الموصلية درجة التمعدن بشكل شامل وتوفر معلومات عن مستوى الملوحة. يمثل المبيان 165 التغيرات المجالية والزمنية للموصلية الكهربائية عند درجة حرارة 20 °C.

مبيان 165: التغيرات المجالية والزمنية للموصلية الكهربائية عند درجة حرارة 20 °C.

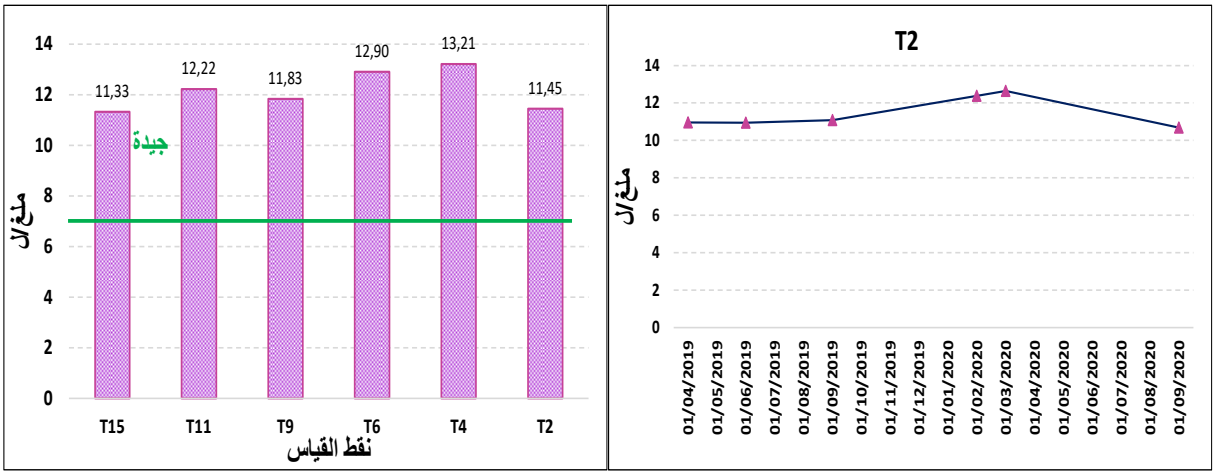


تتراوح قيم الموصلية لجميع العينات لواد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) بين 583 ميكروسيمنس/سم في المحطة T2 (عالية ايفولو) و 875 ميكروسيمنس/سم في المحطة T11 (ايت إبراهيم) خلال شهر. تظل هذه القيم أقل من معيار الجودة للمياه السطحية (2700 ميكروسيمنس/سم). على المستوى الزمني، تعرف التوصيلة الكهربائية ارتفاعا ملحوظا خلال الفترات الصيفية (الشح المائي). غير أن القيم المحصل عليها تبقى جيدة إلى متوسطة على العموم.

4. الأوكسجين

تختلف كمية الأكسجين في المياه الطبيعية باختلاف درجة الحرارة، والملوحة، ونشاط التمثيل الضوئي للطحالب والنباتات، والضغط الجوي. تقل قابلية ذوبان الأكسجين مع زيادة درجة الحرارة والملوحة. يمثل المبيان 166 التغيرات المجالية والزمنية للأوكسجين.

مبيان 166: التغيرات المجالية والزمنية للأوكسجين



أظهرت نتائج القياس (مبيان 166) تغيرات طفيفة لتركيز الأوكسجين بين محطات التتبع، حيث تتراوح القيم بين 11,3 ملغ/ل عند محطة ايت بوعلي (T15) و13,21 ملغ/ل عند محطة ايفولو (T4).

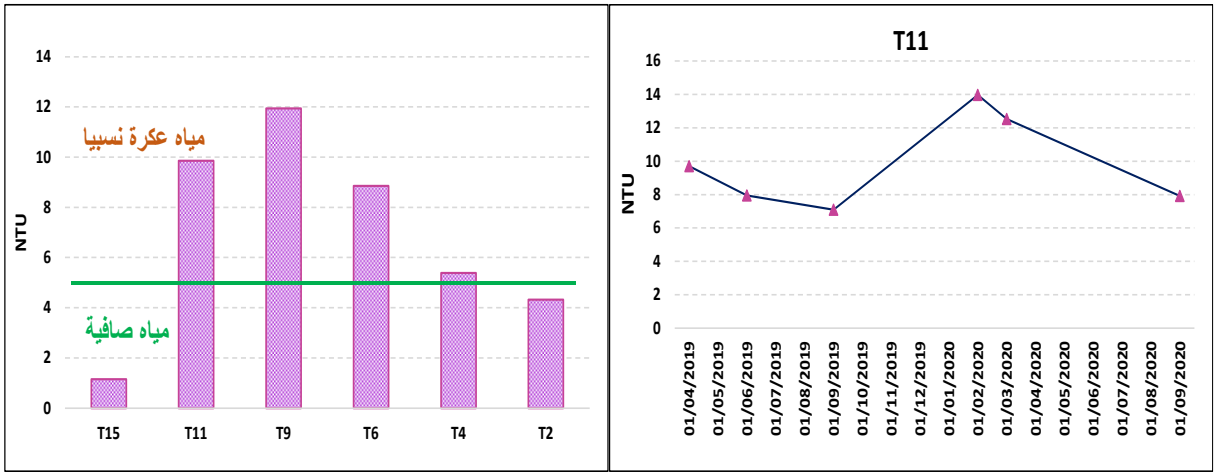
على المستوى الزمني، ينخفض تركيز الأوكسجين نسبيا خلال فترات الشح المائي، إلا أنها لا تصل إلى مستويات رديئة. على العموم، بينت القياسات المنجزة جودة ممتازة للمياه في جميع محطات القياس للمجرى المائي المدروس حسب معايير الجودة للمياه السطحية (SEEE, 2007).

5. درجة العكارة

تعبر العكارة عن درجة صفاء المياه ومدى قابليته لمرور الضوء من خلاله، وبالتالي يمكن أن نعتبره من بين المعايير المهمة التي تعكس مدى جودة المياه. يمثل المبيان 167 التغيرات المجالية والزمنية لدرجة عكارة الماء.

تتراوح معدلات قيم العكارة بين 1,15 NTU بمحطة اسيف بوعلي (T15) و NTU11,94 بمحطة ايسولان (T9). وقد سُجلت أعلى القيم بوسط وسافلة الحوض على مستوى محطات ايت إبراهيم وايسولان وايت مكون، مما يقلل من نشاط التمثيل الضوئي للطحالب. بينما تعرف عالية الحوض (T4 , T2) والحوض الفرعي بوعلي معدلات قيم العكارة منخفضة، مما يضعهم ضمن مجال المياه الصافية. وتعرف قيم العكارة تغيرات على المستوى الزمني، حيث تُسجل أعلى القيم خلال فترات صعود الصبيب، أي أن هناك علاقة ترابط بين ارتفاع قيم الصبيب والعكارة بالحوض المدروس، ويمكن تفسير ذلك بالتساقطات المطرية على تربة جافة وغير محمية بشكل جيد بالغطاء النباتي، مما يؤدي إلى انجراف المادة الدقيقة وبلوغها المجرى المائي (El Khalki et Hafid, 2002).

مبيان 167: التغيرات المجالية والزمنية لدرجة عكارة الماء



6. المعادن الثقيلة

تعد المعادن الثقيلة من أكبر وأخطر الملوثات التي يمكن أن توجد في المياه العذبة، إذا تجاوزت عتبات معينة من تركيزها، حيث تسبب عدة اختلالات على المستوى البيئي، ومشاكل صحية وأمراض مزمنة بالنسبة للإنسان (Cani et al., 1998) (Kaviraj et kona, 1982). تواجد بعض المعادن بنسب مرتفعة في جسم الإنسان، كالزرنيخ والنيكل والرصاص والتركيبة السداسية للكروم، يؤدي إلى أمراض سرطانية واختلال بعض وظائف الأعضاء كالكلى ومشاكل على مستوى الأمعاء الدقيقة... كما يؤدي غياب بعض منها إلى ظهور عدة فاقات غذائية كالحديد مثلا. ولتكتسي المياه جودة جيدة يجب أن تتواجد هذه المعادن بشكل متوازن.

يوضح المبيان 168 تغير تركيز معادن الألومنيوم (Al) والزرنيخ (As) والكادميوم (Cd) والكروم (Cr) والنحاس (Cu) والحديد (Fe) والنيكل (Ni)، والرصاص (Pb)، في مياه واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) على مستوى سافلة ووسط وعالية الحوض بالإضافة للحوض الفرعي ايت بوعلي.

تغير تركيز الحديد: توصي منظمة الصحة العالمية بعدم تجاوز 1 مليغرام في الليتر بالنسبة للماء الشروب، وهو نفس المعيار الذي اعتمدناه في دراسة جودة مياه حوض واد تساوت. تبين النتائج المحصل عليها أن كميات الحديد ضئيلة جدا في مختلف محطات القياس بالحوض ولا تتعدى 15 ميكروغرام في الليتر، هذه القيم لا تشكل أي خطر على مستعملي هذه المياه.

تغير تركيز الألومنيوم: تقترح منظمة الصحة العالمية كعتبة 200 ميكروغرام في الليتر. وتتراوح القيم الملاحظة في حوض واد تساوت بين 93.8 ميكروغرام في الليتر كقيمة دنيا ملاحظة على مستوى المحطة **T2** و112 ميكروغرام في الليتر كقيمة قصوى سجلت في المحطة **T15**. رغم ذلك تعتبر هذه القيم عادية ولا تشكل أي خطر على مستعملي مياه الحوض.

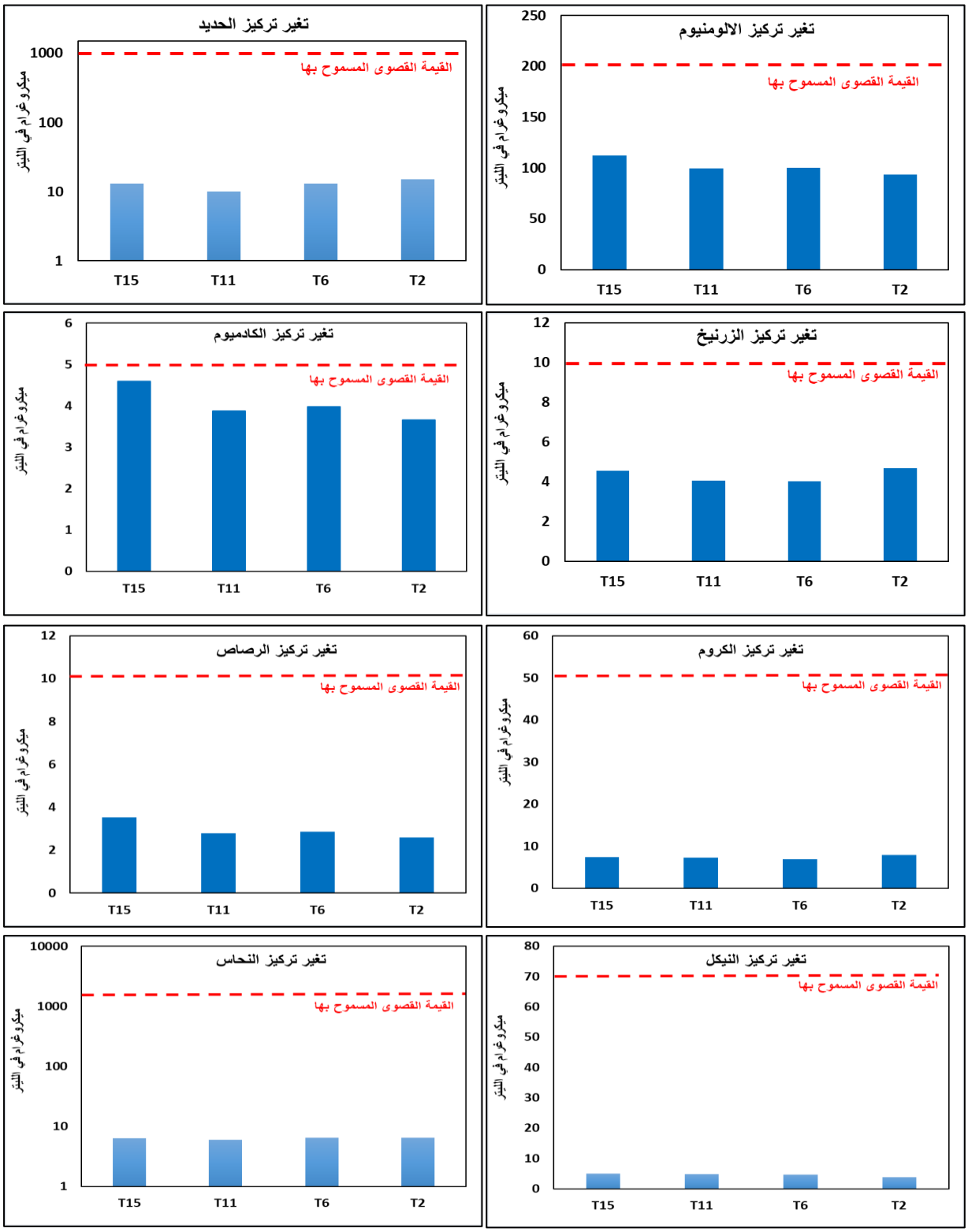
تغير تركيز الكادميوم: توصي منظمة الصحة العالمية بعدم تجاوز 5 ميكروغرام في الليتر. تم تسجيل أدنى تركيز بمحطة **T2** وقدر ب 3.65 ميكروغرام في الليتر أما أقصى قيمة فقد تجاوزت 4.58 ميكروغرام في الليتر ولوحظت هذه الكمية المرتفعة نوعا ما بمحطة **T15**، يمكن تفسير ذلك بالعوامل الطبيعية نظرا لكون المنطقة لا تحتوي على أي مسببات وأنشطة صناعية. لكن على العموم تظل هذه القيم أدنى من العتبة المحددة في 5 ميكروغرام في الليتر.

تغير تركيز الزرنيخ: التركيز الذي لا يجب تجاوزه للزرنيخ والذي تنصح به منظمة الصحة العالمية في مياه الشرب هو 10 ميكروغرام في الليتر. ونظرًا لأن الزرنيخ يمكن أن يكون له آثار صحية كبيرة، يجب أن يكون تركيزه في مياه الشرب دائمًا منخفضًا قدر الإمكان. وقد سجلت أعلى قيمة بالمحطة **T2**حيث تجاوز التركيز في هذه النقطة 4.62 ميكروغرام في الليتر في حين سجلت أدنى قيمة بالمحطة **T6** وقدرت ب 4.02 ميكروغرام في الليتر. غير أن كل القيم المسجلة كانت تحت العتبة المسموح بها.

تغير تركيز الرصاص: حددت منظمة الصحة العالمية القيمة 10 ميكروغرام في الليتر كعتبة قصوى لا يجب تجاوزها في المياه الصالحة للشرب. وقد تراوح تركيز الرصاص في مياه حوض واد تساوت بين 2.59 ميكروغرام في الليتر كقيمة دنيا سجلت بمحطة **T2** و 3.52 ميكروغرام في الليتر كقيمة قصوى سجلت بمحطة **T15**. على العموم هذه القيم لا تشكل خطرا على مستعملي مياه الحوض لكونها ضعيفة مقارنة مع العتبة المسموح بها.

تغير تركيز الكروم: تنصح منظمة الصحة العالمية بعدم تجاوز 50 ميكروغرام في الليتر. يتضح من خلال النتائج المحصل عليها أن مياه حوض واد تساوت تحتوي على كميات ضئيلة، حيث لا تتعدى في 7.93 ميكروغرام في الليتر. يمكن تفسير ذلك بكون المنطقة خالية من أي أنشطة ذات طابع صناعي، وكذلك خلوها من أي تجمعات سكانية حضارية.

مبيان 168: تغير تركيز المعادن الثقيلة في مياه واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



تغير تركيز النحاس: توصي منظمة الصحة العالمية بعدم تجاوز 1.2 ميليغرام في الليتر. تعتبر كميات النحاس الملاحظة في مياه حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) قليلة جدا، إذ لا تتعدى 6.3 ميكروغرام في الليتر وهي قيمة ضعيفة مقارنة بالعتبة المسموح بها من طرف منظمة الصحة العالمية. هذه النتائج تؤكد الجودة العالية لمياه الحوض وخلوها من أي ملوثات يمكن أن تؤثر على صحة مستعملي المياه.

تغير تركيز النيكل: تنصح منظمة الصحة العالمية بعدم تجاوز 70 ميكروغرام في الليتر. توضح النتائج المحصل عليها أن كمية النيكل ضئيلة بمياه الحوض المدروس، وتدخل في نطاق ما هو طبيعي حيث لا تتعدى أعلى قيمة 5.77 ميكروغرام في الليتر.

على العموم بينت دراسة المعادن بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) عدم وجود ملوثات خطيرة من الممكن ان تؤثر على مستعملي مياه الحوض سواء في العالية أو في سافلة سد مولاي يوسف. فحوض الدراسة خالٍ تماما من أي تجمعات سكانية ذات طابع حضري أو أنشطة صناعية.

III. مقارنة ومناقشة نتائج جودة المياه

يعتبر تحليل المكونات الأساسية (ACP) طريقة متعددة المتغيرات تسمح بالدراسة المتزامنة لعدد كبير من المتغيرات التي لا يمكن تصور معلوماتها الإجمالية عن طريق تمثيل متعدد الأبعاد. ستجعل هذه الطريقة من الممكن تحديد الترابط بين المتغيرات والظواهر في أصل هذه العلاقات. والهدف هو جعل المعلومات مركزة على محور كحد أدنى (Ayadi et *al*, 2008). وتُستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع لتفسير البيانات الهيدروكيميائية (Abrid, 2015). وبالتالي فإن طريقة ACP هي أداة تتيح إمكانية تبسيط دراسة النظم الإيكولوجية المائية وتقليل تكاليفها عن طريق تقليل عدد المتغيرات التي يجب أخذها في الاعتبار.

جدول 70: التباين الكلي والمعايير التي يجب مراعاتها في ACP.

	F1	F2	F3	F4	F5
القيم الذاتية	2,468	1,884	0,514	0,123	0,010
التغايرية %	49,356	37,678	10,289	2,468	0,210
التراكم %	49,356	87,034	97,323	99,790	100

تم تطبيق طريقة تحليل المكونات الأساسية على بيانات تتبع جودة المياه في محطات القياس على طول المجرى الرئيسي لواد تساوت (عالية سد مولاي يوسف). يسمح لنا ACP بتقليل عدد المكونات (محطات القياس)، التي تشكل إحداثيات عدد حملات القياس، وذلك للحصول على تمثيل يمكن من خلاله استخراج أكبر عدد من المعلومات والخصائص.

تُستخدم القيم الذاتية لمصفوفة الارتباط (القيم المحسوبة من طرف ACP التي تكافئ القيم المقيسة) لقياس النسبة المئوية للتباين الموضح بواسطة كل عاملي (جدول 71). يوضح الرسم البياني للقيم الذاتية أن المستوى العاملي الأول، المكون من المحورين F1 و F2 ، يمثل 87,03 ٪ من إجمالي القصور الذاتي. وقد اتضح أنها كافية لتعكس معظم هذا القصور الذاتي. وبالتالي، فإن المحورين الأولين كافيان لتمثيل المعلومات ككل.

جدول 71: مصفوفة الارتباط بين المتغيرات في محطات القياس

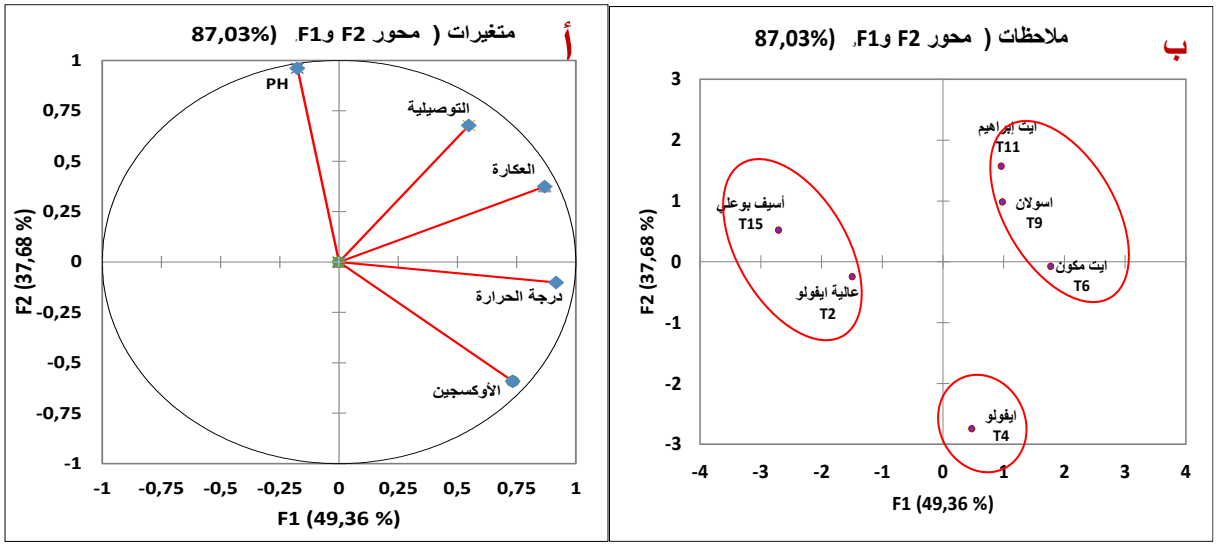
	العكارة	التوصيلية	PH	الأوكسجين	درجة الحرارة
العكارة	**1**				
التوصيلية	0,621	**1**			
PH	0,192	0,500	**1**		
الأوكسجين	0,325	0,149	-0,708	**1**	
درجة الحرارة	0,798	0,265	-0,196	0,643	**1**

تعطي مصفوفة الارتباط فكرة أولية عن العلاقة الموجودة بين مختلف متغيرات جودة المياه، مثل التوصيلية ودرجة العكارة (62%)، ودرجة الحرارة ودرجة العكارة (79%)، ودرجة الحرارة وكمية الأوكسجين (64%). ترتبط هذه المتغيرات بشكل جيد فيما بينها. كما توجد علاقة عكسية بين كمية الأوكسجين ودرجة حموضة الماء PH.

تم أخذ المحورين في الاعتبار لتوضيح الارتباطات بين المتغيرات المقترنة بالتوزيع المجالي (مبيان 169)، حيث يمثلان 87,03٪ من إجمالي المعلومات مع 49,36٪ على التوالي للمحور الأول و 37,68٪ للمحور الثاني.

يقع في اتجاه القطب الموجب للمحور الأول متغيرات الموصلية ودرجة العكارة ودرجة الحرارة والأوكسجين، والتي تدل عن ترابط جيد على التوالي فيما بينها، بينما درجة حموضة الماء يتموقع بالقطب السالب للمحور بشكل معاكس للأوكسجين ما يؤكد الترابط العكسي بينهما. بالنسبة للمحور الثاني نجد درجة الحرارة والأوكسجين يتموقعان عند القطب السالب للمحور.

مبيان 169: المقاربة البيانية لـ ACP لمعايير جودة المياه وفقًا للمستوى (F1xF2). أ) الخريطة العاملية للمتغيرات. ب) الخريطة العاملية لنقط القياس.



على مستوى التوزيع المجالي توضح البنية التصنيفية التي كشف عنها المستوى F1xF2 (الشكل ب) بروز ثلاث مجموعات وفقًا لدرجة جودة المياه:

المجموعة 1: يتعلق الأمر بثلاث محطات للقياس، تميزت بمياه عكرة نسبيا وارتفاع لدرجة حرارة ودرجة الموصلية.

المجموعة 2: تضم محطتين للقياس (T2 , T15)؛ تميزت بمياه ذات جودة عالية.

المجموعة 3: تضم محطة واحدة (T4)؛ سجلت قيم منخفضة نسبيا لدرجة حموضة الماء PH، بفعل زيادة تركيز المواد العضوية بهذه المنطقة.

صورة 21: صورة توضح تطور الطحالب بمنطقة ايفوفو (T4). (بحث ميداني، 2019)

عرفت بعض معايير الجودة ارتفاعا أو تركيزا مهما خلال فترات الشح المائي، كدرجة حرارة الماء والموصلية. وقد أظهرت دراسة جودة المياه أهمية وفائدة تقنيات التحليل متعدد المتغيرات للحصول على معلومات حول حالة

المياه، وإمكانية تحديد مصدر التلوث بجميع أنواعه. وقد جعلت طريقة ACP من الممكن تحديد تصنيف من ثلاث مجموعات مائية بخصائص جودة متباينة بين عالية وسافلة الحوض.

رغم التباين المجالي (بين العالية والسافلة) والزمني (خلال فترات الشح المائي) تبقى جميع النتائج المحصل عليها داخل نطاق المياه ذات الجودة الجيدة إلى المتوسطة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) حسب المعايير الوطنية لجودة المياه السطحية (SEEE, 2007).

IV. تصورات الساكنة المحلية حول جودة المياه

لفهم جودة المياه بالحوض المدروس بشكل أفضل، يمكن أن نهتم بدراسة التصورات الاجتماعية للبيئة المحلية التي تعكس العلاقة بين الأنشطة البشرية والبيئة (Lefebvre, 1974). وبالتالي فإن الحاجة إلى إجراء دراسات للتصور البيئي مسألة أساسية من أجل رؤية شاملة وربط النتائج بالأسباب.

يتم التفاعل بين الإنسان والمجرى المائي من خلال مجموعة من الممارسات والأنشطة اليومية، المتمثلة أساسا في تصريف المياه العادمة، ورواسب النفايات الصلبة، واستخراج المياه لسقي المزروعات، وما إلى ذلك، وبالتالي تشكل مصدر تدهور النظم البيئية المائية. من هذا المنطلق وجب تحديد هذه الممارسات بوضوح باعتبارها الضغوط الرئيسية على المجاري المائية.

ولفهم الضغوط البشرية التي تمارس على النظام المائي وحالة المجرى المائي بشكل أفضل، سنسعى إلى بناء تصور حول جودة المياه من خلال المقابلات الشفوية والاستمارات الموجهة للساكنة انطلاقا من سيرورة العمل الميداني. والهدف من ذلك هو دراسة العلاقة بين الأنشطة البشرية والمجرى المائي. وبالتالي يمكن أن نطرح السؤال: هل تصور الساكنة المحلية متناسق مع الدراسة المنجزة لجودة المياه؟ وبالتالي فالعلاقة التي تربط الساكنة المحلية بالنظام المائي (وجهة نظرهم حول الضغوط وحالة المجرى المائي) يمكن فهمها من عنصرين أساسيين: تصور حالة المجرى المائي وقرب الساكنة في حياتهم اليومية من المجرى المائي.

1. تصور الساكنة عن وظيفة المجرى المائي

من أجل أخذ فكرة شاملة عن الأسباب والدوافع وراء رمي بعض النفايات والأزبال بالقرب من الواد، حاولنا طرح سؤال عن تصور دور المجرى المائي بالنسبة للساكنة.

وقد جاءت تصريحات أكثر من 90% من المستجوبين أن الوظيفة الأساسية للمجرى هو تصريف المياه بالإضافة إلى الاستعمالات الفلاحية لسقي المزروعات والاستعمالات الأخرى. في حين صرحت نسبة ضعيفة من المستجوبين بأن للمجرى المائي دور إضافي يتمثل في نقل النفايات أثناء جريانه للتخلص منها بعيدا.

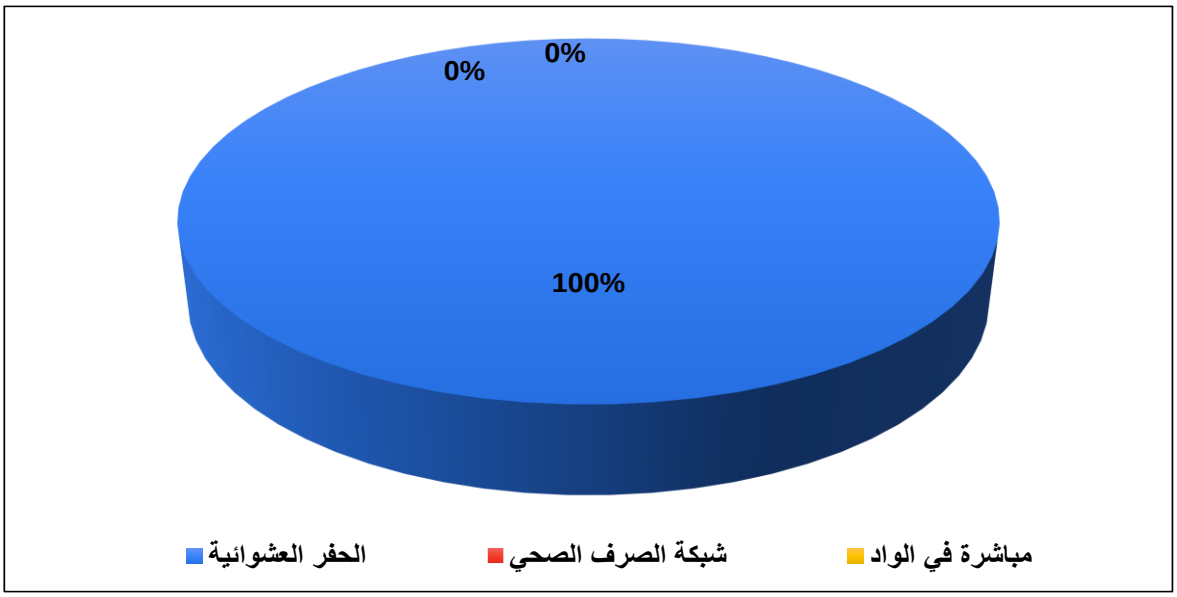
هذا الأمر يقودنا إلى مسألة الملك أو المجال العام لدى الساكنة، والذي، في الغالب، يتم التعامل معه كمجال مباح للجميع وحرمته تنتهك باستمرار من طرف العديد من الساكنة، على عكس المجال الخاص الذي يحظى بالعناية والنظافة المستمرين، فأثناء إنجاز الزيارات الميدانية وملء الاستمارات صادفنا هذا الواقع، إذ نسجل أن بعض الساكنة تتخلص من النفايات المنزلية أو المرتبطة بالمزروعات في مجرى النهر. هذا الأمر أحدث نوعا من عدم الرضا والاشمئزاز لما آلت إليه حالة بعض الأماكن المجاورة للمجرى المائي، كما جاء على لسان عدد من الساكنة.

2. كيفية التخلص من مياه الصرف الصحي للساكنة المحلية

المقصود بمياه الصرف الصحي المياه العادمة الناتجة عن الاستعمالات المنزلية. وقد حاولنا من خلال الاستمارات الوقوف على كيفية التخلص من المياه المنزلية المستعملة.

أكد جميع المستجوبين (نسبة 100% من العينة) على اعتمادهم الحفر العشوائية للتخلص من المياه العادمة، وذلك اعتبارا لخصوصيات الحوض البشرية، حيث أن أغلب التجمعات السكنية عبارة عن دواوير منتشرة في قعور الأودية لا تتوفر على شبكة للصرف الصحي.

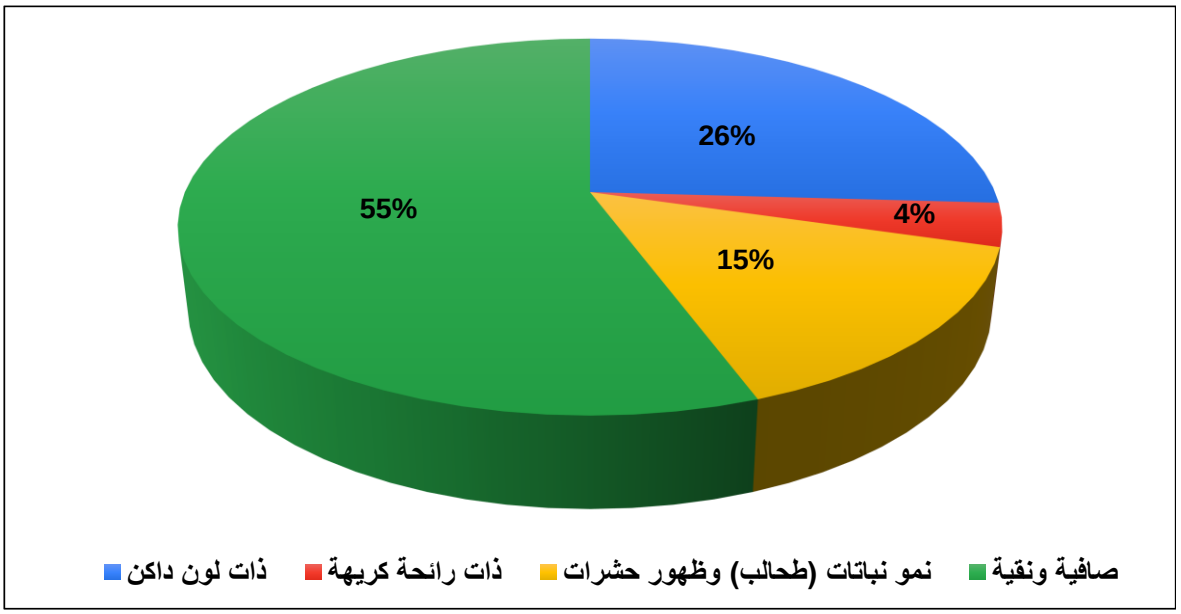
مبيان 170: كيفية التخلص من المياه العادمة للساكنة المحلية (بحث ميداني، 2019)



3. وصف حالة المجرى المائي خلال الشح المائي

خلال الشح المائي تنقص سرعة التيار وصبيب المجرى المائي، وهو ما يُفقد القدرة على التخفيف من المواد التي يتم إلقاؤها في البيئة المائية. كما يؤثر انخفاض سرعة وضعف عمق المياه أيضًا على نقل المواد العضوية وتدهورها، وترسب الجسيمات وتزويد الماء بالأوكسجين، بالإضافة إلى التأثير على تطور المجتمعات النباتية (المنتجين الأساسيين)، بشكل عام مع زيادة إنتاج الطحالب. ومن أجل تقريب مفهوم جودة المياه، تم وصف حالته استنادا إلى معايير اللون والرائحة والصفاء وكذلك نمو النباتات المائية (الطحالب).

مبيان 171: وصف حالة المجرى المائي خلال الشح المائي (بحث ميداني، 2019)



اختلفت أجوبة العينة المستجوبة حول حالة المجرى المائي بالعين المجردة (مبيان 171)، ويعود ذلك إلى التباين في التوزيع المجالي للمستجوبين. وقد عبرت نسبة مهمة (55,55%) عن صفاء ونقاء الماء خلال فترة الشح المائي وعن خلوه من أي أثر للتلوث، وقد شملت هذه الإجابات جزءاً مهما من العينات بعالية الحوض (منطقة امزري) والحوض الفرعي أسيف بوعلي.

صورة 22: صور توضح صفاء المياه بعالية الحوض (منطقة أمزري) (بحث ميداني، 2019)

توزعت باقي الإجابات بين وسط وسافلة الحوض وقد عبروا عن رداءة جودة المياه من خلال تغير لون الماء (26%)، ونمو نباتات مائية كالطحالب وظهور الحشرات (15%)، وانبعاث رائحة كريهة (نسبة ضعيفة بلغت 3%).

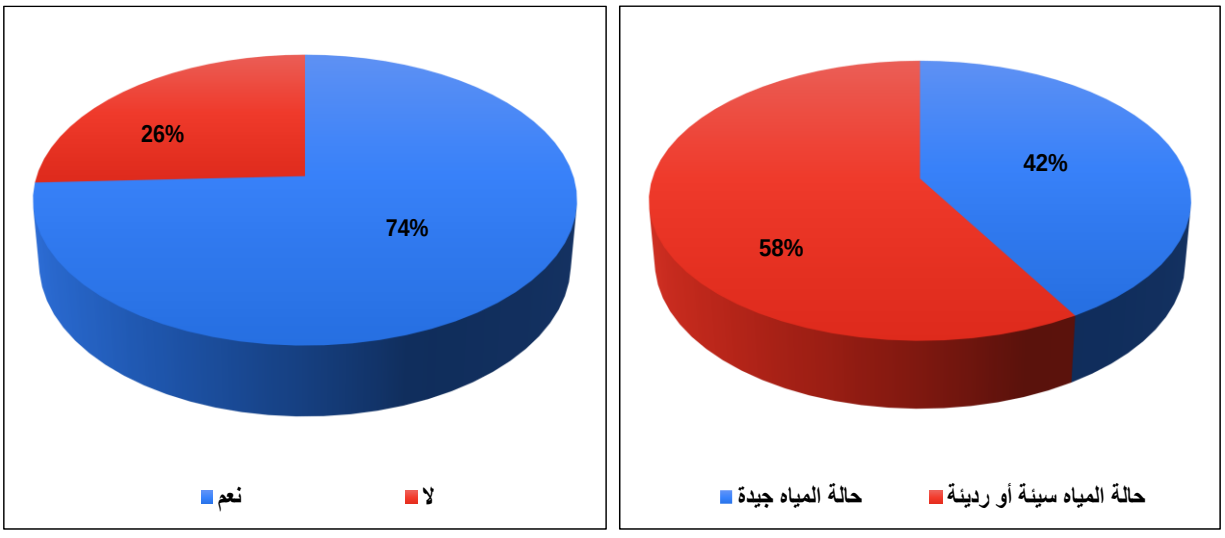
على العموم، تبقى النتائج المتوصل إليها من خلال الاستمارات نسبية فقط، وذلك لصعوبة تمييز جودة المياه بالعين المجردة، وتباين زاوية النظر بالنسبة للمستجوَبين واختلاف معايير جودة المياه من شخص لآخر، وبالتالي تميل هذه النتائج إلى أن تكون ذاتية بشكل أكبر.

4. تطور النباتات المائية والطحالب خلال الشح المائي

من المعروف أن تكاثر الطحالب تتكون أساسًا من السموم الحيوية، كما أنها تتميز بتغير واضح في لون الماء بسبب عدد كبير من خلايا الطحالب المصطبغة. وتتطور بشكل كبير حيث توجد وفرة في عنصرين مغذيين وهما الفوسفور والنيتروجين، الناتجين عادة عن جريان المغذيات (فضلات الحيوانات والأسمدة والصرف الصحي) من الأرض (OMS, 2017).

لمعرفة تصور الساكنة المحلية حول نمو النباتات المائية (الطحالب) وعلاقتها بجودة مياه المجرى المائي تم طرح أسئلة حول وضعية المياه في حالة وجودها (مبيان 172).

مبيان 172: جودة مياه المجرى المائي في حالة وجود النباتات المائية (بحث ميداني، 2019)



تم استفسار المستجوَبين، في مرحلة أولى، حول تطور النباتات المائية خلال الشح المائي (صورة 23)، فكانت إجابة 74% ب "نعم"، وقد تم ربطها لدى بعضهم بالسنوات التي تعرف جفافا قويا والتي توافق انخفاضا في الصبيب بشكل كبير. في مرحلة ثانية، تم طرح سؤال عن جودة المياه في حالة الإجابة ب "نعم"، حيث عبر 58% من العينة أن حالة المياه سيئة ورديئة، والباقي كان ردهم أن حالة المياه جيدة.

صورة 23: صور توضح تطور النباتات المائية والطحالب بمنطقة ايفولو (بحث ميداني، 2019)

وقد أكد بعض المستجوَبين أن أغلب النقط التي تتطور فيها هذه الطحالب توجد بسافلة الأماكن التي تعرف استغلالا بشريا (غسل الملابس، استعمال الأسمدة الفلاحية، رمي المواد العضوية أو بقايا معاصر الزيتون...). وتحيل هذه الإجابات والتصريحات إلى وعي أغلب الساكنة المستجوَبة بخطورة التلوث المرتبط بالاستعمالات المنزلية والفلاحية، والتي تظهر بشكل واضح خلال الشح المائي، حيث تتركز المواد الملوِثة مما يؤدي إلى عواقب وخيمة على النباتات والحيوانات.

خلاصة

يبدو، من خلال الدراسة الميدانية، أن حالة المياه السطحية بحوض تساوت (عالية سد مولا يوسف) جيدة إلى متوسطة على العموم. وقد كانت هذه النتائج خلاصة تحليل جودة المياه الفيزيائية وقياس تركيز المعادن الثقيلة في المياه السطحية للواد. وقد تم تفسير النتائج التي تم الحصول عليها اعتمادا على المكون الرئيسي ACP، وذلك لتسليط الضوء على العلاقة القائمة بين المتغيرات المختلفة التي تم تتبعها وتوزيع محطات الدراسة إلى مجموعات وفقًا لدرجة جودة المياه.

تتميز عالية الحوض (منطقة أمزري) والحوض الفرعي ايت بوعلي بجودة مياه عالية، أما بخصوص وسط وسافلة الحوض فتتميز، خلال بعض الفترات من السنة (فترات الشح المائي)، بظهور بعض المؤشرات التي تشير إلى نقص في جودة المياه، كظهور النباتات المائية (الطحالب) وانخفاض درجة حموضة الماء بمنطقة ايفولو وارتفاع قيمة العكارة بمنطقة ايت إبراهيم (سافلة الحوض). وتبقى النتائج المحصل عليها من خلال الدراسة الفزيوكميائية والمقابلات الشفهية متطابقة إلى حد ما. إلا أن المؤشرات تدل على أن جودة المياه يمكن أن تصبح مهددة في المستقبل بسبب التزايد الديمغرافي المستمر والأنشطة البشرية المتزايدة.

المحور 25: استراتيجيات تدبير الشح المائي على المستوى الدولي والوطني والمحلي

يواجه قطاع الماء في المغرب عدة تحديات، راجعة بالأخص إلى ندرة الموارد المائية وتفاقم الظواهر المناخية القصوى تحت تأثير تغير المناخ، وكذا إلى عدم كفاية الموارد مع تزايد الاحتياجات باستمرار. وبالتالي، فإن هذا القطاع يحتاج اليوم إلى حلول مبتكرة لإدارة هذا المورد من أجل تخطي التحديات التي يطرحها النمو الديموغرافي وما يواكبه من احتياجات متزايدة أمام الإكراهات الطبيعية. إن التدبير الرشيد والتخطيط المستقبلي للموارد المائية هو ما يضمن وفرة هذه المادة الحيوية بشكل مستديم، بالكمية الكافية والنوعية الجيدة لجميع المستخدمين، على أساس تخطيط قطاعي يأخذ بعين الاعتبار ظروفا محسّنة تقنيًا ومقبولة اقتصاديًا ومستدامة بيئيًا.

والهدف من هذا المحور هو جرد مختلف القوانين والأنظمة المؤطرة لإجراءات إدارة المواد المائية خلال فترات الشح المائي على الصعيد الدولي والوطني والمحلي، للتعرف، من جهة، على مختلف تدابير تنفيذ التدخل الآني في حالات الشح المائي الحاد، ومن جهة أخرى، على خطط العمل والتدابير الكفيلة بالتخفيف من آثار الشح المائي على المدى الطويل.

I. استراتيجيات تدبير الشح المائي على المستوى الدولي.

تختلف إجراءات تدبير الموارد المائية خلال الشح المائي باختلاف السياسات المائية والأنظمة والتشريعات من دولة لأخرى، وكذلك باختلاف الأنشطة بالنسبة لمختلف مستعملي الماء (الاقتصادية والفلاحية والسياحية...). غير أن جل هذه التشريعات تلتقي في نقطة مشتركة والمتعلقة بالخطر الناتج عن العجز المائي وما يحدثه نتيجة الخلل في التوزان بين توافر الموارد المائية من جهة وأنماط الاستخدام والحاجيات البيئة الطبيعية من جهة أخرى. وقد تضمنت أغلب الخطط، المتعلقة بتدبير الموارد المائية خلال فترات الجفاف أو الشح المائي، عدد من المستويات أو العتبات للصبيب والمرتبطة أساسا بخطورة الوضع.

1. فـــرنســا

تم تخطيط المبادئ الأساسية لإدارة الموارد المائية بموجب قانون المياه الصادر في 3 يناير 1992. ومن أهم المخططات تم وضع مخططات SDAGE (المخططات الرئيسية للتهيئة وإدارة الماء) وSAGE (مخططات التهيئة وإدارة الماء)، اللذان يضعان لكل حوض نهري المبادئ التوجيهية لإدارة الموارد المتوازنة.

فيما يتعلق بإدارة المياه خلال فترات الشح المائي، يحدد هذا القانون الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) للتردد 5/1 كمرجع للشح المائي لتطبيق شرطة المياه. تُستخدم هذه القيمة لتحديد حجم المياه المجلوبة وتصريف النفايات السائلة في المياه السطحية. كما حدد قانون 1992 المراسيم الإطارية التي تسمح للمسؤولين باتخاذ إجراءات استثنائية للحد من استخدام المياه أو تعليقها للتعامل مع النقص المحتمل في المورد خلال فترات الشح المائي. بالإضافة إلى ذلك، ظهرت نشرات هيدرولوجية أسبوعية أو شهرية منذ سنة 1989، من أجل السماح بمراقبة الوضع الهيدرولوجي خلال فترات الشح المائي.

وقد كانت القضايا المتعلقة بإشكالية الشح المائي مرتبطة بشكل أساسي بالأنشطة البشرية، بما في ذلك إمدادات مياه الشرب والري وإنتاج الطاقة (الطاقة الهيدروليكية وتبريد محطات الطاقة الحرارية والنووية) والملاحة والترفيه. غير أنه كان لزاما أن تُدمج خطط الإدارة أيضًا القضايا البيئية (التوجيه الإطاري الأوروبي للمياه (DCE) بتاريخ 23 أكتوبر 2000. ومن أهم أهدافه؛ إدارة الموارد المائية من خلال الأحواض النهرية؛ وتخطيط الأهداف وأساليب العمل المختلفة (الجرد، خطة الإدارة، برنامج القياس والرصد). وعقب هذا المخطط في فرنسا صياغة القانون رقم 2006-1772 المؤرخ بتاريخ 30 دجنبر 2006، والمعروف باسم قانون المياه والأوساط المائية (LEMA). وكانت أهم الأهداف الرئيسية التي حددها هذا القانون هي: تحديد إطار عمل وطرق تطبيق أهداف DCE؛ وتحسين الخدمة العامة والصرف الصحي لتحسين الوصول إلى المياه للجميع؛ بالإضافة إلى تحديث تنظيم صيد الأسماك في المياه العذبة.

كما تم وضع خطة وطنية في سنة 2005، حيث تم اقتراح "المخطط الإطار للجفاف" للسماح بإدارة أفضل للموارد أثناء حالات الجفاف. وُضعت هذه الخطة على المستوى الوطني استنادا إلى الفترة الاستثنائية لسنة 2003 والتي مكنت السلطات من تقييم نظام إدارة الأزمات (Garcia, 2016). في الوقت نفسه، تحقق البحث عن إطار عمل مجتمعي شامل لإدارة المياه من خلال "الإطار التوجيهي للمياه"، الذي يحدد الأهداف والمواعيد النهائية التي يجب الوفاء بها، ولا سيما لتحقيق نوعية وكمية جيدة من البيئات المائية. تتضمن هذه الخطة إمكانية منع الاختلالات بين عمليات جلب المياه والموارد المتاحة، من خلال فرض قيود مؤقتة على استخدامات معينة للمياه. تحدد هذه الخطة على وجه الخصوص صبيب-العتبة للإنذار (DSA)، والذي يتوافق مع الحد الأدنى الذي يجب أن يتم اتخاذ القيود الأولى دونه. والهدف من ذلك هو تجنب الوصول إلى معدل صبيب الأزمة (DCR)، ومعدل الصبيب الذي يكون أقل من إمدادات مياه الشرب والذي يحافظ على الأنواع المائية مهددة. تعتمد هذه الخطة على تنفيذ تدابير تدريجية للحد مما يسمى الاستخدامات "غير ذات الأولوية"، والهدف هو ضمان الاستخدامات ذات الأولوية (Catalogne, 2006).

حدِّد هذا المخطط أربع مستويات للتدخل (مستوى اليقظة، مستوى الإنذار، مستوى الأزمة، مستوى الأزمة القصوى). لذلك يتم تحديد مستويات الأزمة هاته على المستوى الوطني، لكن قيم الصبيب المرتبطة بهذه العتبات يتم تحديدها على مستوى الأحواض النهرية لتأخذ في الاعتبار السياق المحلي. يتم نقل هذا التخطيط الوطني من خلال المراسيم الإطارية المشتركة بين الإدارات المنشأة على مستوى الأحواض النهرية، والتي تتيح إمكانية تحديد القواعد والحدود القصوى لتدابير تقييد استخدام المياه، عن طريق الحوض.

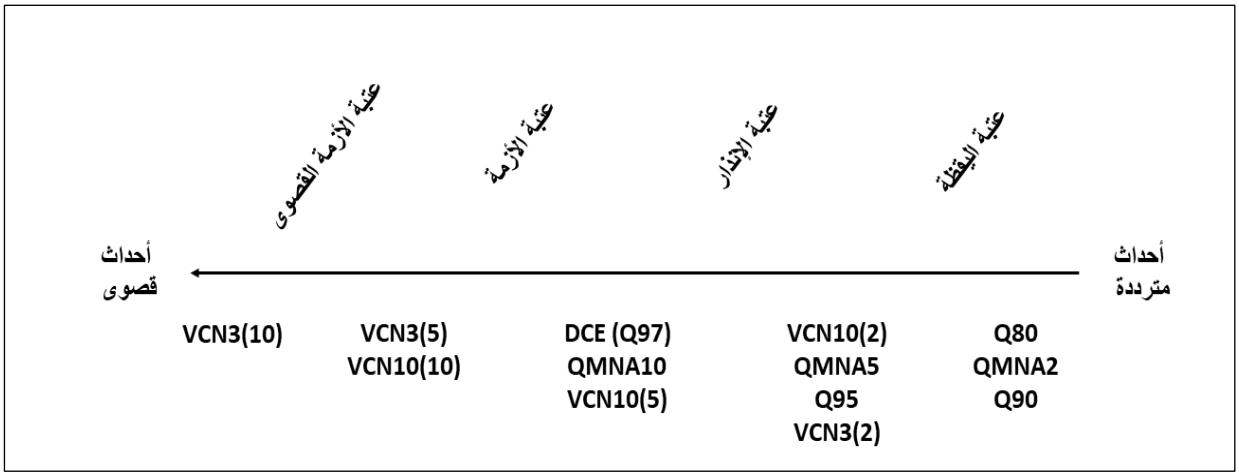
يتضمن تعريف هذه المستويات الأربعة قيم مؤشرات صبيب الشح الخاصة بكل حوض نهري. المستويات الأربعة هي على النحو التالي (Garcia,2016):

- **عتبة اليقظة**: في هذا المستوى الأول، يتم اتخاذ تدابير التواصل والتوعية للاقتصاد في الماء مع مختلف المستخدمين، دون اتخاذ أي تدابير تقييدية؛
- **عتبة الإنذار**: هذا المستوى، الذي يرتبط بالصبيب المستهدف للشح DOE، يجب أن يضمن على الأقل 8 من أصل 10 سنوات ويجب أن يضمن الوظيفة السليم للبيئة المائية. عند هذا المستوى، يجب أخذ الحدود الأولى لاستخدام المياه؛
- **عتبة الأزمة**: يتوافق هذا المستوى مع عبور عتبة صبيب الأزمة، وهي قيمة تتعرض خلالها مياه الشرب والكائنات الحية للخطر. أخيرًا، يتم تنفيذ وتعزيز التدابير للحد من عمليات جلب المياه، أو حتى إلغاء استخدامات معينة، لكي لا تصل إلى مستوى صبيب الأزمة القصوى؛
- **عتبة الأزمة القصوى**: يرتبط هذا المستوى بعتبة صبيب الأزمة القصوى الذي يجب أن يضمن بقاء الأنواع المائية وإمدادات مياه الشرب. في هذا المستوى، تقرر التوقف الكلي لعمليات جلب المياه.

تم تحديد مستويات التدخل هذه بشكل نوعي على المستوى الوطني. غير أنه تم تحديد عتبات الصبيب المعتمدة لأجرأة هذه المستويات الأربعة محليًا عن طريق مسيري الأحواض النهرية. وقد عملت (Lang, 2011) على ترتيب مؤشرات صبيب الشح بشكل تزايدي اعتمادا على دراسة إحصائية، ثم وضعها على مخطط العتبات المقترح، وقد أكدت أنها لا تتوافق تماما مع مؤشرات صبيب الشح، حيث يتم تحديد عتبات صبيب بموجب مراسيم إطار بين الإدارات، وبالتالي تختلف إلى حد ما من حوض لآخر.

وفيما يلي يوضح شكل 6 تصنيف لمؤشرات الإحصائية المختلفة التي يمكن استخدامها لتحديد حالة الوضع الهيدرولوجي للحوض حسب (Lang, 2011).

شكل 6: مؤشرات صبيب الشح وتحديد مستويات (عتبات) اليقظة والإنذار والأزمة والأزمة القصوى (Lang, 2011)



2. لوكسمبورغ

في لوكسمبورغ، يخضع أي جلب أو تصريف للمياه السطحية لترخيص بموجب قانون المياه. في هذا السياق، يتم الحرص بشكل خاص على التأكد من أن الكمية المجلوبة أو التي يتم تصريفها لا تؤدي إلى تدهور جودة المياه.

خلال فترات الجفاف والشح المائي، يُمنع عمومًا سحب المياه من الأنهار. فخلال هذه الفترات، يتم حظر جميع عمليات جلب المياه التي يغطيها التصريح (CIM, 2020). بالإضافة إلى ذلك، تشارك لوكسمبورغ في مراقبة مستويات صبيب الشح ضمن اللجان الدولية لحماية الموسيل والسار Commissions Internationales pour la Protection de la Moselle et de la Sarre (CIPMS). والغرض من هذه الدراسات والتقارير المنجزة من طرف اللجنة هو تقييم الحاجة أو تنزيل وتنفيذ الإجراءات على المستوى الدولي عند فترات الشح المائي من أجل الامتثال للأهداف البيئية للإطار التوجيهي للمياه (Directive Cadre Eau - DCE) على المسطحات المائية لقطاع العمل الموسيل والسار الواقع على الحدود. بعد فترات الشح المائي الحادة التي شهدتها سنتي 2003 و2011، قرر فريق العمل ل CIPMS معالجة هذه الإشكالية لمعرفة أسباب وموضع وجود الخلل المحتمل المتعلقة بتردد حدوثه (CIPMS, 2019).

ولهذه الغاية، قام فريق خبراء "الشح المائي" (CIPMS) بفحص مزايا وعيوب معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 3 أيام و 7 أيام (VCN_3 و VCN_7) الأكثر استخدامًا في حوض موسيل-سار الدولي. وفي النهاية، احتفظ فريق الخبراء بمعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 7 أيام (VCN_7) كمؤشر مشترك لرصد مستوى صبيب الشح على أساس معايير تحليل إحصائي.

يتم تحديد شدة الشح المائي وفقًا لتصنيف إلى خمس فئات من خلال مقارنة معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 7 أيام (VCN_7) الأسبوعية مع السنوية لفترات الرجوع التي تبلغ 2 و 5 و 10 و 20 و 50 سنة. يتوافق هذا التصنيف مع التصنيف المستخدم لنهر الراين من قبل مجموعة خبراء LW ("Low Water") التابعة للجنة الدولية للحماية من الإشعاع International Commission on Radiological Protection (ICRP). وتعتبر هذه القيم بمثابة عتبات لمستويات صبيب الشح، وهي كالتالي (CIPMS, 2019) :

- معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 7 أيام (VCN_7) لفترة الرجوع سنتين: صبيب شح **متردد**؛
- معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 7 أيام (VCN_7) لفترة الرجوع 5 سنوات: صبيب شح **أقل ترددا**؛
- معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 7 أيام (VCN_7) لفترة الرجوع 10 سنوات: صبيب شح **نادر**؛
- معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 7 أيام (VCN_7) لفترة الرجوع 20 سنة: صبيب شح **نادر جدا**؛
- معدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 7 أيام (VCN_7)لفترة الرجوع 50 سنة: صبيب شح **نادر للغاية**.

كما أكدت التقارير على وجوب الأخذ بعين الاعتبار أبعاد حماية البيئة والتنمية المستدامة لموارد المياه الكمية في الاستخدامات المختلفة للمياه، كما هو محدد أيضًا في المادة 16 من الإطار التوجيهي للمياه (DCE). بالإضافة إلى ذلك، لا يمكن لسياسة إدارة الشح المائي أن تستند حصريًا إلى تلبية الاحتياجات الكمية لاستخدامات المياه بقدر ما تعتمد على علاقات القوة الاجتماعية والاقتصادية بين الأنشطة البشرية المختلفة حيث ستكون على حساب البيئة، وهو ما يتعارض مع أحكام المادة 174 من المعاهدة المؤسِّسة للاتحاد الأوروبي والموجزة في المادة رقم 1 من DCE التي تشير إلى أن **"الماء ليست سلعة تجارية مثل أي سلعة أخرى، ولكنه تراث يجب حمايته والدفاع عنه ومعاملته على هذا النحو"**.

3. كـــنـدا

تم إعداد مجموعة من القوانين والبرامج الموجهة على الخصوص لحاملي تصاريح جلب المياه. وقد أصدرت وزارة البيئة والمحافظة والمنتزهات في أنتاريو تصاريح لأولئك الذين يجلبون أكثر من 50000 لتر من المياه يوميًا من بحيرة أو نهر أو مجرى مائي أو بئر. وهذا يشمل أنظمة الإمداد بالمياه البلدية والمستخدمين الخواص مثل ملاعب الجولف والمصانع والمزارعين الذين يقومون بالري وغيرهم (GRCA, 2021). لدى العديد من المقاطعات بكندا برامجها الخاصة للحفاظ على الموارد المائية، والتي تعمل جنبا إلى جنب على برنامج التدخل خلال فترات الشح المائي. وحتى مستخدمي المياه الذين لا يتوفرون على تصاريح جلب المياه مطالبون أيضا بالمحافظة على الموارد المائية خلال هذه فترات. يجتمع فريق التدخل في حالة الشح المائي في الأنهار الكبيرة حسب الحاجة، لمراجعة صبيب المجاري المائية والمعلومات المناخية. إذا لزم الأمر، يُعلَن حالة حدوثه في مجرى مياه النهر الكبير أو جزء منه. يمثل أعضاء الفريق مستخدمي المياه الرئيسيين: البلديات، المزارعون، ملاعب الكولف وغيرها. ويشارك في اللجنة ممثلو وزارات المقاطعات كأعضاء استشاريين لا يحق لهم التصويت. يتضمن برنامج التدخل خلال فترات الشح المائي ثلاثة مستويات من الشروط؛ حيث تستند هذه المستويات على متغيري الصبيب والتساقطات المطرية (GRCA, 2021):

- **المستوى الأول (عادي):** الصبيب أقل من 70 % من الصبيب الطبيعي المنخفض خلال فترة صيف و / أو التساقطات المطرية أقل من 80 % من المعدل. مستخدمو المياه مدعوون إلى تقليل استهلاكهم طواعية بنسبة 10%.
- **المستوى الثاني (دون الطبيعي):** الصبيب أقل من 50 % من الصبيب الطبيعي المنخفض خلال فترة الصيف و / أو التساقطات المطرية أقل من 60 % من المعدل. يتم حث مستخدمي المياه على تقليل استهلاكهم طواعية بنسبة 20%.
- **المستوى الثالث (جد منخفض):** الصبيب أقل من 30 % من الصبيب الطبيعي المنخفض خلال فترة الصيف و / أو التساقطات المطرية أقل من 40 % من المعدل. مع احتمال حدوث ضرر اقتصادي لمستخدمي المياه و / أو إلحاق ضرر كبير بالنظام البيئي. في هذه الحالة يتم حث جميع مستخدمي المياه على التوقف عن الاستهلاك غير الضروري. ويمكن لفريق التدخل المائي أن يطلب من المقاطعة فرض قيود إلزامية على حاملي تصاريح أخذ المياه.

لدى العديد من المقاطعات لوائحها الخاصة باستخدام المياه والتي تتضمن قيودًا على سقي المروج وغسيل السيارات وأنشطة أخرى. وفي بعض الحالات، تتبع القيود مستويات خطة التدخل خلال فترات الشح المائي.

تستخدم الوزارة المكلفة بالماء، في مقاطعة **الكيبيك**، طرقًا مختلفة لتحديد صبيب الشح، وهي عناصر أساسية في عملية تحليل ومعالجة الإشكاليات الاقتصادية والبيئية. حيث يعتبر تحديد هذه الفترات ذا أهمية بالغة لتقييم الصبيب المراد جلبه للاستعمالات المختلفة، أو للحفاظ على الحد الأدنى من الصبيب أو لتقدير كميات الملوثات التي يمكن تصريفها دون المساس بسلامة البيئة المائية والاستخدامات ذات الصلة (الحياة المائية، كمية المياه، إلخ.). حيث أن المجالات التي تتطلب حساب معدلات صبيب الشح تتعلق بشكل خاص بالإنتاج الكهرمائي، وإدارة المياه المخزنة في السدود في البحيرات والخزانات، وتحويل الأنهار، وتزويد المدن والصناعات المرتبطة بالمياه، الشرب، وإنتاج الثلج

الاصطناعي، والري، والمزارع السمكية ومعالجة مياه الصرف المنزلية والصناعية. وغالبًا ما يؤدي الشتاء، في كيبيك، إلى شح مائي بشكل كبير، حيث تتراكم التساقطات المطرية الصلبة على السطح دون الوصول إلى شبكات المجاري المائية أو منسوب المياه الجوفية. يمكن أيضًا ملاحظة الشح المائي في الصيف أو أوائل الخريف عندما تكون التساقطات المطرية نادرة لفترات طويلة (Lachance, 2012). المتغيرين الأكثر اعتمادا من قبل الوزارة الوصية بالكيبيك هما كالتالي:

- الشح المائي التاريخي؛ ويتعلق الأمر بصبيب النهر في وقت محدد ويمكن تقييمه خلال فترة من يوم إلى عدة أيام متتالية. والصبيب الذي تمت ملاحظته في تاريخ معين أو في عدة أيام متتالية يساوي معدل اليوم المطلوب والأيام السابقة، اعتمادًا على العدد المطلوب من الأيام المتتالية (على سبيل المثال، الصبيب لمدة 7 أيام متتالية ليوم 4 أبريل يساوي معدل الصبيب المسجلة من 29 مارس إلى 4 أبريل ضمناً)؛
- الشح المائي لفترات رجوع ومدد مختلفة؛ ويتعلق الأمر بمعدل صبيبه واحتمال حدوثه على مدار يوم واحد أو لعدة أيام متتالية. من أجل توحيد متغيرات الشح المائي، حددت الوزارة ثلاثة متغيرات شائعة الاستخدام:
  - $\mathbf{Q_{2,7}}$: صبيب الشح لفترة الرجوع سنتين على مدى 7 أيام متتالية؛
  - $\mathbf{Q_{10,7}}$: صبيب الشح لفترة الرجوع 10 سنوات على مدى 7 أيام متتالية؛
  - $\mathbf{Q_{5,30}}$: صبيب الشح لفترة الرجوع 5 سنوات على مدى 30 يوما متتالية؛
- يمكن تحديد فترات مختلفة لهذه المتغيرات:
  - **سنوية**: يتم اعتبار البيانات بين 1 يناير و31 دجنبر من كل سنة؛
  - **شتوية**: البيانات التي تم أخذها في الاعتبار تمتد بين 1 دجنبر و31 ماي (قد تختلف التواريخ اعتمادًا على خط عرض الموقع المدروس، وفترة الشتاء التي تحدد الفترة التي يكون فيها المجرى المائي مغطى بالجليد)؛
  - **صيفية**: البيانات التي تم أخذها في الاعتبار تمتد بين 1 يونيو و30 نونبر (قد تختلف التواريخ اعتمادًا على خط عرض الموقع المدروس، أو فترة الصيف أو الصيف - الخريف التي تحدد الفترة التي يكون فيها الصبيب في المياه المفتوحة)؛
  - **شهرية**: البيانات التي يتم أخذها في الاعتبار خلال أشهر السنة المختلفة؛
  - **محددة**: البيانات مرتبطة باحتياجات أكثر تحديدًا (من 15 أكتوبر إلى 15 دجنبر، على سبيل المثال).

إن منهجية تحديد الفترات الصيفية والشتوية (خصوصا في مناطق الشمال) جعلت من الممكن تحديد، بشكل آمن، مستويات صبيب الشح (Noël, 2017).

تولـــــيـف

يمكن أن تؤدي إدارة أزمات الشح المائي إلى تنفيذ تدابير مثل تقييد أو إيقاف الاستخدامات (جلب المياه، التصريف، التبريد، الري، إنتاج الطاقة الكهرومائية، إلخ). كما أن الأحكام القانونية والتنظيمية التي تختلف من بلد لآخر ومن منطقة لأخرى. يختلف توافر واستخدام المياه ووظائف هذا الاستخدام من بلد إلى آخر، مما يؤدي إلى اختلافات في التنظيمات والسياسات المائية المتبعة؛ كما تعتمد بعض الدول عتبات صبيب الشح على وظيفة الاستخدام وبالتالي قد تكون مختلفة. بالإضافة إلى معدلات الصبيب، تلعب الاعتبارات المتعلقة بجودة المياه السطحية دورًا مهما أيضًا.

تعتبر التدابير الكمية للمياه السطحية ضرورية أيضًا لتحقيق الأهداف البيئية على مستوى بعض المسطحات المائية السطحية، ولا سيما في الحالة التي يتم فيها تحديد عمليات جلب المياه المرتبطة بالأنشطة البشرية باعتبارها أحد العوامل المسؤولة عن تدهور الحالة البيئية للأوساط المائية.

II. تدبير الموارد المائية في المغرب.

يعود تاريخ أول نص قانوني يخص الماء في المغرب إلى سنة 1914م، ويتعلق الأمر بالظهير الشريف الصادر في 7 شعبان 1332 (فاتح يوليوز 1914م) حول الأملاك العامة والمتمم بظهيرين شريفين صدرا سنة 1919 و1925م والذي يدمج جميع المياه مهما كان شكلها في الأملاك العامة المائية. وقد أُعتبرت الظهائر الثلاثة، الأصل والمرجع الرئيسي للتشريع المائي في فترة الحماية.

صدر أول نص قانوني منظم للملك العمومي (مذكرة الصدر الأعظم) في 1912/11/12. وضع هذا القانون قائمة من الأملاك غير قابلة للتصرف، من ضمنها الموارد المائية (الأنهار والضايات والمستنقعات والآبار والعيون، إلخ). وبموجبه، أصبح يتعذر على جميع العدول كتابة أية ملكية دون إعلان أو بحث (الصباحي، 2011). ومن أجل التوفيق بين مصالح الحقوق المكتسبة والمعمرين، وقد تم تعديل قانون 1914، وذلك بصدور ظهير 8 نونبر 1919. و " بموجب هذا القانون تم إدخال جميع أنواع وأصناف المياه السطحية والجوفية ضمن الملك العمومي" (Ameur, 1982). ما عدا، مياه الأمطار المستغلة مباشرة، أو التي جمعت في الخزانات الاصطناعية. إضافة، إلى المياه المكتسبة قانونيا قبل صدور الظهيرين. وقد أصدر المشرع ظهيرا جديدا، في شأن تنظيم المياه، في فاتح غشت 1925، اعتبر الماء ملكا عموميا، باستثناء مياه الأمطار والمياه الجوفية المالحة والحقوق المكتسبة. وقد دعا الظهير إلى إقامة مناطق وقائية حول الآبار ونقط جلب المياه الخاصة بالتزود العمومي (الفقرة الأولى من الفصل الثامن من الظهير المذكور) (الصباحي، 2011). تعتبر النصوص المتعلقة بالماء، التي تعود إلى العقود الأولى من القرن العشرين، أرضية وانطلاقة لتشريعات أخرى في مراحل وتواريخ مختلفة، تبعا لضروريات التنمية الاجتماعية والاقتصادية للبلاد، وزيادة الطلب على الموارد المائية. لذا، أصبح تحيين القوانين والتشريعات المتعلقة بالماء مسألة ضرورية. وفي إطار هذه المراجعة، لا يقتصر المشرع على إعادة صياغة قانون الماء الجاري به العمل فقط، بل اهتم أساسا بتتميمه بإضافة أحكام تتعلق بميادين لم يتعرض لها من قبل من جهة، ومن جهة أخرى بتصفية النظام القانوني الخاص بموارد المياه.

1. قانون الماء من النص 95-10 إلى النص 36-15

لجأ المشرع المغربي إلى إصدار قانون جديد للمياه في محاولة لبلورة مقاربة فعالة لتدبير الموارد المائية وهو قانون 95-10. وجاء هذا القانون في ظل الإشكالات التي شهدها التدبير المائي؛ والتي تفاقمت مع تزايد الطلب على الماء آنذاك، حيث أن الوضع فرض قانونا حديثا يستجيب ويتكيف مع مستجدات ومتطلبات العصر (العياطي، 2017).

يتألف القانون95-10 من 13 باب و11 فرعا و163 مادة. حيث يهدف هذا القانون الذي صدر سنة 1995 إلى وضع سياسة وطنية للماء على أساس رؤية مستقبلية تأخذ بعين الاعتبار تطور الموارد والاحتياجات الوطنية من الماء. ويرمي إلى عقلنة استعمال الماء وتعميم الحصول على هذا المورد، والتضامن بين الجهات وتخفيض الفوارق بين المدن والقرى بغية توفير الأمن المائي لمجموع التراب الوطني. ويمكن تلخيص مجمل الأهداف في النقط التالية (الصباحي، 2011):

- وحدانية الموارد التي تأخذ بعين الاعتبار، النظرة الموحدة الشمولية للموارد المائية على المستويين الكمي والكيفي؛
- تعبئة قصوى وتسيير معقلن لكل الموارد المائية؛
- تخطيط منسجم ومرن لاستعمال المياه على مستوى الحوض المائي أو على المستوى الوطني؛
- تدبير المياه في إطار وحدة جغرافية هي الحوض المائي في اتجاه تدبير لامركزي للمياه؛
- إحداث إدارة ملائمة وفعالة تمكن من تحقيق الأهداف المرسومة، بإشراك السلطات العمومية وكافة المستعملين في اتخاذ القرارات المتعلقة بالماء؛
- حماية كمية ونوعية للأملاك العامة المائية في مجموعها والحفاظ عليها من الضياع والتبذير؛
- الرفع من قيمة الاستثمارات الخاصة بالماء، آخذا بعين الاعتبار المصالح الاقتصادية والاجتماعية للسكان من خلال الحفاظ على الحقوق المكتسبة.

ويرتكز قانون الماء على مجموعة من المبادئ، من أهمها الملكية العامة للماء، ووحدانية تدبيره على مستوى الحوض المائي، بالإضافة إلى التشاور حول السياسة المائية المتبعة على المستويات الثلاثة (وطني، جهوي، محلي). كما أن هذا القانون ارتكز على مبدأ مهم متعلق بضمان جودة الماء وحمايته من التلوث، حيث هناك نصوص ذات طابع مباشر تعالج مجالات المحافظة على الملك العام المائي ومحاربة التلوث. وأيضا، على مدارات المحافظة ومدارات المنع. وأخرى ذات طابع غير مباشر تعالج مسألة الحقوق المكتسبة على الملك العام المائي.

بالرغم من أهمية المكتسبات والإنجازات التي تم تحقيقها بفضل قانون الماء ونصوصه التطبيقية، فقد كشفت الدراسات المنجزة من طرف الوزارة المنتدبة المكلفة بالماء في المجالات المرتبطة بالمخطط الوطني للماء، والوقاية من الفيضانات، وإعادة استعمال المياه المستعملة، وتقييم تطبيق قانون الماء، وكذا التجربة الميدانية لوكالات الأحواض المائية أن هذا الإطار القانوني لتدبير وتنمية وحماية الموارد المائية تعتريه بعض النواقص والثغرات. ولتجاوز هذه الاختلالات، ورغبة في توفير الشروط التنظيمية والمؤسساتية لضمان التفعيل الجيد للاستراتيجية الوطنية للماء ومضامين مشروع المخطط الوطني للماء تم مراجعة قانون الماء 95-10 وتعديله بقانون جديد من خلال النص 15-36 ، الذي تم تنفيذه بموجب الظهير الشريف رقم 1.16.113 الصادر في 6 ذي القعدة 1437 هـ (10 أغسطس 2016) والذي تم نشره بعد موافقة مجلسي البرلمان والمستشارين بالجريدة الرسمية عدد 6494 بتاريخ 25 أغسطس 2016.ويتألف هذا القانون من 12 بابا و 24 فرعا و 163 مادة. وقد جاء قانون الماء 15-36 لتدارك النواقص والثغرات وإعادة صياغة بعض المقتضيات حول الماء بهدف توضيحها وتدقيقها، ومعالجة حالات عدم الانسجام والغموض التي تكتنف بعض مقتضيات هذا القانون لجعلها تنسجم وتتناغم مع بعضها البعض. كما تم تتميم هذا القانون بمقتضيات جديدة تتعلق على الخصوص بعقدة الفرشة المائية، وتعبئة وتدبير مياه الأمطار، وشروط تحلية مياه البحر، وصب المياه المستعملة في البحر، وإعادة استعمال المياه المستعملة وتنظيم مهنة الحفر، وتدبير الظواهر القصوى كالجفاف والفيضانات. أما بالنسبة للإطار المؤسساتي، فقد تضمن هذا القانون مراجعة لاختصاصات وتسيير المجلس الأعلى للماء والمناخ ووكالات الأحواض المائية وكذا إحداث لجان الأحواض المائية (العياطي، 2017).

2. تدبير الشح المائي على المستوى الوطني

تضمن **قانون الماء 15-36** مقتضيات متعلقة باستعمال الماء في حالة الخصاص (المواد 124، 125 ،126 و127) الناتج عن الاستغلال المفرط أو عن الأحداث الاستثنائية كالجفاف والكوارث الطبيعية، وسن الإجراءات المحلية والمؤقتة مع إعطاء الأولوية لتزويد الساكنة بالكميات الضرورية من الماء الصالح للشرب مع الأخذ بعين الاعتبار حاجيات القطيع من الماء. ومن أهم هذه الأنظمة إجراءات تقييدية متعلقة باستعمال الماء لأغراض منزلية وحضرية وصناعية، وحفر آبار جديدة من أجل استعمالات أخرى غير تزويد السكان بالماء، بالإضافة إلى عمليات جلب الماء المرخص بها.

وقد ورد في المادة '127' : أنه في حالة الخصاص في الماء الناتج عن أحداث أخرى غير الجفاف، تقوم الإدارة بالإعلان عن حالة الخصاص في الماء وبتحديد المنطقة المعنية وبسن الإجراءات المحلية والمؤقتة ". كما أشار القانون في المادة 97 على ضرورة الاحتفاظ على مستوى مجاري المياه، حسب فصول السنة، بحد أدنى من الصبيب بسافلة المنشآت المائية المعدة لتخزين أو تحويل أو جلب الماء، بالإضافة إلى تحديد كيفيات تحديد والحفاظ على **الحد الأدنى من الصبيب** بنص تنظيمي.

نص القانون، أيضا، على وضع أنظمة لتتبع الوضعيات المائية ولمراقبة الجفاف من خلال مؤشرات هيدرومناخية (المادة 125)، يمكن الاستناد إليها للإعلان عن حالة ودرجة الجفاف وتجديد المنطقة المعينة وبسن الإجراءات المحلية والمؤقتة. كما نص على وضع مخططات لتدبير الجفاف بتشاور بين السلطات المعنية تتضمن الإجراءات وخطط العمل اللازمة لمواجهة آثاره.

وقد تم إعداد المخطط الوطني للماء من قبل الوزارة المنتدبة لدى وزير الطاقة والمعادن والماء والبيئة المكلفة بالماء بتشاور تام مع مختلف الفاعلين في قطاع الماء وذلك في إطار اللجنة الدائمة للمجلس الأعلى للماء والمناخ، ويرتكز على النتائج والاستنتاجات المحصل عليها في إطار تهيئ المخططات التوجيهية للتهيئة المندمجة للموارد

المائية للحوض المائي. تتم المصادقة على المخطط الوطني للماء بموجب مرسوم، وذلك بعد إبداء الرأي من قبل المجلس الأعلى للماء والمناخ (DGE, 2021). ويشكل هذا المخطط امتدادا للأهداف والتوجهات والإجراءات المتخذة في إطار الإستراتيجية الوطنية للماء. وقد تمت صياغته على ضوء نتائج وخلاصات المخططات التوجيهية للتهيئة المندمجة للموارد المائية لمختلف الأحواض المائية بالمملكة. تتلخص برامج العمل المقترحة في المخطط الوطني للماء في 3 محاور رئيسية وهي(DGE, 2021) : تدبير الطلب على الماء وتثمينه؛ وتدبير وتطوير العرض؛ والحفاظ على الموارد المائية وعلى الوسط الطبيعي والتأقلم مع التغيرات المناخية.

على الرغم من التطور الكبير الذي عرفته الأنظمة والقوانين الوطنية في قطاع الماء، فقد واجهت بعض الصعوبات في ضمان التدبير الفعال والمستدام للموارد المائية، ولا سيما أنها لم تقترح تدابير لإدارة **مستويات صبيب الشح**.

3. تدبير الخصاص المائي على مستوى الحوض المائي.

تعد المخططات التوجيهية للتهيئة المندمجة للموارد المائية من الأدوات المهمة والضرورية لتحسين وتنمية الموارد المائية، وقد أسندت مهمة تهيئ وتنفيذ المخطط التوجيهي للتهيئة المندمجة للموارد المائية حسب مقتضيات المادة 80 من قانون الماء 15-36 إلى وكالات الأحواض المائية، التي تقوم بتهيئ وتنفيذ مخطط توجيهي لكل حوض مائي أو مجموعة من الأحواض المائية داخل منطقة نفوذها. وقد انطلقت عملية تهيئ المخططات التوجيهية للتهيئة المندمجة للموارد المائية منذ 2004 وتم تحيين المخططات التوجيهية الرئيسية أواخر 2011 مع إرسال نسخة منها الى جميع الأطراف المعنية للاطلاع وإبداء الرأي (DGE, 2021).

يتضمن محتوى المخططات التوجيهية للتهيئة المندمجة للموارد المائية النقط التالية:

- الإطار العام والخصائص الطبيعية والمناخية وكذا الاجتماعية والاقتصادية المتعلقة بالمنطقة قيد الدراسة؛
- تقييم الموارد المائية من حيث الكم والجودة؛
- حالة تهيئ واستعمال الموارد المائية؛
- الطلب على الماء حسب القطاع ونوعية الاستعمال؛
- الحالة الهيدروليكية وخطط تنمية الموارد المائية؛
- تعريف مختلف أنشطة المخططات التوجيهية للتهيئة المندمجة للموارد المائية للحوض المائي؛
- التقييم الاقتصادي والبيئي للخطط المقترحة؛
- طرق تفعيل خطط تنمية الموارد المائية.

وبالتالي، يناط إلى وكالة الحوض المائي إنجاز القياسات والدراسات الضرورية لتقييم وتتبع تطور الموارد المائية على مستوى الكم والجودة. بالإضافة إلى الدراسات المتعلقة بتخطيط وتدبير الماء والمحافظة عليه والوقاية من تأثير الظواهر المناخية القصوى لاسيما الفيضانات والجفاف.

4. موقع الشح المائي ضمن القوانين والمخططات المائية.

1.4 غياب النصوص التشريعية المتعلقة بالشح المائي

تنص المخططات المتعلقة ببرنامج التدابير على سلسلة من الإجراءات المتعلقة بتقييم وتتبع تطور حالة الموارد المائية على مستوى الكم والجودة، وذلك لتحقيق الأهداف الاقتصادية والاجتماعية والبيئية. وفي تقريرها التقديمي وضعت وكالة الحوض المائي لأم الربيع مجموعة من التصورات والإجراءات لتدبير الموارد المائية خلال فترات الخصاص المائي من خلال ضمان وتأمين حاجيات الماء الشروب والصناعي الحالية والمستقبلية وحتى خلال فترات الجفاف الحاد (مع اعتبار الأولويات الاعتيادية لمختلف الاستعمالات وهي: أولا التزويد بالماء الصالح الشرب والصناعي، ثانيا السقي، ثالثا إنتاج الطاقة الكهرومائية)؛ وحماية المياه الجوفية والمحافظة عليها من الاستغلال المفرط، خصوصا في ظل تردد فترات الجفاف.

بالرغم من النصوص التشريعية لقانون الماء المتعلقة بالخصاص المائي، ورغم أن المخططات على الصعيد الوطني والمحلي (وكالات الأحواض المائية) تأخذ بعين الاعتبار التدابير والإجراءات اللازمة في حالة العجز المائي الناتج بالخصوص على الجفاف المناخي و/ أو الهيدرولوجي، إلا أنها لم تشر إلى مستويات صبيب الشح من خلال تعريف دقيق أو مؤشرات ومعايير **كـمية** يتم الارتكاز عليها للإعلان عن حالة الخصاص في الماء أو عن الشح المائي وتقدير مدى حدة وخطورة الوضع. حيث تم ترك إمكانية التصرف والتدخل لمسؤولي وكالة الحوض المائي لمعالجة الوضع بناءً على مؤشرات **نوعية** (استغلال مفرط، جفاف...) وحسب السياق العام والخصوصيات المحلية لكل حوض نهري.

وبالتالي فإن الخطط المتعلقة بالشح المائي تبقى شبه غائبة ضمن هذه التدابير، بالإضافة إلى شبه غياب للدراسات المرتبطة بهذه الإشكالية في علاقتها بالخصائص المناخية والطبيعية للأحواض المغربية. حيث أن تضمين تشريعات تتعلق بمستويات صبيب الشح من شأنه أن يكون ذا أهمية في سياق حماية وتثمين الموارد المائية.

2.4 أهمية النصوص التشريعية المتعلقة بالشح المائي

إن المشاكل المتعلقة بندرة المياه والارتفاع المتزايد لعدد الساكنة والتغيرات المناخية التي يعرفها العالم، تجعلنا نفكر جليا في دراسة دقيقة لمستويات صبيب الشح، خصوصا وأن جزءاً مهما من بلادنا يقع ضمن النطاق المناخي شبه الجافة المتميزة بقلة التساقطات المطرية.

إن الشح المائي حدث طبيعي معقد للغاية، لذا فهو يتطلب تمثيلا دقيقا حتى يتم تميزه عن أحداث الجفاف وفترات نزول الصبيب. ويعتبر التحديد الإحصائي أداة فعالة لتمييز الشح المائي من خلال القياسات اليومية والشهرية للصبيب على مستوى الحوض النهري. وبناء على قاعدة البيانات المتوفرة، واعتمادا على منهج إحصائي مبني على أسس علمية، يمكن تحديد مستويات صبيب الشح من خلال إجراء دراسة إحصائية، لوضع نماذج أفضل لها واقتراح مؤشرات أكثر اتساقاً، حسب الخصوصيات المناخية والطبيعية للأحواض النهرية.

وبالتالي، فإن المعرفة يمكن أن تتراكم في المستقبل حول دراسة أحداث الشح المائي، وذلك نظرا للإكراهات المرتبطة أساسًا بقضايا تغير المناخ والطلب المتزايد على الموارد المائية. كما أنها ستجعل من الممكن الحصول على رؤية أفضل للمشكلة وتزويد المسؤولين عن تدبير المياه بسبل للتفكير من أجل الاستخدام المعقلن للمورد المائية خلال هذه الأحداث، والحد من تضارب استخدام هذا المورد المنشود.

إن إدراج نصوص تشريعية متعلقة بالشح المائي ضمن قانون الماء وترجمتها إلى خطط مندمجة على أرض الواقع، سيكون له دور مهم في الرفع من جودة تدبير الموارد المائية في حالة الخصاص، حيث أنها ستضمن تفاصيل أكثر دقة في تدبير الموارد المائية، وتسليط الضوء على مكامن الخلل. كما أن تتبع معدلات صبيب الشح سيحدد بشكل محكم مستويات التدخل عند الضرورة لتدبير الأولويات في الاستعمال المائي، لضمان التوزيع العادل للموارد المائية بين الاستخدامات المختلفة. كما من شأنه ضمان صبيب دائم للمجاري المائية قدر الإمكان، وحالة بيئية جيدة للحفاظ على الحياة الحيوانية والنباتية على طول المجرى المائي.

ولتحقيق ذلك، يجب أن تتضمن النصوص التشريعية خططا لتدبير الشح المائي من خلال تحديد:

- الظروف التي يمكن في ظلها الإعلان عن الشح المائي، بما في ذلك اعتماد المؤشرات الهيدرولوجية المناسبة التي تحدد مستويات الشدة، ولا سيما قيم عتبات الصبيب (أو مؤشرات العجز للتساقطات المطرية في حالة غياب محطات المراقبة الهيدرولوجية)؛
- التدابير (المؤقتة) التي يتعين اتخاذها في مثل هذه الظروف الاستثنائية، وتنفيذ الإجراءات حسب درجة تجاوز هذه القيم، وذلك للحد من استخدامات المياه بأقل قدر ممكن؛

من الناحية العملية، فإن تحديد عتبات الصبيب لتدبير فترات الخصاص المائي مسألة معقدة، وتصطدم بمجموعة من الإكراهات المرتبطة أساسا بعدم مطابقة العتبات المرجعية لأحواض نهرية (مثلا) ذات حالة بيئية جيدة وتتميز بصبيب شح مدعم بتغذية باطنية. لذا لا يمكن تحديد قيم العتبة بشكل مستقل عن حجم الأحواض النهرية وكذلك الظروف

المناخية والجيولوجية للأحواض النهرية؛ كما يجب الأخذ بالاعتبار في تحديد العتبات الاستخدامات البشرية المصرح بها من قبل السلطات المختصة (وغير المصرح بها).

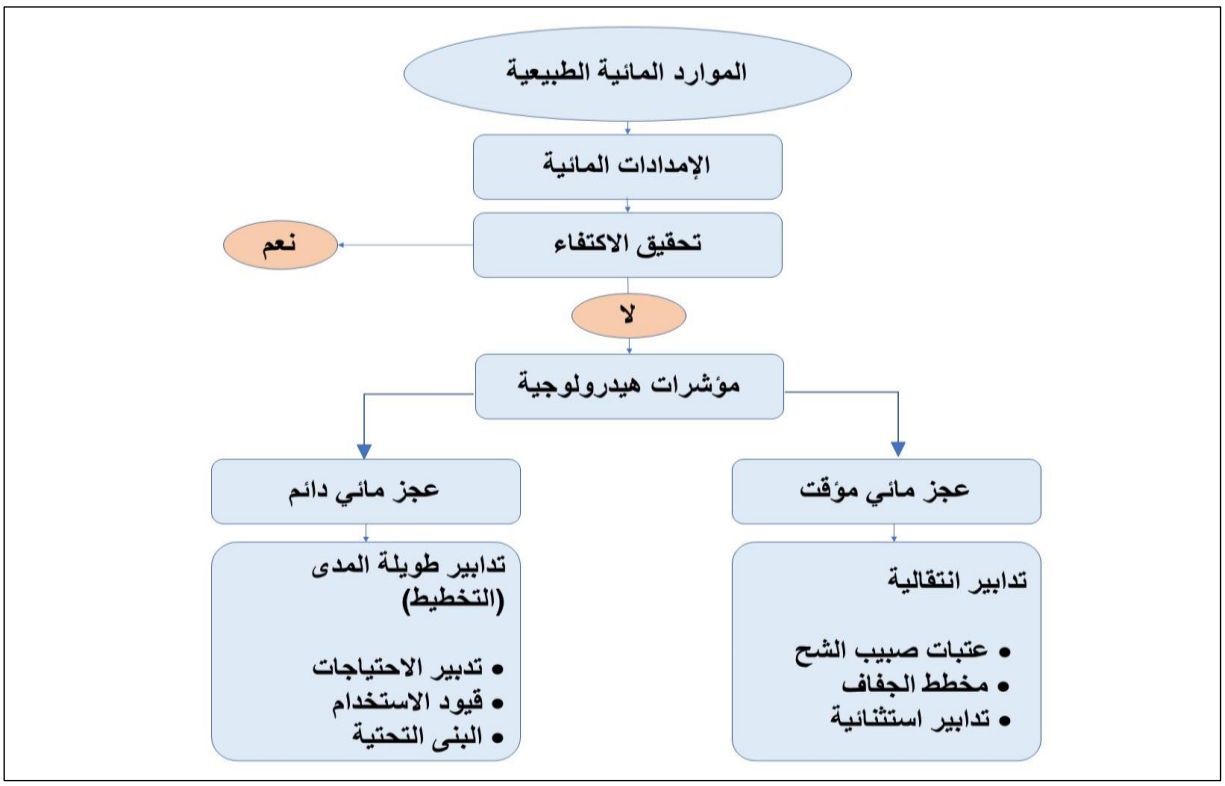
III. تدبير الشح المائي على مستوى حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف).

1. اقتراح مخطط لتدبير الشح المائي

يدل الشح المائي على المستويات الدنيا التي تبلغها المياه الجوفية والمجاري المائية خصوصا خلال السنوات الجافة. لذا، تتطلب هذه الوضعية نظاما متناسقا لإدارة الأحواض النهرية خلال الفترات الجافة. واستنادا إلى الدراسة المقارنة لعدد من الأنظمة المائية على الصعيد الدولي، وباطلاعنا على النصوص التشريعية بفرنسا التي عرفت تقدما كبيرا في مجال تدبير الموارد المائية خلال فترات الأزمات، يمكن اقتراح خطط لإدارة مستدامة ومتكاملة للموارد المائية على الصعيد الوطني.

يمثل الشكل 7 نموذجا مُقترحا لنظام تدبير الخصاص المائي:

شكل 7: نموذج مُقترح لنظام تدبير الخصاص المائي



يمكن تشكيل هذا النظام لتدبير فترات الشح المائي على الصعيد المحلي من خلال أحواض نهرية مرجعية (أحواض أكثر تأثرا وأخرى أقل)، مُدارة بواسطة محطات هيدرومترية مرجعية. يحدد هذا النظام لكل محطة مستويين من الصبيب **على الأقل**، من خلالهما يمكن اتخاذ مجموعة من الإجراءات:

عتبة صبيب اليقظة: عند بلوغ الصبيب مستوى أدنى من هذه العتبة يتم اتخاذ تدابير التنبيه والتوعية للاقتصاد في الماء، مع تحديد الإجراءات الأولى لتخفيض استعمال المياه إذا لزم الأمر ذلك؛

عتبة صبيب الأزمة: تحت هذا المستوى يتم اتخاذ تدابير للحد من عمليات جلب المياه أو إلغاءها، وضمان إمدادات مياه الشرب والحفاظ على جودة البيئات الطبيعية.

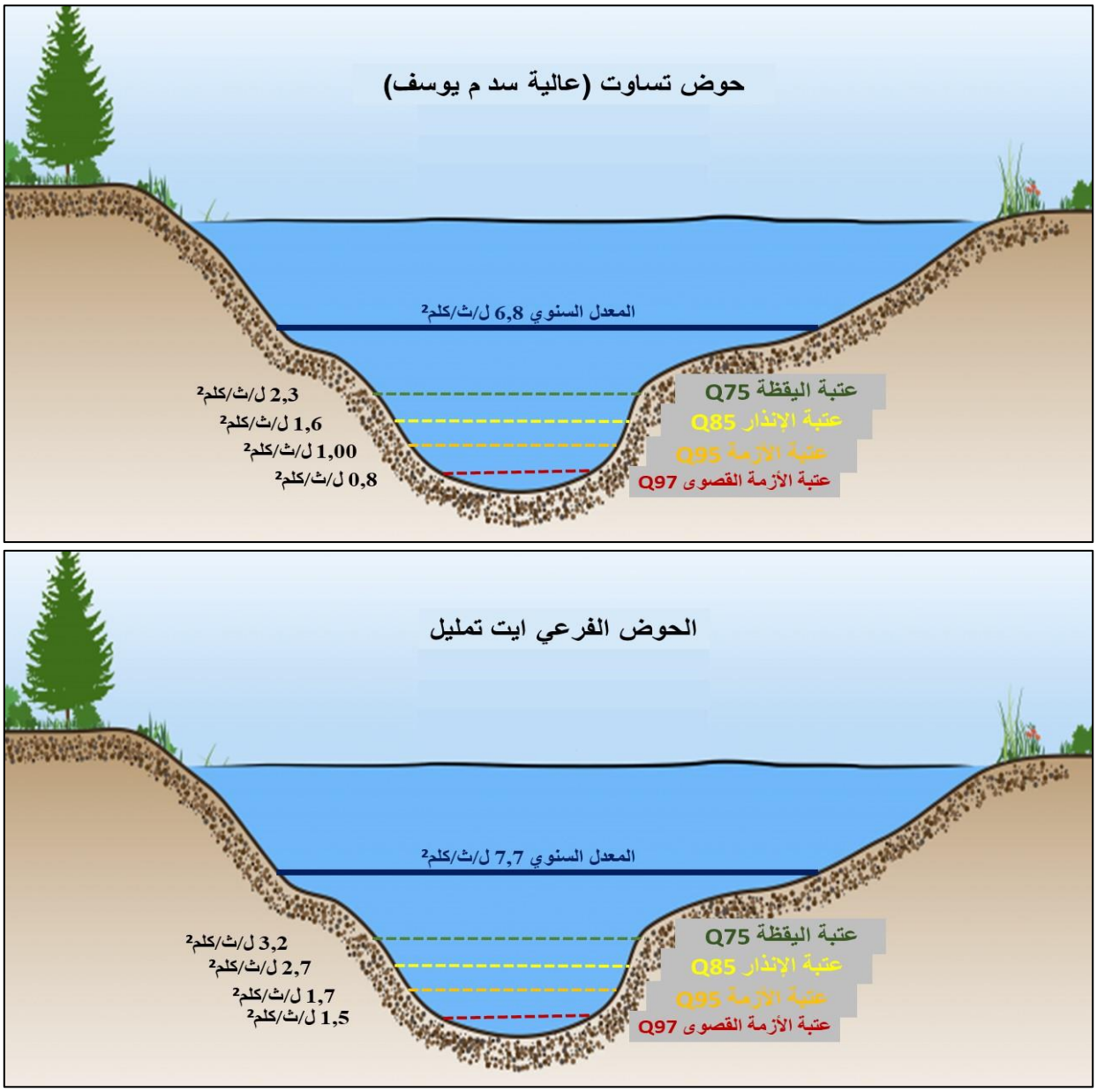
يتم اتخاذ نفس الإجراءات لتدبير المياه الجوفية. كما يجب الأخذ بعين الاعتبار في تدبير الخصاص المائي الخصوصيات الطبيعية وأنواع الاستخدامات البشرية بالحوض النهري أثناء تحديد العتبات المختلفة وتنفيذ الإجراءات في حالة تجاوزها.

2. تحديد مستويات صبيب الشح واقتراح التدابير والإجراءات

يمكن أن يكون لاستخدام المياه على وجه الخصوص أثناء فترات الشح المائي تأثير على وظائف الاستخدام، مثل سقي المزروعات واستعمالات أخرى، ولكن بالطبع أيضًا على الأهداف البيئية. لهذا السبب من المهم معرفة ما إذا كان الانخفاض المتزايد في معدلات صبيب الشح أو التغيير في نظام الصبيب (بما في ذلك تغيرات الصبيب) الناجم عن جلب المياه أو المتعلقة بالأنشطة البشرية هو المسؤول عن الآثار السلبية. في هذه الحالة، يتطلب ذلك تنسيق الجهود للجهات المختصة والمتدخلين المعنيين حتى يتم إيجاد الحلول المناسبة ومعالجة الآثار السلبية.

على ضوء الدراسة الإحصائية لبيانات الصبيب على المستوى اليومي والشهري لمحطتي أيت تمليل وتمسماط بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، تمكنا من استخراج مجموعة من المؤشرات التي يمكن أن تدل عن حدوث الشح المائي (شكل 8).

شكل 8: مؤشرات صبيب الشح وتحديد عتبات اليقظة والإنذار والأزمة بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) والحوض الفرعي لواد أيت تمليل



تم تتبع مستويات صبيب الشح بحوض الدراسة على أساس المؤشرات المستخرجة من منحنى الصبيب المصنف (DC) ومعدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) ومعدل الصبيب الأدنى على مدى d يوم متتالية (VCN_d). وقد

تم تحديد مستويات وشدة الشح المائي وفقًا لتصنيف مقترح حسب أربع فئات، تفصلها مؤشرات الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% و 85% و95% و97% (**Q_{75}** و **Q_{85}** و **Q_{95}** و **Q_{97}**) التي تحدد، على التوالي، عتبات اليقظة والإنذار والأزمة ثم الأزمة القصوى.

يأتي اقتراح عتبات اليقظة والإنذار والأزمة والأزمة القصوى استنادا إلى الدراسة الإحصائية التي تم إجراؤها على السلسلة الإحصائية بمحطتي الدراسة للحوض. هذه العتبات تم وضعها بشكل تصاعدي كما يوضح الشكل 8. لكن لا يمكن أن تتطابق هذه العتبات دائمًا مع خصائص الصبيب بكيفية مماثلة للتفييء الذي تم اقتراحه، وتبقى لكل حوض خصائصه الطبيعية والبشرية التي تميزه.

يوضح الجدول 72، التدابير المقترحة حسب مستويات صبيب الشح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) باعتماد المؤشرات المقترحة انطلاقا من منحنى الصبيب اليومي المصنف ومعدلات الصبيب الأدنى على المستوى الشهري واليومي لفترات الرجوع 2 و5 و10 سنوات.

جدول 72: التدابير المقترحة حسب مستويات صبيب الشح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

عتبة اليقظة	**Q75** **$VCN_{60}(2)$** **QMNA(2)**	• **توعية الساكنة للاقتصاد في الماء؛** • **تهيئة وترميم السواقي، وتشجيع بنائها بالإسمنت المسلح للتقليل من ضياع الماء؛**
عتبة الإنذار	**Q85** **$VCN_{30}(2)$** **QMNA(5)**	• **بداية فرض القيود الأولية في جلب المياه للاستعمالات المختلف؛** • **ضمان الوظيفة السليمة للبيئة من خلال منع تصريف النفايات وبقايا استعمالات المطاحن وغسل الملابس في المجرى المائي.**
عتبة الأزمة	**Q95** **$VCN_{30}(5)$** **QMNA(10)**	• **تعزيز تدابير للتخفيف من عمليات جلب المياه من المجرى المائي والاقتصار فقط على المزروعات الأساسية وغير المستهلكة للماء؛** • **منع جلب المياه من العيون والمنابع وضمان إمدادات مياه الشرب.**
عتبة الأزمة القصوى	**Q97** **$VCN_{30}(10)$**	• **ضمان بقاء بيئة مائية صحية؛** • **ضمان إمدادات مياه الشرب؛** • **التوقف الكلي لعمليات جلب المياه.**

يمكن لهذه العتبات المقترحة باعتماد مؤشرات صبيب الشح المستخلصة أن تتغير من حوض لآخر حسب الخصوصيات البشرية والمناخية والطبيعية والنظام الهيدرولوجي لكل حوض، كما أن حجم التغذية الباطنية للمجاري المائية ومساحة الحوض عاملان أساسيان في تحديدها. ويظهر ذلك جليا بالنسبة لحوضي الدراسة، فعالية الحوض تتميز بصبيب شح مدعم بتغذية باطنية، وبقيمة مرتفعة لمؤشرات صبيب الشح (Q_{75} يساوي 3,24 ل/ث/كلم^2 بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل)، في المقابل نجد قيم أقل لهذه المؤشرات بسافلة الحوض (Q_{75} يساوي 2,32 ل/ث/كلم^2 بحوض تساوت عالية سد مولاي يوسف).

كما تجدر الإشارة إلى أن هذه التدابير التنظيمية المقترحة يجب أن تسبقها إجراءات أخرى مرتبطة بالاستعمالات المختلفة للماء، والتي سنوردها ضمن الاقتراحات والتوصيات حول تدبير الموارد المائية.

خلاصة

إن تحديد عتبات ومستويات صبيب الشح من شأنه أن يعطي رؤية واضحة للمدبرين في قطاع الماء، وذلك بربطها بالإجراءات الاستباقية من أجل تفادي الوقوع في الأزمات أو تجاوزها في حالة حدوثها، وكذلك اعتماد العناصر والحلول الاستراتيجية، للتخفيف من حدة المخاطر المرتبطة بالجفاف والخصاص المائي عن طريق التدبير المعقلن، والبحث عن العوامل المؤثرة، لأن مقاومة الإنسان للأخطار والكوارث المناخية يقتضي التدبير عن طريق التنبؤ والوقاية والإصلاح.

خاتمة الفصل الثاني عشر

حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، باعتباره ينتمي للمجالات الهشة، هو نموذج للأحواض التي تعرف دينامية بشرية قوية، رغم وعورة التضاريس، فالساكنة منذ القدم بدأت تتأقلم مع المجال وتزاول أنشطتها الفلاحية والرعوية.

يتأثر الشح المائي ويؤثر على نظام الدورة السقوية ونوع الأنشطة الفلاحية، كما يؤدي إلى تركيز بعض المواد التي تخفض من جودة المياه. ويمكن إجمال النتائج التي تم التوصل إليها فيما يلي:

- تتراوح الدورة السقوية بين 7 أيام و15 يوم، وتتغير من فصل لآخر ومن سنة لأخرى، فكلما قلت الموارد المائية كلما تم التمديد في الفترة الزمنية للدورة المائية؛
- يتراوح صبيب السواقي بين 30 و180 لتر/ث؛
- يبلغ حجم المياه المجلوبة ذروته خلال الفترات الجافة من السنة، وتبلغ نسبة صبيب المياه المجلوبة خلال هذه الفترة بين 18% و 46% خلال الفترة الممتدة بين شهري يونيو ونونبر؛
- تعرف مياه المجرى المائي جودة جيدة على العموم، باستثناء بعض النقط حيث دلت بعض المؤشرات إلى نقص في جودة المياه، كظهور النباتات المائية (الطحالب) وانخفاض درجة حموضة الماء بمنطقة ايفولو وارتفاع قيمة العكارة بمنطقة ايت إبراهيم (سافلة الحوض).

ورغم المجهودات المبذولة، من طرف الدولة عن طريق الإدارات الممثلة لها، فلازالت المنطقة تعرف مجموعة من الإكراهات الطبيعية والبشرية، التي تستوجب التدخل لإيجاد حلول آنية وتخطيط متكامل على المدى الطويل لضمان استدامة الموارد المائية والحفاظ على الخدمات البيئية. ومن خلال الدراسة المقارنة لعدد من الأنظمة المائية على الصعيد الدولي تم اقتراح خطط لتحديد وتدبير مستويات صبيب الشح، على ضوئها يتم اتخاذ مجموعة من الإجراءات للتدخل من خلال تدابير استباقية. ويبقى الهدف الأساسي من ذلك هو تحقيق تنمية بشرية مستدامة اعتمادا على أهداف محددة بدقة تدمج الأبعاد البيئية والاقتصادية.

خاتمة القسم الرابع

أوضحت النتائج، على مستوى الدراسة الميدانية للشح المائي، أن هناك تباين مجالي في الجريان السطحي للأحواض الوحدوي خلال فترات الشح المائي. هذا التباين يعكس التنوع الصخاري، إذ أن الخزانات الجوفية تلعب دورا مهما في تغذية الجريان السطحي في فترات الشح المائي، وذلك ما أكدته نتائج العائد الهيدرولوجي بالنسبة لعالية الحوض، حيث أنه أكثر إنتاجية للموارد المائية خلال مختلف الفترات من السنة.

اعتمدنا في إعادة تشكيل الصبيب على أنموذجين هيدرولوجيين مختلفين في درجة التعقيد وخصوصيات المتغيرات المميزة لكل منهما، غير أنهما يشتركان في المدخلات الهيدرومناخية المعتمدة. وقد أظهرت مؤشرات الأداء، حساسيتها لقيم الصبيب القصوى من جهة، وتقارب فعالية الأنموذجين في محاكاة صبيب الشح من جهة أخرى. وقد بينت النتائج جودة أكبر بالنسبة للأنموذج الهيدرولوجي GR4J الذي اثبت فعاليته في محاكاة الصبيب في مرحلتي التثبيت والتحقق بالنسبة لقيم الصبيب المنخفضة، ويدل على ذلك مؤشرات الأداء الخاصة بقيم الصبيب الضعيفة التي فاقت 60% في أغلب الحالات. أما بخصوص التنبؤ بصبيب الشح، فقد اعتمدنا على طريقتين تعتبران من أهم مناهج التنبؤ بصبيب الشح والنضوب المائي؛ **قوانين النضوب المائي باعتماد المعامل α والأنموذج الهيدرولوجي GR4J.** وقد أثبتت الطريقتان فعالية كبيرة في التنبؤ واستقراء قيم الصبيب على المدى القريب والمتوسط.

يعرف حوض الدراسة أنشطة بشرية قوية، وتعتبر الفلاحة السقوية أكثر الأنشطة المستهلكة للماء. وبالتالي، فإن علاقة التأثر والتأثير قائمة بشكل قوي بين هذين العنصرين. حيث يؤثر الشح المائي على نظام الدورة السقوية، فكلما قلت الموارد المائية كلما تم التمديد في الفترة الزمنية للدورة المائية، بالإضافة إلى نضوب بعض العيون والمجاري المائية الصغيرة مما يؤثر على الأنشطة الفلاحية، والتي بدورها تؤثر على صبيب المجاري المائية، إذ يبلغ حجم المياه المجلوبة ذروته خلال الفترة الصيفية، بنسبة تبلغ 46% من حجم الصبيب. كما تتأثر جودة المياه لبعض المواقع من المجرى المائي كظهور النباتات المائية (الطحالب) وانخفاض درجة حموضة الماء، وذلك نتيجة السلوكات بشرية.

وانطلاقا من المعالجة الإحصائية لخصائص صبيب الشح والدراسة المقارنة لمجموعة من الأنظمة المائية على الصعيد الدولي، تم اقتراح تخطيط لتدبير الخصاص المائي الذي يمكن أن ينتج عن تردد فترات الشح المائي، من خلال اتخاذ مجموعة من الإجراءات الاستباقية حسب مؤشرات هيدرولوجية تم تحديدها مسبقا.

خـــاتمة عامة

أفرزت الدراسة على حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) مجموعة من النتائج تبعا للأهداف المسطرة في بداية الأطروحة. تتمحور الإشكالية العامة للأطروحة حول دراسة الموارد المائية والشح المائي انطلاقا من تحديد واستخلاص ونمذجة صبيب الشح بحوض الدراسة. ولمعالجة هذه الإشكالية كان لابد من دراسة مجموعة من العوامل والآليات المرتبطة بالجريان (العوامل الطبيعية والبشرية والمناخ...). فمعرفة وضبط هذه الآليات والميكانزمات المرتبطة بأنماط الجريان بشكل عام والشح المائي بشكل خاص، ستمكننا من تحديد العوامل التي تؤثر على نظام صبيب الشح خصوصا خلال الفترات والمواسم الجافة من السنة. كما يجب الأخذ بعين الاعتبار التأثير البشري على هذا النظام بشكل مباشر أو غير مباشر.

ينتمي حوض الدراسة إلى الأطلس الكبير الأوسط، إذ يتميز بتضاريس متنوعة وانحدارات قوية (21,5%)، كما يبغ أقصى ارتفاع في الحوض 3978 متر عند منبع واد تساوت (جبل مكون) وأدنى ارتفاع 900 متر (سد مولاي يوسف)، وتبلغ مساحة الحوض 1307 كلم^2. وقد بينت النتائج أن العامل الطوبوغرافي المتمثل في الانحدارات القوية والتي تتعدى نسبتها 70 % من مساحة الحوض ستساهم في تسريع وتيرة الجريان والسيلان في الحوض. كما شكلت العوامل الجيولوجية دعامة أساسية في نفاذية الحوض، حيث تميزت التشكيلات بغلبة رواسب اللياس المكونة أساسا من الصخور الكلسية والدولوميتية والحثية (87% من مساحة الحوض)، كما تظهر في المجال فوالق وانكسارات مهمة أدت إلى تعقد البنية الجيولوجية، هذه المميزات الجيولوجية ستسمح بتسرب كميات مهمة من الأمطار والمياه السطحية (معامل النفاذية يساوي 4,4 %) وبالتالي تساهم في تغذية الفرشة المائية. وقد شكل الغطاء الغابوي نسبة ضعيفة لم تتجاوز 24% من المساحة الكلية للحوض، إذ تنتشر أشجار الماطورال بسافلة ووسط الحوض، خصوصا بالضفة اليمنى من واد تساوت والسفوح الشمالية. أما المغروسات والمزروعات المسقية فهي متمركزة أساسا في أعماق الأودية على ضفاف المجاري المائية. تتميز الشبكة الهيدروغرافية بكثافة متوسطة إلى ضعيفة، وهذا راجع إلى الخصوصيات الصخارية ذات النفاذية المهمة، كما أن أغلب الروافد تتميز بموسمية الجريان، باستثناء أسيف بوعلي وأسيف أوروس بسافلة الحوض. يغذي المجرى المائي لتساوت منابع تساوت المتواجدة بعالية الحوض، بالإضافة إلى عدد مهم من العيون المتواجدة بالضفاف على طول المجرى المائي. يعرف حوض الدراسة دينامية مهمة فيما يتعلق بالأنشطة الفلاحية، رغم وعورة التضاريس. إن المساحات المسقية هي نتيجة تجهيز هيدروفلاحي، تطلب جهدا كبيرا من طرف ساكنة القبائل لشق السواقي الترابية والإسمنتية لجلب المياه، وقد انخرطت الدولة، في العقود الأخيرة، في جزء مهم من ذلك، حيث بدلت مجهودا كبيرا لتهيئة المجالات المسقية في المناطق النائية، عن طريق صيانة هذه التجهيزات الهيدروفلاجية. وتقع أغلب المجالات الفلاحية في بطون الأودية مجاورة للمجاري المائية، ويبلغ مجموع طول شبكة السواقي بالحوض 186 كلم، وما يميزها أنها تنقسم إلى سواقي دائمة الجريان وسواقي موسمية، وقد لعبت هذه السواقي دورا كبيرا في الاستقرار البشري بالمنطقة مند القديم، كما أن الساكنة وضعت قوانين عرفية صارمة لتنظيم تدبير توزيع مياه السقي.

يخضع حوض الدراسة لتأثيرات المناخ شبه الجاف، بمعدل تساقطات مطرية بلغ 514 ملم بمحطة تمسماط و 458 ملم بمحطة أيت تمليل خلال المدة الزمنية (1976 - 2016). وبناءً على التحليل المناخي لبيانات التساقطات المطرية لمحطتي الدراسة خلال نفس السلسلة الإحصائية، تبين أن بعض الفترات عرفت جفافا مفرطا، وقد كشف المؤشر SPI عن شدة الجفاف المناخي خلال الفترتين (1976-1986) و (2008-2016). وكانت سنة 2001 استثنائية بالنسبة لكلتا محطتي الدراسة، حيث عرفت جفافا مناخيا مفرطا، إذ سجل مؤشر التساقطات المطرية قيم سلبية منخفضة (SPI<-2) بمحطتي الدراسة. كما سجلت سنة 1996 رطوبة مفرطة، سجل فيها مؤشر التساقطات المطرية قيما مرتفعة (SPI>2). وقد أظهر المعامل الشهري للتساقطات المطرية (CMD) أن فترات الوفرة امتدت على طول 6 أشهر (من شهر نونبر إلى شهر أبريل) بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، و5 أشهر فقط (من شهر نونبر إلى شهر مارس) بالنسبة للحوض الفرعي أيت تمليل. أما على مستوى التساقطات المطرية اليومية فقد تميزت محطة تمسماط بتردد القيم الأكثر من 10 ملم والتي تمثل 46 % من إجمالي التساقطات المطرية

بالمحطة، حيث تساهم بشكل كبير في الواردات المطرية، عكس محطة أيت تمليل، والمتميزة بتردد مهم لقيم التساقطات المطرية اليومية الأقل من 10 ملم. على ضوء التحليل الإحصائي لمعطيات درجات الحرارة والتبخر-النتح بمحطة ايت سكمين خلال السلسلة الزمنية (1986-2016)، تبين أن الفترة الزمنية (2006– 2009) سجلت نزعة قوية نحو الارتفاع، في درجات الحرارة والتبخر، بمعدل تدرج تصاعدي بلغ 1,6 °C في السنة. وأفرزت نتائج الميزانية المائية موسمين حراريين خلال السنة؛ موسم شتوي ممتد على مدى خمسة أشهر، بكميات التبخر-النتح المحتمل منخفضة، وتساقطات مطرية مهمة، ثم موسم صيفي ممتد على مدى سبعة أشهر، متميز بعجز مائي نتيجة قوة التبخر-النتح المحتمل، في مقابل قلة التساقطات المطرية. أوضحت الدراسة الهيدرولوجية أن نظام الجريان لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) يخضع لخصائص المناخ شبه الجاف، المتميز بتساقطات مطرية معتدلة وكميات التبخر-النتح مهمة، بالإضافة إلى تأثير العامل الجيولوجي. بلغ معدل الصبيب خلال السلسلة الإحصائية المدروسة (1978 – 2016) 8,9 م^3/ث بمحطة تمسماط التي تمثل مجمل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، و4,1 م^3/ث خلال نفس السلسلة الإحصائية عند محطة أيت تمليل التي تمثل الحوض الفرعي لواد أيت تمليل بالعالية. وقد عرفت سنتي 1988 و1996 موارد مائية مهمة على التوالي بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل وحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، بصبيب نوعي تجاوز 15 لتر/ث/كلم^2 بحوضي الدراسة. في المقابل سجلت سنتي 1984 و1983 عجزا مائيا كبيرا بلغ 2,2 لتر/ث/كلم^2 بحوضي الدراسة. يتميز الحوض الفرعي لواد أيت تمليل بنظام الهيدرولوجي مطري-ثلجي بمنوالين الأول في شهر مارس والثاني في شهر دجنبر، حيث انخفاض درجات الحرارة يساهم في إبقاء التساقطات الثلجية في حالتها الصلبة. وتمتد فترات الوفرة بحوضي الدراسة على مدى 5 أشهر، حيث تبلغ ذروتها في شهري مارس وأبريل، إذ يعرف المجرى المائي تغدية مزدوجة بين ذوبان الثلوج والتغذية الباطنية بالإضافة إلى التساقطات المطرية. وقد أوضحت نتائج التحليل الهيدرولوجي على المستوى المجالي مردودية مرتفعة من حيث الموارد المائية بعالية الحوض، إذ بلغت الصفيحة المائية 240 ملم (52% من الواردات المطرية) بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل، في مقابل 215 ملم أي ما يعادل 42% من الواردات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، ويفسر هذا التباين بالعامل الجيولوجي حيث أن عالية الحوض تتشكل من تكوينات قوية النفاذية (الصخور الكلسية المنكسرة) التي ستساهم في الإمدادات المائية خلال مختلف فترات السنة.

يشكل تحليل المعطيات الطبيعية والمناخية وأنماط الجريان لحوضي الدراسة مرحلة أساسية في فهم ومعالجة إشكالية الأطروحة، المتمحورة بشكل أساسي حول تحديد واستخلاص مؤشرات صبيب الشح. على مستوى النتائج، فقد تم استخلاص هذه المؤشرات باعتماد ثلاث طرق مختلفة بمقاييس زمنية مختلفة. على المستوى الشهري تم استخلاص **معدلات الصبيب الشهري الأدنى (QMNA)**، التي تخضع لتقويم زمني محدد، وسهل الاستخلاص انطلاقا من المعدلات الشهرية. على مستوى النتائج، سجلت هذه المعدلات تغايرية قوية من سنة لأخرى، كما ترددت بعض القيم خلال فترات صعود الصبيب، خصوصا بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل (عالية الحوض) الذي يتميز بنظام هيدرولوجي مطري-ثلجي. وبينت الدراسة الإحصائية للترددات تباين طول فترات الشح المائي بين عالية الحوض وسافلته، وقد تميزت بعض السنوات بفترات ممتدة لعدة أشهر، حيث سجلت سنتي 1983 بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) و1984 بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل أكثر السنوات التي عرفت أطول فترات الشح المائي. على المستوى اليومي، أستُخلصت **معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم (VCN_d)**، والذي يمثل الشح المائي على المستوى اليومي خلال السنة على مدى d يوم متتالية. وانطلاقا من المعطيات اليومية للصبيب اليومي خلال السلسلة الإحصائية (1978-2016) تم استخلاص VCN على مدى 1 و3 و5 و10 و15 و20 و30 و60 و90 يوم، والتي أوضحت تغيرات في قيم اللشح المائي على المستوى الزمني (من سنة لأخرى) وعلى المستوى المجالي بالحوض، أي بين عالية الحوض وسافلته. ويمكن تفسير هذا التغاير المجالي بتنوع خصائص الحوض النهري، حيث أن عالية الحوض تتميز بصبيب مدعوم بوجود فرشة مائية غنية، وركيزة صخرية ذات نفاذية مهمة. وقد تم تأكيد ذلك من خلال دراسة التراجع النظري بين الفترات المختلفة لمعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم (VCN_d)، وإنجاز تعديل بدلالة المدة d بحوضي الدراسة. واعتمادا علي بيانات الصبيب اليومي، تم استخلاص مؤشرات صبيب الشح باعتماد الطريقة الشاملة **لمنحنى الصبيب اليومي المصنف**، وذلك لسهولة استخلاصها، ولأنها الأكثر استعمالا

من طرف أغلب الباحثين. وقد أظهرت هذه الطريقة تباين مجموع عدد الأيام في كل سنة حسب العتبات المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف على المستوى الزمني والمجالي، حيث أن اعتماد الصبيب اليومي المصنف بنسبة 90 % (Q_{90}) أفرز نسبة أقل من 72 % من السنوات التي عرفت عدد الأيام تحت هذه العتبة، وعند رفع عتبات الصبيب اليومي المصنف من 80% إلى 50% فقد تراوحت نسبة السنوات التي عرفت أيام تحت العتبات المحددة ما بين 83% و 97% بالنسبة لحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف). وقد أوضحت دراسة العجز المائي باعتماد طريقة خوارزمية الذروات المتتالية (SPA) فترات عجز ممتدة لبعض السنوات بالنسبة للعتبات الأقل من **75%** من منحنى الصبيب المصنف، فيما كان الامتداد الزمني قصيرا إلى متوسط بالنسبة لعتبات الأكثر من **75%** (بين 75 و90%).

اختلفت طرق تحديد فترات الشح المائي، والتي يمكن من خلالها تحديد مستوياته ومدته حسب نوع الدراسة الهيدرولوجية. وبالتالي يمكن استخلاص فترت الشح المائي حسب عتبات محددة، فالعتبات الدنيا، الموافقة للشح المائي الحاد، يمكنها أن تقتصر على بعض السنوات التي عرفت جفافا هيدرولوجيا. وقد جاء اقتراح الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75% (**Q_{75}**) كعتبة للشح المائي لتحديد حالة الوضع الهيدرولوجي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) بناءً على دراسة إحصائية ومقارنة لمؤشرات صبيب الشح باعتماد مقاييس زمنية مختلفة. من جهة أخرى، تمت مراعاة نوع من التوازن في اختيار المؤشر الملائم، حتى لا يتم الاقتصار على الأحداث الهيدرولوجية الأقل ترددا، أو غير المتطرفة.

سمحت لنا الدراسة الميدانية، لمجموعة من الأحواض الوحدوية، إجراء تقييم دقيق للموارد المائية بالحوض المدروس. على مدى أربع سنوات من الدراسة تم إجراء 19 حملة للقياس، توزعت على طول فترات السنة مع التركيز على فترات غياب التساقطات المطرية ونزول الصبيب الممتدة من شهر ماي إلى شهر أكتوبر. تضمنت هذه الحملات 173 قياسا نقطيا ل 15 حوضا فرعيا وحدويا. وقد أوضحت الدراسة الميدانية، من خلال استخلاص معامل النضوب المائي أن الطبقات الجوفية بعالية الحوض تتميز بتغذية باطنية مهمة مقارنة مع سافلة الحوض، وهذا راجع بالأساس إلى التشكيلات ذات النفاذية المهمة، التي تحتجز كميات مهمة من المياه من خلال التصريف البطيء. كما بيَّن تحليل المقطع الهيدرولوجي أن الصبيب النوعي يزداد بشكل اطرادي مقارنة مع المساحة، من سافلة الحوض في اتجاه العالية، الشيء الذي يعكس الظروف الهيدروجيولوجية التي يمر منها المجرى المائي عبر مساره من عالية الحوض إلى سافلته. وفي الأخير، أكدت نتائج العائد الهيدرولوجي النتائج المتوصل إليها حسب طريقتي معامل النضوب المائي والمقطع الهيدرولوجي، حيث إن عالية الحوض أكثر إنتاجية للموارد المائية خلال مختلف الفترات من السنة (فترات نزول وصعود الصبيب). إن الدراسة الميدانية سيرورة بالغة الأهمية في تدقيق وتحديد خصوصيات الجريان في علاقته بالظروف الطبيعية والبشرية التي تميز الأحواض الوحدوية.

نظرا لأهمية التغذية الجوفية في الجريان السطحي، تم تسليط الضوء على دراسة النضوب المائي، باعتباره مرحلة أساسية وجزء لا يتجزأ من أحداث الشح المائي. وقد أبرزت النتائج المحصل عليها تغايرية قوية لمعاملات النضوب المائي على المستوى الزمني والمجالي، وبالتالي، ضرورة البحث عن قيمة متوسطة لمعامل النضوب المائي، من أجل ربط هذه المعاملات بالخصوصيات الصخارية للحوض ووتيرة التفريغ للطبقات الجوفية. وانطلاقا من علاقة التناسب بين Q_0 و Q_t تم استنتاج المنحنى الرئيسي للنضوب المائي، بربط هذه العلاقة بالمدة t (الأيام). وقد حُددت α الرئيسية، التي تعكس درجة الانحدار، بتعديل المنحنى حسب قانون Maillet، واستنتاج سرعة الإفراغ بكل حوض. وأظهرت النتائج بطء الإفراغ بالنسبة للخزانات الجوفية للحوض الفرعي أيت تمليل. لذا فإن هذه النتائج تتوافق مع المميزات الهيدروجيولوجية للحوض. فيما يتعلق بنتائج فصل الصبيب الأساس، يعرف حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) تغذية باطنية مهمة تجاوزت 50% من مجموع الصبيب الكلي (حسب المؤشر الصبيب الأساس BFI). تساهم هذه التغذية الباطنية المهمة التي توفرها الطبقات الجوفية بنسبة مهمة في الإمدادات المائية للمجرى المائي خلال فترات الشح المائي، وكذا السنوات التي تسجل عجزا كبيرا في التساقطات المطرية.

تشكل النمذجة الهيدرولوجية والإحصائية أداة بالغة الأهمية في إعادة تشكيل والتنبؤ بالصبيب. لذا تم اعتماد على أنموذجين هيدرولوجيين مختلفين لنمذجة الجريان بحوض الدراسة. وقد أثبت الأنموذج الهيدرولوجي GR4J فعاليته في محاكاة الصبيب في مرحلتي التثبيت والتحقق بالنسبة لقيم الصبيب المنخفضة، وتم التأكد من ذلك من خلال تقييم فعالية الأنموذج انطلاقا من مؤشرات الأداء الخاصة بقيم الصبيب الضعيفة التي فاقت 60% في أغلب الحالات. على مستوى التنبؤ بصبيب الشح، تم الاعتماد على طريقتين تعتبران من أهم مناهج التنبؤ بصبيب الشح والنضوب المائي، وهي **قوانين النضوب المائي باعتماد المعامل α والنمذجة الهيدرولوجية باعتماد GR4J**، وقد أثبتت الطريقة الأولى فعالية كبيرة في التنبؤ واستقراء قيم الصبيب على المدى القريب والمتوسط. وتتجلى الميزة الأساسية لهذه المنهجية أنها مشروطة بدراسة إحصائية قبلية لسلوك الجريان خلال فترات النضوب المائي على مدى السلسلة الإحصائية المدروسة. كما مكنت الطريقة الثانية (النمذجة الهيدرولوجية) من التنبؤ بصبيب الشح مع مراعاة الوضع الهيدرولوجي لفترة ما قبل التنبؤ، بالإضافة إلى التأثير المحتمل للعوامل المناخية.

ترتبط دراسة وفهم الشح المائي، بشكل وطيد، بالخصوصيات البشرية، أي تلك الممارسات البشرية التي يمكن أن تؤدي إلى الإخلال بالتوازنات البيئية. لذا تم اعتماد مقاربة العمل الميداني في تحليل العلاقة بين الموارد المائية والأنشطة البشرية من خلال تحديد كميات المياه المستعملة في السقي على الخصوص باعتباره القطاع الأكثر استهلاكا للماء (قياس صبيب السواقي)، وتتبع جودة المياه باعتماد أجهزة القياس في الموقع. وقد أظهرت النتائج ضغطا كبيرا على المواد المائية المتاحة بالحوض المدروس خلال فترات العجز المائي. وهذا الوضع سيؤدي إلى الزيادة في شدة الشح المائي، وبلوغ عتبات منخفضة جدا خلال السنوات الجافة. خصوصا أن غالبية مستخدمي الماء يعتمدون على نظام سقي تقليدي (السقي الانجذابي، تقنية الغمر) الذي يستهلك كميات كبيرة من الماء. أما على مستوى جودة المياه السطحية فقد بينت بعض المؤشرات على تأثرها خلال فترات الشح المائي، كظهور النباتات المائية (الطحالب) وانخفاض درجة حموضة الماء بوسط وسافلة الحوض. إلا أن جودة المياه السطحية تبقي جيدة إلى متوسطة حسب المعايير الوطنية والدولية لجودة المياه. لكن المؤشرات الأولية تنذر أن جودة المياه يمكن أن تصبح مهددة في المستقبل بسبب الأنشطة البشرية المتزايدة.

يعرف قطاع الماء في المغرب مجموعة من الإكراهات، مرتبطة أساسا بطول فترات الجفاف وتفاقم الظواهر المناخية القصوى بفعل تأثير التغيرات المناخية، بالإضافة إلى الزيادة المستمرة في طلب هذه المادة. ولمواجهة كل هذه الإشكالات لابد من إيجاد حلول لترشيد استعمال الموارد المائية المتاحة والحفاظ، في نفس الوقت على التوازنات البيئية خلال فترات الخصاص المائي. لأجل ذلك، قمنا بجرد مختلف القوانين والأنظمة المؤطرة لإجراءات إدارة الموارد المائية خلال فترات الشح المائي على الصعيد الدولي والوطني والمحلي. على **المستوى الدولي**، تختلف استراتيجيات تدبير الخصاص المائي خلال فترات الشح المائي من دولة لأخرى حسب توافر واستخدام المياه ووظائف هذا الاستخدام، كما تختلف في تحديد عتبات ومستويات صبيب الشح. إلا أنها تشترك في تنفيذ بعض التدابير مثل تقييد أو إيقاف الاستخدامات حسب الأولويات. على **المستوى الوطني**، تنص عدد من النصوص التشريعية لقانون الماء والمخططات المائية على تنزيل تدابير وإجراءات في حالة العجز المائي الناتج بالخصوص على الجفاف المناخي و/ أو الهيدرولوجي، إلا أنها لم تشر بشكل صريح إلى مستويات صبيب الشح اعتمادا على مؤشرات ومعايير **كـمـيـة** مرجعية يتم الارتكاز عليها للإعلان عن حالة الخصاص في الماء أو عن حدث الشح المائي وتقدير مدى حدة وخطورة الوضع. لهذا جاء اقتراحنا للتدابير والإجراءات الملائمة حسب عتبات ومستويات صبيب الشح بناءً على الدراسة المقارنة لعدد من الأنظمة الدولية، ومن أهمها التشريعات الفرنسية التي عرفت تقدما كبيرا في مجال تدبير الموارد المائية خلال فترات الأزمات. غير أن هذه العتبات والإجراءات المقترحة يمكن أن تختلف من حوض لآخر حسب اختلاف العوامل والخصوصيات المميزة لكل حوض (بشرية، مناخية، طبيعية).

على ضوء ما توصلت إليه هذه الدارسة انطلاقا من تحليل المعطيات المناخية والهيدرولوجية للسلسلة الإحصائية المدروسة بمحطتي أيت تمليل وتمسماط، بالإضافة إلى الدراسة الإحصائية لخصائص الشح والنضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، تم الكشف عن الهشاشة الكبيرة التي تعرفها الموارد المائية المتاحة من جهة، وعن علاقة التفاعل بين الأنشطة البشرية والمجرى المائي خلال فترات الشح المائي من جهة أخرى،

خصوصا مع تردد فترات الجفاف المناخي وطول مدة غياب التساقطات المطرية، وتضاعف الحاجيات والطلبات على الماء، والتي سيزيد تأثيرها أكثر في ظل التغيرات المناخية المحتملة (الفول والغاشي، 2017). وبالتالي فالوضع يستوجب تخطيطا متكاملا بين قطاعات مختلفة على المدى المتوسط والطويل لضمان استدامة المواد المائية والحفاظ على الخدمات البيئية. وفي هذا الصدد تقدم الدارسة بعض **الاقتراحات الموضوعية** من شأنها تدبير الموارد المائية خصوصا في فترات العجز والخصاص، من أجل ضمان تكيف النظم الاجتماعية والاقتصادية والبيئية مع أحداث الشح المائي المترددة، ومنها:

- ✓ جرد وتأطير عملية جلب المياه من المجاري المائية، وتنظيمها في إطار قوانين صارمة لحماية الموارد المائية من الاستغلال العشوائي؛
- ✓ تدخل الدولة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة، من خلال دعم الجمعيات المحلية، في تشييد تجهيزات هيدروفلاحية عصرية، تراعى فيها شروط الاقتصاد في الموارد المائية (الري بالرش، والري بالتقطير)؛
- ✓ توعية وتأطير الفلاحين في مجال تقنيات الري العصرية المقتصدة للماء حتى يكون هناك ترابط بين الحاجيات النظرية للأنواع الزراعية وكميات المياه المستغلة، وتوعيتهم بأهمية هذا العنصر الحيوي؛
- ✓ تشجيع الزراعات المقتصدة للماء وذات المردودية الجيدة والملائمة للخصوصيات الجبلية، وتقديم مساعدات وتحفيزات للفلاحين؛
- ✓ إصلاح المنابع والآبار، والصيانة المستمرة وحمايتها من الاندثار والتخريب، والبحث عن منابع لا تجف؛
- ✓ تشجيع ودعم اعتماد تقنيات تعبئة مياه الأمطار وتخزينها؛
- ✓ تعميم المدرجات المدعمة بالحجارة والأشجار، واستعمال تقنيات مضادة للانجراف؛
- ✓ توسيع عمليات غرس الأشجار المثمرة؛
- ✓ الحفاظ على استدامة المجال الغابوي وحماية التربة ونسج علاقة للتأقلم بين الأنظمة الاجتماعية والإيكولوجية الجبلية في الحوض. وهذا يعني المحافظة والتدبير المستدام للغابات من جهة واستصلاح أو إعادة تأهيل الأراضي المتدهورة من جهة أخرى؛
- ✓ تطوير وتنويع موارد الدخل في المناطق الجبلية (الهشة) وتقديم البدائل، وتثمين المنتجات المحلية من خلال تشجيع الصناعات التقليدية المحلية؛
- ✓ تطوير البنية التحتية والخدمات العمومية من خلال إنشاء شبكة الطرق وتوفير وسائل النقل لفك العزلة وضمان التنقل وتبادل السلع. يجب كذلك توفير وتأهيل المرافق العمومية الضرورية لتحقيق التنمية البشرية.

وقد ساعد التجهيز الهيدروفلاحي ساكنة المنطقة، على تحويل وتخزين المياه، حيث ساهمت هذه البنية التحتية للمجال في توفير إنتاج زراعي ومياه الشرب... غير أن هذه المياه المعبأة تبقى تحت الضغط نتيجة النمو السكاني، وتوسع الزراعة المسقية، وغياب التأطير والمراقبة خلال فترات الشح المائي، وأمام التراجع الذي تعرفه الموارد المائية والذي سيعرف ندرة أكثر في المستقبل نظرا لتأثيرات التغيرات المناخية وما يرافق هذا الخصاص من صراعات وتوترات بين مستخدميه، لا بد من اتخاذ إجراءات من شأنها التكيف مع الظروف المستقبلية للموارد المائية من خلال:

- ➢ تدبير متكامل للموارد المائية مع إدماج البعد المتعلق بالحفاظ على الخدمات البيئية والتكيف مع التغيرات المناخية؛
- ➢ النهوض بالنظم الأيكولوجية (عملية تشجير السفوح) لما لها من وظائف على السلوك الهيدرولوجي؛
- ➢ تنمية بشرية مستدامة تعتمد على صياغة رؤيا واضحة ومتماسكة وعلى أهداف محددة بدقة تدمج الأبعاد البيئية والاقتصادية؛
- ➢ اعتماد الظواهر المناخية الجديدة قاعدة أساسية من مميزات المناخ الجديد والاستعداد لها للتقليل من مساوئها والاستفادة من محاسنها؛
- ➢ إحداث نوع من التوازن بين متطلبات التنمية السوسيو-اقتصادية والمحافظة على البيئة؛
- ➢ إضفاء قوة الإلزامية للقوانين البيئية لضمان تحقيق تنمية مستدامة للأجيال الحالية والمستقبلية؛
- ➢ تعبئة جميع الفاعلين المعنيين (القطاع العام والخاص) للانخراط الفعال في مواجهة الأضرار البيئية المحتملة.

المراجع باللغة العربية

- أبو نبات محمد. (2000). حقوق الماء في المغرب -مقاربة للنوازل والأعراف وقانون الماء-سلسلة آفاق القانون (4) الطبعة الاولى مراكش،
- أشهبون عمر. (2016). الموارد المائية السطحية بحوض تساوت "واد لخضر": وقع التغيرات المناخية والأشطة البشرية على مخزون "سد الحسن الأول" بحث لنيل شهادة الماستر، جامعة السلطان مولاي سليمان، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، بني ملال، 247 ص،
- أشهبون عمر، الغاشي محمد، العرفي طارق، شاكر محمد، غضبان عمر، بصور رشيد. (2020). تأثير التغايرية الهيدرولوجية على سد الحسن الأول (واد لخضر -حوض أم الربيع- 1987-2013)، ندوة المناخ والماء والمجتمع، مجلة كلية الآداب والعلوم الإنسانية بني ملال، ص 1-6.
- آيت حمزة محمد، (1987). النظام السقوي التقليدي وتنظيم المجال في جنوب المغرب (نموذج من حوض دادس). مجلة كلية الآداب بالرباط، العدد رقم: 13. ص: 141.
- باحو عبد العزيز. (2002). "الجفاف المناخي بالمغرب وعلاقاته بآليات الدورة الهوائية وانعكاساته على زراعة الحبوب الرئيسية"، أطروحة لنيل دكتوراه الدولة في الجغرافيا المناخية، جامعة الحسن الثاني المحمدية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية المحمدية.
- بوحافة يونس. (2019). استغلال وتدبير المجال الغابوي بالأطلس الكبير الأوسط جالة جماعتي أيت عادل وأبادو "غابة أزريف"" بحث لنيل شهادة الماستر، جامعة القاضي عياض، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش، 154 ص،
- شاكر محمد، الغاشي محمد، أشهبون عمر، غضبان عمر، العرفي طارق، بيصور رشيد. (2020). تطور توازن الحصيلة الهيدرولوجية بحوض تساوت تحت تأثير الضغط البشري عالية سد مولاي يوسف (1986-2010)، ندوة المناخ والماء والمجتمع، مجلة كلية الآداب والعلوم الإنسانية بني ملال، ص 42-47.
- شبكة الخبراء المعنية بالتغيرات المناخية والبيئية في منطة البحر الأبيض المتوسط MedECC. (2019). المخاطر المرتبطة بالمناخ والتغيرات البيئية في منطقة البحر الأبيض المتوسط. بدعم من الاتحاد من أجل المتوسط ومركز الأنشطة الإقليمية للخطة الزرقاء. تقرير. ص: 36.
- الصباحي محمد. (2011). نظرة على قانون الماء 95-10 المتعلق بالمياه. مقال. https://ihlouchn.blogspot.com/2013/11/9510.html
- صلاح عبد الحميد. (2014). الجفاف والتصحر: المخاطر وآليات المكافحة. المنهل. 224 ص.
- العياطي مصطفى. (2017). القانون المتعلق بالماء بالمغرب من النص 95-10 إلى النص 15-36. مقال، https://www.safitoday.com
- الفول محمد. (2016). الاشتغال الهيدرولوجي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): التكميم والنمذجة والتأثير. بحث لنيل شهادة الماستر، جامعة السلطان مولاي سليمان، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، بني ملال، 285 ص،
- الفول محمد، الغاشي محمد. (2017). نمذجة الجريان بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) المغرب: التحديد والتكميم بواسطة الأنموذج الهيدرولوجي تورنتوايت. جيومغرب، مجلة الدراسات في علوم الأرض، الجغرافية والتهيئة، العدد رقم 13، ص 1-14.
- الفول محمد، الغاشي محمد. (2018). تدبير الموارد المائية في نظام السقي التقليدي بحوض تساوت: الأعراف ومظاهر الحق في الماء. الماء والمجتمع بالأرياف المغربية، مؤلف جماعي، ص 89-104.
- قانون الماء 15-36. (2015). الجريدة الرسمية للمملكة المغربية، عدد 6494 بتاريخ 25 أغسطس 2016.
- قانون الماء 95-10. (1995). الجريدة الرسمية للمملكة المغربية، عدد 4325 بتاريخ 20 شتنبر 1995.
- اللجنة الدائمة المكلفة بقضايا البيئة والتنمية المستدامة. (2015). إدماج مقتضيات التغيرات المناخية في السياسات العمومية. تقرير المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي. 2015/21. ص 96.
- لحلو نادية، الغاشي محمد، الخالقي يحيى. (2015). الامتطاحات بالأحواض الجبلية المغربية: حالة حوض أسيف غزاف بالأطلس الكبير الأوسط (جهة بني ملال خنيفرة، المغرب). مجلة الدراسات التطبيقية في علوم الأرض والجغرافية والتهيئة، جيومغرب، العدد رقم 10، ص15-30.
- لحلو نادية، الغاشي محمد، الخالقي يحيى. (2017). التهيئة الهيدرولوجية بعالية حوض أم الربيع: تدبير مخاطر الفيضانات والتنمية الاقتصادية (جهة بني ملال خنيفرة، المغرب). المجلة الدولية للبيئة وتغير المناخ العالمي، الطبعة 5، العدد رقم 1. ص 21-34.
- المودن عبد العزيز. (2020). حضور الماء في بناء الحضارات البشرية. مقال. الجريدة الإلكترونية هسبريس.

المراجع باللغة الفرنسية والإنجليزية

- Abi-Zeid I., Bobée B. (1999). La modélisation stochastique des étiages. Revue bibliographique, Revue des sciences de l'eau, N°12/3, pp. 459-483.
- Abi-Zeid I. (1997). La modélisation stochastique des étiages et de leurs durées en vue de l'analyse du risque. Thèse de Doctorat, INRS-Eau, Québec, 300 p.
- Abrid D. (2015). Caractérisation physico-chimique, minéralogique et géochimique des sédiments de la retenue du barrage Sidi chahed et des sols du bassin versant de l'oued Mikkés. Th. Doct., Univ. Moulaya Ismail, Maroc, 233 p.
- AHT Group AG – Resing. (2016). Diagnostic du sous-bassin de Tassaout. Association Agire, Programme d'appui à la gestion des ressources en eau, Rapport, 116 p.
- Alexandre J. (1996). Variation interannuelle des précipitations mensuelles et leurs répartitions spatiales en Belgique. Publication de l'Association Internationale de Climatologie, Vol 9, 8 p.
- Ameur M. (1982). Le Statut Juridique de l'Eau et l'irrigation au Maroc. Thèse de 3ème Cycle), Université Mohammed V (F.S.J.E.S), Rabat, 66 p.
- Aoyama Y., Ashida K. (1978). Effect of dietary amino acid composition on lipid content of rat liver. Nutr. Rep. Int. 17, pp. 463-473.
- Arts I., Sary M. (2000). Cartographie des débits d'étiage. Application au bassin de la Meurthe, Revue Géographique de l'Est [En ligne], Vol. 40, pp. 35-46.
- Augas J,. Gortais J., Herber C., Mercadante M., Pialot A., Podechard T. (2015). Basses eau et étiages des rivières. Origines, caractérisation et réglementation. Séminaire, Rapport Bibliographique, 28 p.
- Ayadi I., Habib H., Yasmine D. (2008). Caractérisation physico-chimique, minéralogique et géochimique des sédiments de la retenue du barrage Sidi chahed et des sols du bassin versant de l'oued Mikkés. International Water Ressources Association, XIII th World Water Conress 1. Montpellier, France, pp. 139-147.
- Bard A., Renard B., Lang M. (2012). Tendances observées sur les régimes hydrologiques de l'arc Alpin. La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau, EDP Sciences. 1, 38 p.
- Barnes B.S. (1939). The structure of discharge recession curves, Trans. Am. Geophys. Union, 20,4, pp. 721-725.
- Beaulieu C., Ouarda T., Seidou O. (2005). Revue bibliographique des techniques d'homogénéisation des séries climatiques et analyse d'applicabilité aux séries de précipitations. INRS-ETE. Rapport de recherche, No R-811, 73 p.
- Belzile L., Bérubé P., Hoang V.D., Leclerc M. (1997). Méthode écohydrologique de détermination des débits réservés pour la protection des habitats du poisson dans les rivières du Québec (Rapport annuel 1996-1997). INRS-Eau, Québec, 136 p.
- Beran M.A., Gustard A. (1977). A study into the low-flow characteristics of British rivers. J. Hydrol, 35, pp. 147–157.
- Bernier J. (1964). La prévision statistique des bas débits. Ass. Berkeley, Assoc. int. Hydrol, scient, Publ. N° 63, pp. 340-361.
- Birou A. (1966). Vocabulaire pratique des sciences sociales. Alain Birou, Paris, Ed. Economie et humanisme, éditions ouvrières, 319 p.
- Bouanani A. (2009). Hydrologie. Transport solide et modélisation étude de quelques sous bassins de la Tafna (Algérie). Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 85 p.
- Boukrim S., Sadkaoui N., Lahrach A., Chaouni A. (2011). Etude d'impact des changements sur les ressources hydriques de bassin versant de l'Ouergha (Rif-Maroc). Revue scientifique et Technique, LJEE, N°19, pp. 42-55.
- Boussinesq J. (1877). Essai sur la théorie des eaux courantes. Mémoires des savants étrangers, Série 2, 23, 660 p.
- Brahmer G., Kan C., Toussirot A., Walter H., Patz N., Heuvel R., Uberreiter E., Kind E., Kempmann K., Sporokkereef E., Wencher J., Roles B. (2018). Inventaire des conditions et des situations d'étiage sur le Rhin. Commission Internationale pour la Protection du Rhin, Rapport N° 248, 92 p.

- Branger F., Le Coz J., Renard B., Bonnifait L. (2012). Méthode d'estimation des incertitudes sur les courbes de tarage. Fiche technique OTHU,
- Brunet-Moret Y. (1977). Test d'homogénéité, in Cahiers ORSTOM, série Hydrologie. Vol. XIV, N° 2, pp. 119-128.
- Buishand T.A. (1982). Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. J. Hydro. 58, pp. 11-27.
- Castany G. (1982). Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Collection DUNOD, Bordas, Paris, 238 p.
- Castellani C. (1986). Régionalisation des précipitations annuelles par la méthode de la régression linéaire simple. L'exemple des alpes du nord. Revu. Geog. Alpine, Vol. 74, pp. 393–403.
- Catalogne C. (2006). Amélioration des méthodes de prédétermination des débits de référence d'étiage en sites peu ou pas jaugés. Thèse de Doctorat, Université de Grénoble, 235 p.
- Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec. (2015). Détermination de la conductivité. Méthode électrométrique. MA. 115. Cond. 1.1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 9 p.
- Chai T., Draxler R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? Arguments against avoiding RMSE in the literature. Geoscientific Model Development, Vol. 7, N° 3, pp. 1247-1250.
- Chapman D., Kimstach V. (1996). Selection of water quality variables. Water quality assessments. a guide to the use of biota, sediments, and water in environment monitoring. Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon. 609 p.
- Chapman T. (1999). A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation, Hydrological Processes, Vol. 13, pp.704-714.
- Cherrad B. (1997). Le bassin versant de l'oued Grou. (Plateau centrale marocain). Etude hydro-climatologique. Thèse de doctorat de l'université de Metz, mention : géographie. 272 p.
- Clausen B., Pearson C.P. (1995). Regional frequency analysis of annual maximum streamflow drought. J Hydrol, 173, pp. 111-130.
- Comité Normes et Standards. (CNS). (1994). Ministère de l'Environnement du Maroc. Rabat.
- Commission Internationale de la Meuse (CIM). (2020). Plan d'approche pour la gestion des étiages exceptionnels dans le bassin versant de la Meuse. Rapport, 86 p.
- Commissions Internationales pour la Protection de la Moselle et de la Sarre (CIPMS). (2019). Problématique des étiages au sein du bassin de la Moselle et de la Sar. Rapport. D-54329 Konz, 39 p.
- Corbonnois J., Humbert J. (2000). Ressources et gestion de l'eau dans le Nord-Est de la France, Chapitre de l'ouvrage. L'eau dans les régions françaises, d'un extrême à l'autre, sous la direction de J.P. Bravard, SEDES, pp. 219-249.
- Coutagne A. (1935). Le déficit d'écoulement et l'évaporation dans la région lyonnaise. In . Les Etudes Rhodaniennes, (11), pp. 359-366.
- Coutagne A. (1948). Quelques considérations générales sur la nature, les possibilités et les modalités des prévisions en hydrologie fluviale. Annuaire Hydrologique de la France, pp. 13-36.
- Couvreur G. (1988). Essai sur l'évolution morphologique de haut atlas calcaire – Maroc. Notes et Mémoires du Service Géologique, Edition du Service Géologique du Maroc, pp. 318. 391.
- Criss R., William W. (2008). Do Nash values have value? Discussion and alternate proposals. Hydrological Processes, Vol. 22, N° 14, pp. 2723-2725.
- Dacharry M. (1996). Dictionnaire français d'hydrologie.
- Darcy H. (1856). Les Fontaines publiques de la ville de Dijon, Détermination des lois d'écoulement de l'eau à travers le sable. Victor Dalmont, Paris, France, pp. 590-594.
- David C.H. (2003). John W. Tukey and Data Analysis. Statistical Science, Vol. 18, N° 3, pp. 311-318.
- Davoust P. (2018). Notions de débits. http.//ecosociosystemes.fr.

- Decloux J.P., Sary M. (1991). Campagnes d'étiage. Objectifs, traitement et valorisation des données. Mosella, Tome XVIII, N° spécial annuel, pp. 121-134.
- Derive G. (2003). Estimation de l'évapotranspiration en région sahélienne. Synthèse des connaissances et évaluation des modélisations (SISVAT, RITCHIE), Application à la zone d'Hapex-Sahel (Niger). Thèse de Doctorat, INPG, Grenoble, 189 p.
- Destombes J. (1971). L'Ordovicien au Maroc. Essai de synthèse stratigraphique (Colloq. Ordovicien-Silurien. Brest), - Mém. Bur. Rech. géol. Min, 73, pp. 237-263.
- Dewandel B., Lachassagne P., Bakalowicz M., Weng Ph., Al-Malki A. (2003). Evaluation of aquifer thickness by analysing recession hydrographs. Application to Oman ophiolite hard-rock aquifer. *Journal of Hydrology*, 274, pp. 248-269.
- Dictionnaire du droit privé. (1996). Dictionnaire juridique de Serge Braudo, https://www.dictionnaire-juridique.com/definition/reglement.php
- Didier F., Gilles D., Fabien C. (2011). Évolution possible des débits d'étiage de la Meuse en France au cours du XXIème siècle. Article, Revue Géographique de l'Est, Vol. 51 /3-4, pp 1-14.
- Dingman S.L. (1978). Synthesis of low- duration curves for unregulated streams in New-Hampshire. Water Ressources Bulltin, Vol. N° 6, pp. 1481-1502.
- Direction des Eaux et des Forêts et de la Conservation des Sols (DEFCS). (1976). Aménagement du bassin versant de la Tessaout en Amont du Barrage Moulay Youssef. Situation actuelle et potentialités, MARA, Rapport, 343 p.
- Direction Générale de l'Eau. (DGE). (2021). Ministère de l'Equipement, du Transport de la Logistique et de l'Eau. Http. //81.192.10.228/
- Direction Générale des Collectivités Locales (DGCL). (2010). Plan Communal de Développement (PCD) de la Commune de Ait Oumdis (PCD Ait Oumdiss). Rapport, 55p.
- Direction Générale des Collectivités Locales (DGCL). (2010). Plan Communal de Développement (PCD) de la Commune de Ait Tamlil (PCD Ait Tamlil). Rapport, 57p.
- Direction Provinciale d'Agriculture d'Azilal (DPAA). (2014). Etude d'inventaire et de la caractérisation des périmètres existants de la PMH et identification des possibilités de l'extension par l'irrigation des périmètres associés aux petits et moyens barrages par bassins hydrauliques. Rapport, 45p
- Dracup J.A., Lee K.S., Paulson E.G. (1980), On the definition of droughts, Water Resour. Res. 16, 2, pp. 297-302.
- Driouech F. (2010). Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le cadre d'un changement climatique : descente d'échelle et incertitudes. Thèse de doctorat, spécialité Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace, Institut National Polytechnique de Toulouse, 164 p.
- Duand D.F. (1994). Colloque pour le 80e anniversaire e la Revue de Géographie Alpine, I.G.A, Grenoble.
- Dubreuil P. (1974). Initiation à l'analyse hydrologique. Edition Masson, Cie, Paris, 224p.
- Ducharne A., Théry S., Viennot P., Ledoux E., Gomez E., Déqué M. (2003). Influence du changement climatique sur l'hydrologie du bassin de la Seine. VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Vol. 4, N° 3. http.//journals.openedition.org/vertigo/3845 ; DOI. https://doi.org/10.4000/vertigo. 3845
- Edijatno E., Michel C. (1989). Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. La Houille Blanche (2), pp. 113-121.
- Edijatno E. (1991). Mise au point d'un modèle élémentaire pluie-débit au pas de temps journalier. Thèse de Doctorat, Université LouisPasteur/ENGEES, Strasbourg, France, 242 p.
- El Foul M., El Ghachi M. (2018). 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) (Maroc). J. Wat. Env. Sci, Vol. 2, N°1, pp. 305-318.
- El Ghachi M. (2007). La seille. Un système fluvial anthropisé (lorraine. France) Tome 1. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université Paul Verlaine de METZ, France, 344p.

- El Ghachi M. (2008). La caractérisation de l'impact des interventions humaines sur les cours d'eau : cas de la Seille (France). Mosella, tome 30, n° 1- 4.
- El Ghachi M. (2010). Etiages de 2003 dans un domaine océanique, Méthodologie et Résultats : Le cas de la Seille (Lorraine, France). Revue Geomaghreb, N° 6, pp. 45-57.
- El Ghachi M., Morchid F.Z. (2015). Analyse des tendances pluviométriques dans la ville de Khénifra dans un contexte de variabilité climatique. Journal of Materials and Environmental Science. Vol. 6, N° 11, pp. 3346-3358.
- EL Khalki Y. (1990). Etude hydrogéomorphologique du haut Sebou. Cas de synclinal de Skoura et de ses bordures (Moyen Atlas. Maroc). Thèse de Doctorat, Université d'Aix Marseille II, Tome I, 244 p.
- El Khalki Y., Hafid A. (2002). Turbidité, indicateur du fonctionnement perturbé du géosystème karstique de l'Atlas de Beni Mellal (Moyen Atlas méridional, Maroc). In. Karstologia, Revue de karstologie et de spéléologie physique, N°40, 2e semestre, pp 39-44.
- El-Jabi N., Ashkar F. Et Isaa M. (1997). Application stochastique du phénomène d'étiage, Can. J. En, Vol. N°24, pp. 191-200.
- Ezzaouaq M. (1991). Caractérisation hydrodynamique, physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles de l'estuaire du Bouregreg (Maroc) soumis aux rejets des villes de Rabat-Salé. Thèse D.E.S, fac. Sci. Rabat, 140p.
- Feng M., Terziovski M., Samson D. (2007). Relationship of ISO 9001: 2000 quality system certification with operational and business performance: A survey in Australia and New Zealandbased manufacturing and service companies. Journal of Manufacturing Technology Management, 19(1), pp. 22-37.
- Fisher N.I. (1986). Robust tests for comparing the dispersions of several Fisher or Watson distributions on the sphere. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 85, pp. 563–572.
- Fleig A.K., Tallaksen L.M., Hisdal H., Demuth S. (2006). A global evaluation of streamflow drought charasteristics, Hydrology and Earth System Sciences, N°10, pp. 535-552.
- François D., Sary M. (1994). Intérêt des profils hydrologiques d'étiage pour la détermination des débits de référence au droit des ouvrages hydrauliques (exemple de la Haute Meurthe dans les Vosges). In. Revue de géographie alpine, tome 82, N°2, pp. 37-44.
- François D., Gille E., Zumstein JF. (1993). Analyse des séries chronologiques et applications aux données hydroclimatiques. In. Griselin M. (Ed). L'eau, la terre et les hommes. P.U. Nancy, pp. 137 - 146.
- Frécaut R. (1975). Contribution à l'étude statistique des étiages, Application au domaine tempéré océanique, Revue Géographique de l'Est, Tome XV, pp. 89-100.
- Gailliez S. (2013). Estimation des débits d'étiage pour des sites non jaugés. Application en Région wallonne (Thèse de doctorat). Université de Liège. Gembloux Agro-Bio Tech, 271p.
- Galéa G., Mercier G., Adler M.J. (1999). Modèles débit-durée-fréquence d'étiage, concept et usage pour une approche régionale des régimes de basses eaux des bassins hydrographiques de la Loire (France) et du Crisu-Alb (Roumanie), Revue des sciences de l'eau, N°12/1, pp. 93-122.
- Gamez P., Zumstein J.F. (1993). Méthode de détermination des débits de base et de ruissellement d'un cours d'eau, Hommage à René Frécaut, pp.113-120.
- Garcia F. (2016). Amélioration d'une modélisation hydrologique régionalisée pour estimer les statistiques d'étiage. Thèse de doctorat, UPMC, Paris, 228p
- Gaume E. (2000). Cycle de l'eau et modélisation pluie – débit. Cours d'hydrologie. ENPC-CEREVE. http://www.enpc.fr/cereve/HomePages/gaume/courshydro/courshydro.html.
- Gaume E. (2002). Eléments d'analyse sur les crues éclair. Thèse de doctorat de l'ENGREF, 305 p.
- George P., Verger F. (2000). Dictionnaire de la géographie, Paris, Éditions PUF.
- Ghadbane O. (2015). Impact des activités anthropiques sur les ressources en eau dans le bassin versant supérieur de l'oued Oum Er Rbia. Mémoire de Master, Université Sultan Moulay Slimane, Maroc, 275p.

- Ghadbane O., El Ghachi M., Chakir M. (2021). Étude de la variabilité climatique et de ses impacts sur le régime hydrologiquede l'Oued Srou, affluent de rive gauche de l'Oued Oum Er Rbia. Afrique Science, N° 18(2), pp. 69-80.
- GIEC. (2013). Glossaire [Planton, S. (coord.)]. In: Changements climatiques: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, États-Unis d'Amérique, pp. 185-204
- GIEC. (2021). Synthèse du rapport AR6 du GIEC. Synthèse vulgarisée du résumé aux décideurs du groupe de travail I de l'AR6, 11 p.
- Giuntoli I., Renard B. (2010). Identification des impacts hydrologiques du changement climatique. Constitution d'un réseau de référence pour la surveillance des étiages. Rapport ONEMA-Irstea, 109 p.
- Glossaire eau, milieux marins et biodiversité. (1991). Office International de l'Eau (OiEau), http://www.glossaire-eau.fr/
- Glossaire International d'Hydrologie. (1992) http.//www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/aglo .htm
- Gnouma R. (2002). Etude du fonctionnement hydrologique du bassin versant de Grézieu-La-Varenne à l'aide de traceurs isotopiques (oxygène 18). DEA, Université Pierre et Marie Curie, Université Paris-Sud, Ecole des Mines de Paris & Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, 50 p.
- Grand River Conservation Authority (GRCA). (2021). Low Water Response. Site web. https.//www.grandriver.ca/en/our-watershed/Low-Water-Response.aspx.
- Griffiths G.A., Clausen B. (1997). Streamflow recession in basins with multiple water storages. Journal of Hydrology, 190(1-2), pp. 60-74.
- Gudmundsson L., Seneviratne SI., Zhang X. (2017). Anthropogenic climate change detected in European renewable freshwater resources. Nature Climate Change, 7(11), pp. 813-816.
- Gupta H.V., Kling H., Yilmaz K.K., Martinez G.F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria. Implications for improving hydrological modelling. Journal of Hydrology, Vol. 377, N° 1, pp. 80-91.
- Gustard A., Roald L.A., Demuth S., Lumadjeng H.S., Gross R. (1989). Flow Regimes from Experimental and Network Data (Frend), Vol. 1, Hydrological Studies, Institute of Hydrology, Wallingford.
- Gustard A., Bullock A., Dixon J.M. (1992). Low flow estimation in the United Kingdom. Report - UK Institute of Hydrology, 108p.
- Guttman N.B. (1994). On the sensitivity of sample L moments to sample size. Journal of Climate, 7(6), pp. 1026–1029.
- Hall F.R. (1968). Baseflow recessions-A review. Water Resources Research, Vol. 4, N°5, pp. 973-983.
- Hamza A. (1999). Estimation régionale des débits d'étiage de la Province Québec (Développement des modèles régionaux de queues et d'invariance d'échelle). Mémoire. Université du Québec (INRS-EAU). 177 p.
- Haut-Commissariat au Plan (HCP)., Initiative Nationale pour le Développement Humain (INDH). (2004). Pauvreté, développement humain et développement social au Maroc. Rapport.
- Hayes D.C. (1991). Low flow characteristics of streams in Virginia. USGS water supply, Paper 2374. 69 p.
- Herrera-Guzman E. (2008). Développement d'une méthodologie hydrologique/statistique pour estimer les débits d'étiage au Québec habité. Thèse. Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Doctorat en sciences de l'eau, 296 p.
- Hewlett J.D. (1961). Watershed management. USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Ashville, pp. 62-66.

- Hiez G., Cochonneau G., Sechet P., Fernandes U.M. (1992). Application de la Méthode du Vecteur Régional à l'analyse de la pluviométrie annuelle du bassin amazonien. Veille Climatique Satellitaire 43, Orstom-Météo, France, pp. 39-52.
- Hiez G., Rancan L. (1983). aplicacao do método do vetor regional no Brasil. 4ème Symsium brésilien des ressources hydriques, Blumenau (Brésil).
- Hiez G. (1977). L'homogénéité des données pluviométriques In. Cah. ORSTOM, sér. Hydro, Vol. XIV, N° 2, Paris, pp. 129-172.
- Hindley D.R. (1973). The definition of Dry Weather Flow in river flow measurement. J. Inst. Water Engng 27, pp. 438–440.
- Horton R.E. (1933). The Role of Infiltration in the Hydrologic Cycle. Transactions of the American Geophysical Union, 14, pp. 446-460.
- Houdret A. (2008). Les conflits autour de l'eau au Maroc. Origines sociopolitiques et écologiques et perspectives pour une transfomlation. Thèse de doctorat en science politique, Université Paris 8 France et Université Duisburg- Essen Allemagne, 97 p.
- Hursch C.R. (1938). Storm water and absorption. Reports, hydrology. EOS Trans, AGU, 15, pp. 301-302
- Huvelin P. (1970). Chevauchement et écaillages précoces des terrains anté-viséens dans le domaine atlasique (Maroc). C.R. Acad. Sci. Paris. (D) 270, pp. 2760-2763.
- Huvelin P. (1967). Nappe de glissement précoce hercynienne dans les Jebilets (Maroc). C.R. Acad. Sci. Paris (D)265, pp.1039-1042.
- Institute of Hydrology. (1980). Low-flow studies. Report No. 1, Wallingford, Oxon, U.K.
- IRES. (2010) . Détection d'évolutions dans les régimes hydrologiques du bassin du Sebou. Rapport, 67 p.
- Jaccon G. (1975). Critères de choix du site d'une station hydrométrique. Secrétariat d'état à hydraulique. Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique, Note Technique, N° 61, 13 p.
- Jain S.K., Sudheer K.P. (2008). Fitting of hydrologic models. a close look at the Nash–Sutcliffe index. Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 13, N° 10, pp. 981-986.
- Jenny J. (1983). Les décrochements de l'Atlas de Demnat (Haut Atlas central, Maroc). Prolongation orientale de la Zone de décrochement du Tizi-n-Test et clef de la compréhension de la tectonique atlasique. Eclogae geol. Helv. 76/1, pp. 243-251.
- Joseph L.G., Yulia R., Weiwen M. (2009). The Impact of Levene's Test of Equality of Variances on Statistical Theory and Practice. Statistical Science, Vol. 24, N° 3, pp. 343-360.
- L'Hote Y. (1992). Sensibilisation à la critique et homogénéisation des données hydrométriques et pluviométriques. Support de cours, ORSTOM, 82 p.
- Laaha G., Blöschl G. (2005). Low flow estimates from short stream flow records – a comparison of methods. Journal of Hydrology 306 (2005), pp. 264 - 286.
- Laaha G., Blöschl G. (2006a). A comparison of low flow regionalisation methods -catchment grouping. Journal of Hydrology, 323(1-4), pp. 193-214.
- Laaha G., Blöschl G. (2006b). Seasonality indices for regionalizing low flows. Hydrological Processes, 20(18), pp 3851-3878.
- Laborde J.P. (2000). Éléments d'hydrologie de surface. Critique et analyse statistique des données hydrologiques. École Polytechnique de l'Université De Nice, 192p.
- Lachance C, S., collab. (2012). Estimation des débits d'étiage pour le Nord du Québec. Rapport, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 13 p.
- Lambert R. (1975). Eté, étiage et tarissement des cours d'eau dans le bassin garonnais, Revue Géographique de l'Est, Tome XV, p.139-152.
- Lambert R. (1996). Géographie du cycle de l'eau, Editions Presses Universitaires du Mirail (PUM), Toulouse, 439 p.

- Lang C., Gille E. (2006). Une méthode d'analyse du tarissement des cours d'eau pour la prévision des débits d'étiage, Norois, 201(4), pp. 31-43.
- Lang C. (2007). 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, 375p.
- Lang C. (2011). Les étiages. Définitions hydrologique, statistique et seuils réglementaires. Cybergeo , European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage, mis en ligne le 30 Novembre 2011. URL. http//journals.openedition.org/cybeo/24827.
- Lang C., François D., Gille E. (2016). Quel est le débit le plus fréquent d'un cours d'eau ? Physio-Géo, Géographie Physique et Environnement, Vol, N° 10, pp. 1-19.
- Larras J. (1972). Prévision et prédétermination des étiages et des crues. Paris, Eyrolles, Collection du BCEOM, 159 p.
- Larue J.P., Giret A. (2004). L'assèchement de cours d'eau dans le bassin de la Maine entre 1989 et 1992. Norois, 192(3), pp 117-133.
- Laurent F. (2010). Modélisation à base physique de la variabilité hydroclimatique à l'échelle d'un grand bassin versant tropical. Revue Global Change. Facing Risks and Threats to Water Resources, 11p.
- Laville E. (1975). Tectonique et microtectonique d'une partie du versant sud du Haut Atlas marocain (Boutonnière de Skoura. Nappe de Toundout). Thèse Univ. Montpellier (inéd.). 102 p.
- Lebaut S. (2001). 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 de géographie de l'Université de Metz, Mosella Tome XXVI, N° 1-2, 271 p.
- Lefebvre H. (1974). La production de l'espace, Paris, Anthropos, 420 p.
- Legates D.R., McCabe G.J. (1999). Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. Water Resources Research, Vol. 35, N° 1, pp. 233-241.
- Levene H. (1960). Robust testes for equality of variances. In Contributions to Probability and Statistics (I. Olkin, ed.) Stanford Univ, Press, Palo Alto, CA, pp. 278–292.
- Leveque P. (1961). Contribution à l'étude géologique el hydrologique de l'Ailas de Demnat (Maroc). Thèse Sci, Paris (inéd).
- Lubes H., Masson J.M., Raous P., Tapiau M. (1994). Safarhy, logiciel de calculs statistiques et d'analyse fréquentielle adapté à l'évaluation du risque en hydrologie-Manuel de référence, version 2.111. ORSTOM, Université Montpellier II.
- Lvovich M.I. (1972). Hydrologic budget of continents and estimate of the balance of global freshwater resources. Sov. Hydrol, Vol. 4, pp. 360-439
- Lyne V., Hollick M. (1979). Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. I.E. Aust. Natl. Conf. Publ. 79/10, Inst. of Eng. Aust, Canberra, pp. 89-93.
- Maftai C.P. (2002). Etude concernant les écoulements superficiels, modélisation spatialisée de l'écoulement sur le bassin versant de Voinesti-Roumani, 75 p.
- Maillet E. (1905). Essais d'hydraulique souterraine et fluviale. Librairie Sci. Hermann Paris, 218 p.
- Makhlouf Z. (1994). Compléments sur le modèle pluie-débit GR4J et essai d'estimation de ses paramètres. Thèse de Doctorat, Université Paris XI Orsay, 426 p.
- Mansuy D. (2005). L'eau dans les formations argileuses et calcaires du Trias au sud de la Lorraine (France), Thèse de Doctorat, Université de Metz.
- Masson M. (1994). Vous avez dit géographies?. Didactique d'une géographie plurielle. A. Colin. Collection Formation des Enseignants. 190 p.
- Mathevet T. (2005). Quels modèles pluie-débit globaux pour le pas de temps horaire ? Développement empirique et comparaison de modèles sur un large échantillon de bassins versants. Thèse de Doctorat, ENGREF (Paris), Cemagref (Antony), France, 463 pp.

- Mathier L., Perreault L., Bobée B. (1992). The uses of geometric and gamma related distributions for frequency analysis of water deficit. Stochastic Hydrology and Hydraulics, Vol. 6(4), pp. 239-254.
- Mattis A.F. (1977). Nonmarine Triassic sedimentation, Central High Atlas Mountains, Morocco. J. Sediment. Petrol, 47, pp. 107-119.
- Mccuen R., Zachary K., Gillian C. (2006). Evaluation of the Nash–Sutcliffe efficiency index . Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 11, N° 6, pp. 597- 602.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scale. In. Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, Boston, American Meteorological Society, pp. 179–184.
- Mcmahon T.A. (1976). Low Flow analyses of streams. details of computational procedures and annotated bibliography. Monash University, Department of Civil Engineering, Clayton (Australia), Research Report No. 5/1976, 60 p.
- Mcmahon T.A., Pegram G.S., Vogel R.M., Peel M.C. (2007). Revisiting reservoir storage-yield relationships using a global streamflow database. Advances in Water Resources, 30(8), pp. 1858-1872.
- Michel C. (1983). Que peut-on faire en hydrologie avec un modèle conceptuel à un seul paramètre ? La Houille Blanche, 1, pp. 39-44.
- Midgley D.C., Pitman W.V., Middleton B.J. (1994). Surface Water Resources of South Africa 1990. WRC Report N° 298/5.1/94, Pretoria, South Africa.
- Milly P.C., Dunne K.A., Vecchia A.V. (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. Nature, 438(7066), pp. 347-350.
- Mjejra M. (2015). Étude de l'évapotranspiration dans le bassin versant de l'Oued Mejerda (en Tunisie). Apport de la télédétection satellitaire et des Systèmes d'Information Géographique. L'université européenne de Bretagne université rennes 2, Thèse de Doctorat de 3ème cycle. 311 p.
- Molines N. (1997). La modélisation et la géographie enseignée revue Armand Colin. L'information géographique, Vol. 61, N°4, pp. 144-153
- Monbaron M. (1981). Sédimentation, tectonique synsédimentaire et magmatisme basique. L'évolution paléogéographique et structurale de l'Atlas de Béni Mellal (Maroc) au cours du mésozoïque ; ses indices sur la tectonique tertiaire. Eclo.gae. geol. Helv, N° 74/3, pp. 625-638.
- Moriasi D., Jeffrey A., Michael V.L., Ronald B., Daren H., Tamie V. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, Vol. 50, N° 3, pp. 885-900.
- Mouelhi S. (2003). Vers une chaîne cohérente de modèles pluie débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier. Thèse de Doctorat, ENGREF, Cemagref Antony, France, 323p.
- Musy A. (1998). Hydrologie appliquée. Ed. H.G.A, Bucarest, 368 p.
- Musy A., higy C. (2004). Hydrologie. Science de la nature. Collection gérer l'environnement. Presse polytechniques et universitaires Romandes, Lausanne (Suisse), 314 p.
- Nash J.E., Sutcliffe J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I. A discussion of principles, Journal of Hydrology, Vol. 10, N° 3, pp. 282-290.
- Nathan R.J., McMahon T.A. (1990b). Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analyses. Water Resources Research, Vol. 26(7), pp. 1465-1473.
- Nicholson S.E., Kim J., Hoopingarner J. (1988). Atlas of African rainfall and its interannual variability. Department of Meteorology, Florida State University Tallahassee, Florida, USA.
- Nicholson S.E. (1994). Recent rainfall fluctuations in Africa and their relationship to past conditions over the continent, The Holocene, 4 (2), pp. 121 - 131
- Nicolle P., Perrin, C., Andreassian V., Augeard B., Besson F., al. (2020). Prévoir les étiages. Que peut-on attendre des modèles hydrologiques ?. France. 2015, hal-02603376, 24p.

- Noël P., Lachance C.S., Bérubé J., Turcotte R. (2017). Estimation des débits d'étiage pour le Nord du Québec. Solution à court terme. Rapport, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 11 p.
- Oberlin G.R., Galea G.C., Toni J.T. (1973). Intérêt des jaugeages épisodiques pour l'estimation des étiages de petits bassins non équipés. Cah. O.R.S.T.O.ïVf, sér. Hydrol, Vol. X, N° 4, pp. 349- 368.
- OMM. (1994). Guide des pratiques hydrologiques. Acquisition et traitement des données, analyses, prévision et autres applications. Rapport, 5e éd, N° 168, 829p.
- OMS. (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson. 4e éd, Intégrant le premier additif, Genève, Organisation mondiale de la Santé, 564p.
- Oppenheimer M., al. (2014). Emergent risks and key vulnerabilities. In Climate Change 2014: Impact, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1039- 1099.
- Ouarda T.B.M.J., Christian C., St-Hilaire A. (2008). Statistical models and the estimation of low flows. Vol 33(2), pp. 195-206.
- Oudin L., Hervieu F., Michel C., Perrin C., Andréassian V., Anctil F., Loumagne C. (2005). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model?. Part 2-Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling, J. Hydrol. (Amsterdam), 303(1-4), pp. 290–306.
- Ozenda P. (1966). Perspectives nouvelles pour l'étude phytogéographique des Alpes du Sud. Doc. Carte Vég. Alpes IV, 1-198, cartes couleurs, graphiques, Grenoble.
- Padilla A., Pulido-Bosch A. (1995). Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis. Journal of Hydrology, 168(1-4), pp. 73-89.
- Parde M. (1963). Fleuves et rivières, 224p.
- Perrin C. (2000). Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. Thèse de Doctorat, INPG (Grenoble), CEMAGREF (Antony), 530 p.
- Perzyna G. (2016). Manuel des opérations. Jaugeage à Gué au moulinet hydrométrique. Centre pour les Energies Renouvelables et l'Energétique de la CEDEAO, 58 p.
- Pirt J., Simpson M. (1983). The Estimation of river flows. Severn Trent Water Authority, UK, 41 p.
- Pointet T. (1975). Essai de caractérisation du coefficient de tarissement des nappes, Thèse de doctorat, Université Nancy I, 115 p.
- Qadem A. (2015). 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, 360 p.
- Remenieras G. (1986). L'hydrologie de l'ingénieur, Editions Eyrolles, 462 p.
- 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 et Université Ibnou Zohr d'Agadir, 154 p.
- Riggs H.C. (1972). Low flow investigations. Techniques of Water Resources Investigations of the USGS, Book 4, Hydrological Analysis and Interpretation, Washington DC, pp. 1-18.
- Roch E. (1939). Descriptions géologiques des montagnes de l'Est de Marrakech. Notes Mém. Serv. Mines Carte géol, Maroc 51, 438 p.
- Roche M. (1963). Hydrologie de surface, Gauthier - Villars Editeur - ORSTOM, Paris, 431 p.
- Roche M. (1969). Les processus du raisonnement chez l'hydrologue, Bulletin de la Section Géographique, Tome LXXX.
- Roger B. (1999). Analyse expérimentale et modélisation du fonctionnement d'hélices de drones. Thèse de doctorat, ENSAE, Toulouse, 375p.
- Saidi M. (1995). Contribution à l'hydrologie profonde et superficielle du bassin du Souss (MAROC) Climatologie. Hydrogéologie, Crues et bilans hydrologiques en milieu sub-aride, Université de Paris IV, Thèse de Doctorat de 3ème cycle, 213 p.

- Sauquet E., Catalogne C. (2011). Guide méthodologique en vue de l'estimation du module d'un coursd'eau Interpolation des modules. Quelles évolutions depuis la note technique de 1987 ? Annexe 3 à la circulaire relative à l'application de l'article L.214-18 du code de l'environnement, 29 p.
- Schaefli B., Gupta H. (2007). Do Nash values have value? . Hydrological Processes, Vol. 21, N° 15, pp. 2075-2080.
- Schreiber P., Demuth S. (1997). Regionalisation of low flows in southwest Germany. Hydrological Sciences Journal, Vol. 42(6), pp. 845-858.
- Secrétariat d 'Etat auprès du Ministère de l 'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement Département de l'Eau (SEEE). (2007). Normes de qualité (eaux de surface), Rabat.
- Seltzer P. (1946). Le climat de l'Algérie. Inst. Météo. Et de Phys. Du globe, Univ. Alger, 219 p.
- Shepard D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data, Proceedings of the 1968 23rd. ACM. national conference, pp. 517-524.
- Sherman L.K. (1932). Streamflow from Rainfall by the Unit Graph Method. Engineering News Record 108, pp. 501-505.
- Sloto R.A., Crouse M.Y. (1996). Hysep. a computer program for streamflow hydrograph separation and analysis, U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 96-4040, 42 p.
- Smakhtin V.U. (2001). Low flow hydrology. a review, Journal of hydrology, 240, pp. 147-186.
- Soro T.D., Soro N., Oga Y.M.-S., Lasm T., Soro G., Ahoussi K.E., Biemi J. (2011). La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), Physio-Géo, Vol.5, pp. 55-73.
- Strahler A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. Am. Geophys. Union Trans, 38(6), pp. 913-920.
- Tallaksen L.M. (1995). A review of baseflow recession analysis, Journal of hydrology, 165, pp. 349-370.
- Tallaksen L.M., Madsen H. Et Clausen B. (1997). On the definition and modeling of steamflow drought duration and deficit volume, Journal des sciences hydrologiques, N° 42, pp.15-33.
- Tallaksen L.M. et Van Lanen H.A.J. (2004). Hydrological drought, Processes and estimation methods for streamflow and groundwater, Elsevier, 579 p.
- Tazi S. (2006). Du droit de l'eau au droit à l'eau au Maroc et ailleurs. Edition EDDIF Maroc, 471 p.
- Tharme R.E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment. Emerging trends in the development and application of environmental flow méthodologies for rivers. River Research and Applications, Vol. 19, N° 5-6, pp. 397-441.
- Thiéry D. (2009). Modèles à réservoirs en hydrogéologie. in Traité d'hydraulique environnementale. - Modèles mathématiques en hydraulique maritime et modèles de transport. Tanguy J.M. (Ed.), Éd.Hermès. Lavoisier. Vol. 4, Chapitre 7 , pp. 239-249.
- Thornthwaite C.W. (1948). An Approach Toward a Rational Classification of Climate, Geographical Review, Vol. 38, pp. 55–94.
- Turc L. (1961). Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration. a simple climatic formula evolved up to date. Annals of Agronomy 12, pp. 13-49.
- Uhlenbrook S., Hoeg S. (2003). Quantifying uncertainties in tracer-based hydrograph separations. a case study for two-, three- and five-component hydrograph separations in a mountainous catchmant, Hydrological Processes, Vol. 17, pp. 431-453.
- Vaucli M. (1994). Modélisation du transport de solutés dans la zone non saturée du sol. Revue des sciences de l'eau, pp. 81-102.
- Vezza P., Comoglio C., Rosso M., Viglione A. (2010). Low Flows Regionalization in North-Western Italy. Water Resour Manage 2010-24, pp. 4049 – 4074.
- Villeneuve J.P., St-Martin H., Bobée B., Leclerc M., Morin G., Charbonneau R., Fortin J.P. (1971). Rationalisation du réseau hydrométrique du Québec. Rapport de recherche. INRS-Eau, 491 p.

- Vogel R.M., Kroll C.N. (1992). Regional Geohydrologic-Geomorphic Relationships for the Estimation of Low-Flow Statistics. Water Resources Research, 28(9), pp. 2451-2458.
- Vogel R.M., Fennessey N.M. (1995). Flow Duration Curves .2. a Review of Applications in Water-Resources Planning, Water Resour, Bull. 31, pp. 1029-1039.
- White C. (2012). Understanding water scarcity. Definitions and measurements.Global Water Forum.
- Whitfield P.H., Wang J.Y., Cannon A.J. (2003). Modelling future streamflow extremes, floods and low flows in Georgia Basin, British Columbia. Canadian Water Resources Journal 28, pp. 633–656
- WMO. (1974). World Meteorological Organization, 1974. International Glossary of Hydrology, WMA, Geneva.
- Yevjevich V. (1967). An objective approach to definition and investigations of continental hydrologic droughts, Hydrology Papers, Vol. 23, Colorado State University, Fort Collins, USA.
- Zumstein J.F. (1978). Contribution à l'élaboration de cartes hydrologiques. Cartes des étiages mensuels des bassins de la Meuse et de la Moselle de 1969 à 1973 la Houille, N° 6/7, 13 p.

مواقع الكترونية

http://www.keriel.org/glu/FRDIC/DICRESSO.HTM

https://ihlouchn.blogspot.com/2013/11/9510.html

https://www.safitoday.com

http.//ecosociosystemes.fr.

Http. //81.192.10.228/

http.//journals.openedition.org/vertigo/3845

https.//doi.org/10.4000/vertigo. 3845

http://www.enpc.fr/cereve/HomePages/gaume/courshydro/courshydro.html.

http.//www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/aglo .htm

https.//www.grandriver.ca/en/our-watershed/Low-Water-Response.aspx.

http//journals.openedition.org/cybeo/24827.

https://www.aquaportail.com/definition-581-anthropique.html

https://www.dictionnaire-juridique.com/definition/reglement.php

الملاحق

بنية الاستمارة

في إطار البحث الذي ننجزه بمركز الدراسات في الدكتوراه "دينامية المشاهد والتراث" بجامعة السلطان مولاي سليمان حول موضوع :

" دراسة إحصائية للشح والنضوب المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): التحديد والاستخلاص (1978-2020) والنمذجة وإشكالية التدبير

(الأطلس الكبير- المغرب) "

ونلتزم لكم بأن معلوماتكم لن تستعمل إلا لأغراض علمية محضة .

تتم الإجابة بوضع علامة × في الخانة المناسبة أو كتابة الإجابة عند اللزوم

I- معلومات حول المستجوب :

1- السن : ..... محل السكن :.....

□ أقل من 20 سنة

□ [20-40]

□ [40-60]

□ 60 سنة فما فوق

2- الجنس : □ ذكر □ أنثى

3- المستوى الدراسي : □ ابتدائي □ إعدادي □ ثانوي □ جامعي

4- الجماعة : .....

5- مكان الولادة:.....

6- منذ متي وأنت تقطن هنا؟.....

II- مناخ المنطقة

7- أخبرني عن مناخ المنطقة (الحوض)؟

.....

8- كيف هي طبيعة التساقطات (مطرية أو ثلجية) في الماضي ؟

□ ضعيفة

□ متوسطة

□ قوية المؤشر .....

9- ما هي الفترة الأكثر تساقطا في الماضي ؟

□2010 □2000 □90 □80 □ 70 □ 60

10- ما هي المدة الزمنية التي تستغرقها؟

□ بضعة أيام

□ أسبوع

□ شهر

11- ماهي الفصول الأكثر تساقطا؟

□ الشتاء الشهر .....

□الربيع الشهر .....

□ الصيف الشهر.....

□ الخريف الشهر .....

12- هل التساقطات المطرية تمتد على طول السنة بالحوض النهري؟

.....

13- كيف تتطور درجات الحرارة بالحوض النهري؟

□ تتناقص

□ هي نفسها

□ تتزايد

المؤشر.....

14- ماهي الفترة التي عشتها الأكثر احترارا ؟

□ 60 □ 70 □80 □90 □2000 □2010

III- الهيدرولوجيا

15- كيف كان صبيب المجرى المائي في الماضي؟

□ ضعيف

□ متوسط

□ مهم

المؤشر.....

16- ما هو أقصى صبيب للمجرى المائي ملاحظ؟

.....

17- هل تتذكر السنة؟ .....الشهر؟.....

18- هل تتذكر أقصى جفاف عرفه المجرى المائي؟ □ لا □ نعم

19- إذا كان الجواب نعم، فما هي السنة التي شهدت هذا الجفاف؟.....

20- كم دامت مدة الجفاف؟.....

21- كيف كان الصبيب خلال هذه الفترة؟

.....

22- هل بلغ المجرى المائي درجة الجفاف؟ □ نعم □ لا

23- ما هي السنة التي حدث فيها؟.....

المؤشر ..... ما هي المدة التي استغرقها .....

24- هل الوضعية الهيدرولوجية الحالية هي نفسها في السابق؟ □ نعم □ لا

25- إذا كانت الإجابة بنعم، هل يمكن لك وصف التغيرات التي طرأت؟

....

26- المؤشرات التي تدل على ذلك؟.....

27- هل عشت سنوات جفاف؟ ☐ نعم ☐ لا

28- إذا كان الجواب بنعم، أذكر السنوات التي شهدت هذا الجفاف؟

.....

29- ماهي المدة التي استغرقها الجفاف؟

.....

30- ماذا تتذكر خلال هاته السنوات؟

.....

IV- مؤشرات صبيب الشح

31- هل لك دراية بتعريف الشح المائي؟

☐ نعم ☐ لا

إذا كان الجواب نعم نمر إلى السؤال الموالي، وإذا كان الجواب لا نقترح الجواب التالي:

"المستوى السنوي الأدنى الذي يبلغه المجرى المائي في نقطة معينة" (Roche, 1986)

32- كيف تعرف الساكنة أن المجرى المائي هو في فترة الشح المائي؟

.....

33- كيف تعرف الساكنة أن المجرى المائي هو في فترة الشح المائي الحاد؟

.....

34- كيف تعرف الساكنة أن المجرى المائي هو في فترة الشح المائي الأقصى؟

.....

V- تحديد صبيب الشح

35- هل يمكن لك تحديد الفترة من السنة التي يحدث فيها الشح المائي؟

☐ فترات نزول الصبيب الشهر: .....

☐ فترة صعود الصبيب الشهر: .....

36- ما هو معدل أيام الشح المائي؟

☐ بضعة أيام

☐ أسبوع

☐ شهر

☐ عدة شهور

37- ما هو مستوى الماء الأدنى للمجرى المائي في ذاكرتك؟

.....

المؤشر؟ .....

38- في أي سنة؟

.....

39- كم من الوقت استمرت هذه الوضعية؟

.....

40- ما هو مصدر هذه الوضعية؟

☐ جفاف مناخي

☐ جفافا هيدرولوجي

☐ ارتفاع درجات الحرارة

□ جلب المياه من المجرى بإفراط

41- هل تتذكر بعض المؤشرات؟

□ مستوى الماء

□ جودة المياه

□ النباتات

42- هل خضع هذا المجرى إلى صبيب شح مطلق؟

□ نعم □ لا

43- إذا كان الجواب بنعم هل يمكن أن تحدد السنة التي نتجت فيها هذه الوضعية؟

.....

44- هل شملت هذه الوضعية مجموع المجرى المائي؟

.....

45- كم من الوقت استمرت هذه الوضعية؟

.....

40- ما هو مصدر هذه الوضعية؟

□ جفاف مناخي

□ جفافا هيدرولوجي

□ ارتفاع درجات الحرارة

□ جلب المياه من المجرى بإفراط

41- هل تتذكر بعض المؤشرات؟

.....

VI- تحديد النضوب المائي

42- كيف يتناقص صبيب المجرى المائي أثناء فترات الشح المائي؟

.....

43- كيف يتناقص صبيب العيون أثناء فترات الشح المائي؟

.....

44- كم من الوقت تستغرق هذه الوضعية؟

.....

45- ما هو سبب هذه الوضعية؟

□ جفاف مناخي

□ جفافا هيدرولوجي

□ ارتفاع درجات الحرارة

□ جلب المياه من المجرى بإفراط

46- ما هو عدد الأيام غير المطيرة قبل صبيب الاستنزاف؟

.....

47- هل تتذكر بعض المؤشرات؟

.....

VII- جلب المياه من المجرى المائي

التزود بالماء الصالح للشرب

48- من أين تأتي مياه الشرب التي تستهلك؟

□ شبكة عمومية □ بئر □ عين

49- إذا كان الجواب ب "عين"، كيف يتم تدبير ذلك؟

.....

الفلاحة والسقي

50- هل توجد في المنطقة فلاحة مسقية؟ □ نعم □ لا

51- إذا كان الجواب بنعم، فما هو مصدر السقي؟

□ الضخ مباشرة من المجرى المائي

□ السواقي

52- ما هو عدد السواقي في المنطقة؟

.....

53- ما هو نوع السواقي بالمنطقة؟

□ الاسمنت □ التراب

53- ما هي المساحة المسقية؟

.....

54- ما هو صبيب المياه المجلوبة؟

□ المدة.....

□ الفترة.....

□ الشهر.....

55- ما هو عدد المجالات المسقية؟

.....

56- دورة السقي؟

□ يومية □ أسبوعية □ نصف شهرية □ شهرية

57- من هو المسؤول عن تنظيم دورة السقي؟

.....

58- ما هو معيار توزيع مياه السقي؟

□ الوقت □ الحجم □ آخر

59- هل الدورة تتعلق ب:

□ دوار واحد □ أكثر من دوار

60- هل كمية مياه السقي بالمقارنة مع السنوات السابقة:

□ تناقصت □ تزايدت □ مستقرة

61- كيف يتم تدبير مياه السقي في فترات الشح المائي؟

.....

62- كيف يتم تدبير مياه السقي في فترات الجفاف؟

.....

63- هل يجف المجرى المائي، في حالة الافراط في جلب المياه؟

.....

VIII- وقع الشح المائي

التزود بالماء الصالح للشرب

64- أثناء الشح المائي هل صبيب مصادر التزود بالماء الصالح للشرب:

□ تتناقص □ تتزايد □ مستقرة

ظهور العوائق الهيدرولوجية

65- خلال فترة الشح المائي يلاحظ ظهور العوائق الهيدرولوجية، هل يمكن أن تحدد لنا طبيعة هذه العوائق:

□ عوائق طبيعية

□ عوائق ذات مصدر بشري

66- ماهي الوضعية التي تتخذها في المجرى المائي؟

.....

67- هل هذه العوائق تشكل حاجز للجريان؟

□ نعم □ لا

68- إذا كان الجواب بنعم، فماهي الوضعية الجديدة التي يتخذها المجرى المائي؟

.....

تصريف السائل

69- كيف تتخلص من الصرف السائل؟

□ خزان الصرف الصحي □ شبكة الصرف الصحي □ مباشرة في المجرى المائي

70- المياه المستجمعة من خلال القنوات يتم تصريفها:

□ في المجرى المائي

□ فوق سطح التربة

71- هل يمكن وصف وضعية المجرى المائي في سافلة مناطق الصرف خلال فترة الشح المائي؟

.....

ظهور النباتات المائية

72- هل تتطور النباتات المائية خلال فترة الشح المائي؟

□ نعم □ لا

73- ما هي العلاقة بين تطور النباتات المائية وجودة المياه خلال فترة الشح المائي؟

.....

IX- ذاكرة المجرى المائي

74- تحدث لنا عما تتذكره عن واد تساوت؟

.....

.....

.....

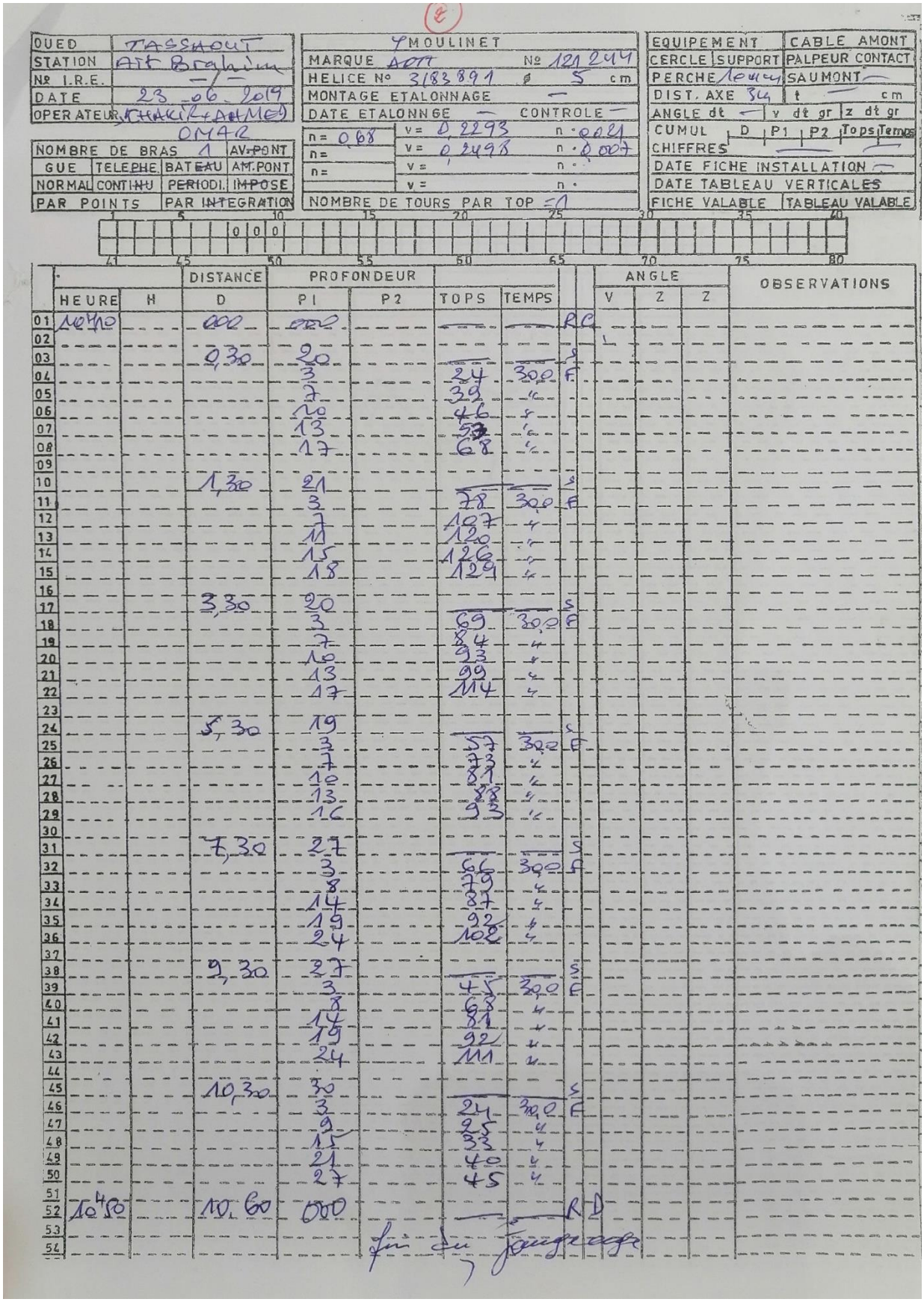
.....

.....

X- السواقي:

الرقم	المكان	النوع	الطول	العرض	العمق	الاستعمال	تاريخ	من
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

نموذج لورقة قياس الصبيب



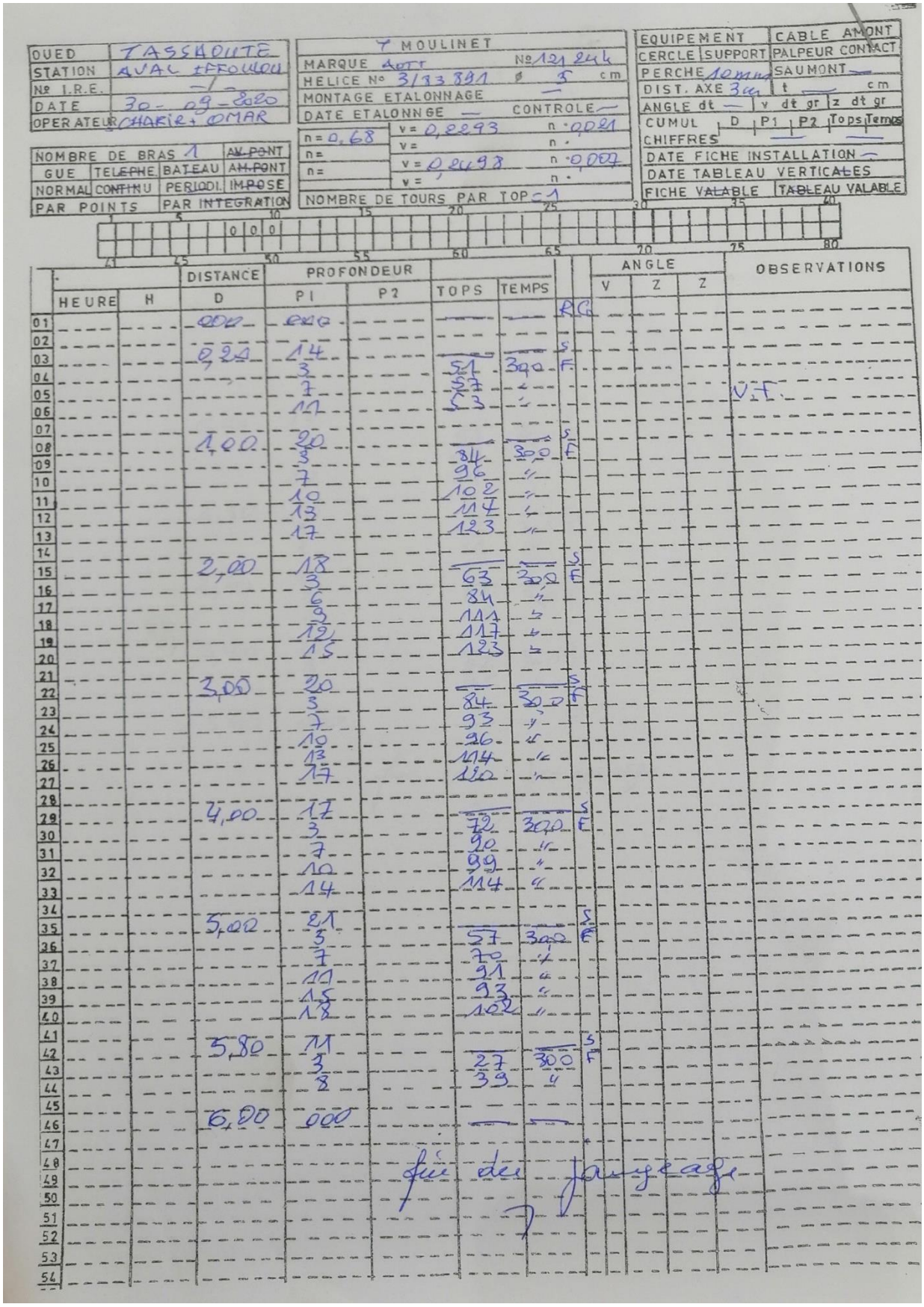
OUED TASSAOUT
STATION Ait Braham
Nº I.R.E. — / —
DATE 23-06-2019
OPERATEUR KHAKI Ahmed OMAR

MOULINET
MARQUE AOTT Nº 121247
HELICE Nº 3183891 ø 5 cm
MONTAGE ETALONNAGE —
DATE ETALONNGE — CONTROLE —
n = 0,68 v = 0,2293 n = 0,021
n = v = 0,2498 n = 0,007
n = v = n =
v = n =
NOMBRE DE TOURS PAR TOP = 1

EQUIPEMENT CABLE AMONT
CERCLE SUPPORT PALPEUR CONTACT
PERCHE Aluminium SAUMONT —
DIST. AXE 34 t — cm
ANGLE dt — v dt gr z dt gr
CUMUL D P1 P2 Tops Temps
CHIFFRES
DATE FICHE INSTALLATION —
DATE TABLEAU VERTICALES
FICHE VALABLE TABLEAU VALABLE

NOMBRE DE BRAS 1 AV.PONT
GUE TELEPHE BATEAU AM.PONT
NORMAL CONTINU PERIODI. IMPOSE
PAR POINTS PAR INTEGRATION

	HEURE	H	DISTANCE D	PROFONDEUR P1	P2	TOPS	TEMPS		ANGLE V	Z	Z	OBSERVATIONS
01	10h10		000	000		—	—	RG				
02								L				
03			0,30	20		—	—	S				
04				3		24	30,0	E				
05				7		32	"					
06				10		46	"					
07				13		53	"					
08				17		68	"					
09												
10			1,30	21		—	—	S				
11				3		78	30,0	E				
12				7		107	"					
13				11		120	"					
14				15		126	"					
15				18		129	"					
16												
17			3,30	20		—	—	S				
18				3		69	30,0	E				
19				7		84	"					
20				10		93	"					
21				13		99	"					
22				17		114	"					
23												
24			5,30	19		—	—	S				
25				3		57	30,0	E				
26				7		73	"					
27				10		81	"					
28				13		88	"					
29				16		93	"					
30												
31			7,30	27		—	—	S				
32				3		66	30,0	E				
33				8		79	"					
34				14		87	"					
35				19		92	"					
36				24		102	"					
37												
38			9,30	27		—	—	S				
39				3		45	30,0	E				
40				8		63	"					
41				14		81	"					
42				19		92	"					
43				24		111	"					
44												
45			10,30	30		—	—	S				
46				3		24	30,0	E				
47				9		25	"					
48				15		33	"					
49				21		40	"					
50				27		45	"					
51												
52	10h50		10,60	000		—	—	RD				
53												
54						fin du jaugeage						



OUED TASSAOUTE
STATION AVAL IFFOUGOU
Nº I.R.E. —
DATE 30-09-2020
OPERATEUR CHARIF+OMAR

MOULINET
MARQUE OTT Nº 121 244
HELICE Nº 3/33 891 ø 5 cm
MONTAGE ETALONNAGE —
DATE ETALONNGE — CONTROLE —
n = 0,68 v = 0,2293 n = 0,021
n = v = n =
n = v = 0,2498 n = 0,007
v = n =
NOMBRE DE TOURS PAR TOP = 1

EQUIPEMENT CABLE AMONT
CERCLE SUPPORT PALPEUR CONTACT
PERCHE 10 mm SAUMONT —
DIST. AXE 3 cm t — cm
ANGLE dt — v dt gr z dt gr
CUMUL D P1 P2 Tops Temps
CHIFFRES
DATE FICHE INSTALLATION —
DATE TABLEAU VERTICALES
FICHE VALABLE TABLEAU VALABLE

NOMBRE DE BRAS 1 AV PONT
GUE TELEPHE BATEAU AM PONT
NORMAL CONTINU PERIODI. IMPOSE
PAR POINTS PAR INTEGRATION

	HEURE	H	DISTANCE D	PROFONDEUR P1	P2	TOPS	TEMPS		ANGLE V	Z	Z	OBSERVATIONS
01			000	000				RG				
02												
03			0,20	14				S				
04				3		51	300	F				
05				7		57	"					VT
06				11		53	"					
07												
08			1,00	20				S				
09				3		84	300	F				
10				7		96	"					
11				10		102	"					
12				13		117	"					
13				17		123	"					
14												
15			2,00	18				S				
16				3		63	300	F				
17				6		84	"					
18				9		111	"					
19				12		117	"					
20				15		123	"					
21												
22			3,00	20				S				
23				3		84	300	F				
24				7		93	"					
25				10		96	"					
26				13		114	"					
27				17		120	"					
28												
29			4,00	17				S				
30				3		72	300	F				
31				7		90	"					
32				10		99	"					
33				14		114	"					
34												
35			5,00	21				S				
36				3		57	300	F				
37				7		70	"					
38				11		91	"					
39				15		93	"					
40				18		102	"					
41												
42			5,80	11				S				
43				3		27	300	F				
44				8		39	"					
45												
46			6,00	000								
47												
48				fin des jaugeages								
49												
50												
51												
52												
53												
54												

فهرس المبيانات

مبيان 1: المنحنى الهيبسومتري بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 28
مبيان 2: التوزيع المساحي لنسب الانحدار بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والحوضين الفرعيين _____ 30
مبيان 3: المقطع الطولي لواد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 36
مبيان 4: نسبة نفاذية الصخارة من المساحة الكلية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 44
مبيان 5: تطور عدد السكان (1994 و2014) للجماعات المنتمية لمجال الدراسة _____ 52
مبيان 6: تمثيل النظام الهيدرولوجي _____ 64
مبيان 7: تصنيف الأحداث الهيدرولوجية (Dracup et al, 1980) _____ 65
مبيان 8: منحنى الصبيب المصنف والصبيب المميز المرتبط به. _____ 66
مبيان 9: مقارنة معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) ذات التقويم الزمني الشهري ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوم متتالية (VCN30) المستخلصة من قيم الصبيب اليومي _____ 70
مبيان 10: حجم ومدة العجز حسب عتبات صبيب الشح المختلفة. _____ 74
مبيان 11: مثال لمنحنى مغلف للنضوب المائي (Larras, 1972) _____ 78
مبيان 12: استخلاص الصبيب حسب طريقة "المنحنى التنازلي" _____ 79
مبيان 13: مقارنة بين المنحنى المغلف والمنحنى التسلسلي (Lang, 2007) _____ 79
مبيان 14: عملية التربط الخطي لبعض المحطات المدروسة (1984-2014) _____ 90
مبيان 15: الترابط بالمعدل السنوي لمحطة 'تمسماط' يونيو (1976 – 2016) _____ 90
مبيان 16: مجانسة المعطيات باستعمال طريقة التراكم المزدوج للتساقطات المطرية السنوية (1976- 2016) _____ 91
مبيان 17: القيم المتراكمة للمؤشر السنوي للمتجهة الإقليمية لمحطات قياس التساقطات المطرية لحوض تساوت عالية سد مولاي يوسف (1976-2016) _____ 92
مبيان 18: توزيع محطات قياس التساقطات المطرية حسب الارتفاع _____ 95
مبيان 19: تصنيف مجال الدراسة حسب أخطوط أمبرجي (Emberger,1930) _____ 96
مبيان 20: السيرورة التاريخية للمحطات المعتمدة في الدراسة _____ 97
مبيان 21: الفترات الرطبة (أ) ومدة التساقطات المطرية في الماضي (ب) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 99
مبيان 22: الفترات التي شهدت جفافا مناخيا (أ) وطول مدتها (ب) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 100
مبيان 23: التساقطات المطرية السنوية بمحطة أيت تمليل وتمسماط (1976 – 2016) _____ 105
مبيان 24: تباين معطيات التساقطات المطرية حسب طريقة CUSUM بمحطتي تمسماط وأيت تمليل (1976 – 2016) _____ 107
مبيان 25: معامل التغيير للتساقطات المطرية السنوية بالنسبة لمحطتي أيت تمليل وتمسماط بين (1976 – 2016) _____ 108
مبيان 26: المؤشر القياسي للتساقطات المطرية (12 شهرا) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 – 2016) _____ 109
مبيان 27: توزيع ترددات التساقطات المطرية السنوية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 – 2016) _____ 111
مبيان 28: توزيع التساقطات المطرية السنوية بمحطة تمسماط (1976 – 2016) حسب قانون (Ln Normale) _____ 111
مبيان 29: توزيع التساقطات المطرية السنوية بمحطة أيت تمليل (1976 – 2016) حسب قانون (Ln Normale) _____ 112
مبيان 30: معدل التساقطات المطرية الشهرية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016) _____ 115
مبيان 31: معدل التساقطات المطرية الشهرية للسنوات الحدية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 116
مبيان 32: معامل تغيير التساقطات المطرية الشهرية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016) _____ 117
مبيان 33: المعامل الشهري للتساقطات المطرية (CMP) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016) _____ 118
مبيان 34: عدد الأيام المطيرة على المستوى السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016) _____ 118
مبيان 35: تردد قيم التساقطات المطرية اليومية حسب المجالات بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016) _____ 119
مبيان 36: عدد الأيام المطيرة على المستوى السنوي فوق العتبات 1 و2 و5 و10 ملم بمحطتي 'أيت تمليل' و'تمسماط' (1976 - 2016) 121
مبيان 37: عدد الأيام المطيرة على المستوى الشهري بمحطتي 'أيت تمليل' و'تمسماط' (1976 - 2016) _____ 122
مبيان 38: معدل عدد الأيام المطيرة مقارنة بالسنوات المرجعية 1996 و2001 _____ 122
مبيان 39: توزيع عدد الأيام المطرية حسب فئات التساقط على المستوى الشهري بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 – 2016) ____ 123
مبيان 40: معدل الدورة الموسمية للتساقطات المطرية اليومية باستخدام نافذة انزلاقية لمدة 11 يوم بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016) _____ 124
مبيان 41: الفترات التي شهدت أعلى درجات الحرارة (أ) ووتيرة تطورها (ب) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 127
مبيان 42: المعدلات السنوية لدرجة الحرارة بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016): أ) التغايرية البيسنوية. ب) طريقة CUSUM _____ 128
مبيان 43: المعدل الشهري والمعامل الشهري لدرجة الحرارة بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016) _____ 129
مبيان 44: درجات الحرارة القصوى والدنيا بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016) _____ 130
مبيان 45: المعدل اليومي لدرجات الحرارة بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016). _____ 131

مبيان 46: التغيرات اليومية لمعدل درجات الحرارة بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016) _____ 131
مبيان 47: تغيرات المدى الحراري بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016) _____ 132
مبيان 48: تردد قيم درجات الحرارة اليومية حسب المجالات بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016) _____ 133
مبيان 49: التغيرات السنوية للتبخر-النتح المحتمل ودرجات الحرارة بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016) _____ 136
مبيان 50: التغيرات الشهرية للتبخر-النتح المحتمل ودرجات الحرارة بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016) _____ 137
مبيان 51: الميزانية المائية بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) (1986 - 2016) _____ 138
مبيان 52: نتائج التثبيت (1985-1995) (أ) والمصادقة (1996-2007) (ب) للأنموذج GR2M بمحطة تمسماط _____ 144
مبيان 53: نتائج اختبار Buishand المطبقة على الصبيب السنوي بمحطتي تمسماط وأيت تمليل (1978 – 2016) _____ 145
مبيان 54: السنوات والأشهر التي شهدت أعلى صبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 146
مبيان 55: السنوات التي شهدت جفافا هيدرولوجيا (أ) والخسائر والأضرار التي أحدثها بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) ____ 147
مبيان 56: تغيرات الصبيب السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016) _____ 148
مبيان 57: معامل تغير الصبيب السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016). _____ 149
مبيان 58: التغايرية البيسنوية للصبيب باعتماد المؤشر المركزي المختزل بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 151
مبيان 59: ترددات الصبيب السنوي بمحطي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016) _____ 152
مبيان 60: توزيع الصبيب السنوية بمحطتي تمسماط وأيت تمليل حسب قانون (Ln Normale) (1978 – 2016) _____ 152
مبيان 61: معدل الصبيب الشهري بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016) _____ 154
مبيان 62: نظام الجريان للسنوات الحدية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 154
مبيان 63: نظام الجريان بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) انطلاقا من المعامل الشهري للصبيب (1978 – 2016) _____ 155
مبيان 64: الصبيب الشهري الأدنى بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016) _____ 156
مبيان 65: المخطط الصندوق لمعدلات الصبيب الشهري بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 157
مبيان 66: معدل الصبيب اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016) _____ 158
مبيان 67: الصبيب اليومي للسنوات الحدية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 159
مبيان 68: الصبيب اليومي المصنف بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016) _____ 160
مبيان 69: تردد قيم الصبيب اليومي حسب المجالات بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 161
مبيان 70: المعدلات القصوى للصبيب اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016): أ) معدل الصبيب اليومي الأدنى، ب) معدل الصبيب اليومي الأعلى. _____ 161
مبيان 71: تطبيق قانون Ln Normale على المعدلات الدنيا للصبيب اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016) _____ 162
مبيان 72: العلاقة بين التساقطات المطرية والصفيحة المتدفقة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978 – 2016) _____ 163
مبيان 73: عجز الجريان بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 164
مبيان 74: الترابط الخطي السنوي للتساقطات المطرية والصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) (1978 – 2016) _____ 165
مبيان 75: العلاقة الشهرية بين التساقطات المطرية والصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) (1978 – 2016) _____ 165
مبيان 76: ارتفاع وعرض الواد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 170
مبيان 77: فترات تردد الشح المائي خلال السنة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 171
مبيان 78: مدة الشح المائي(أ) ووتيرة تناقص الصبيب (ب) بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 171
مبيان 79: تغايرية معدل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) بمحطتي تمسماط وأيت تمليل (1978 - 2016). _____ 175
مبيان 80: مقارنة معدلات الصبيب الشهري الأدنى للسنوات المرجعية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 176
مبيان 81: الصبيب شهري الأدنى (QMNA) باعتماد طريقة CUSUM _____ 176
مبيان 82: تردد ظهور الصبيب الشهري الأدنى QMNA _____ 177
مبيان 83: تعديل الصبيب الشهري الأدنى (QMNA) بمحطة تمسماط (1978 - 2016). _____ 178
مبيان 84: تغيرات معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCN) حسب المتغيرات المستخلصة بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 183
مبيان 85: مقارنة معدل الصبيب اليومي الأدنى للسنوات المرجعية والمعدل البيسنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 - 2016) ___ 186
مبيان 86: المخطط الصندوق لمعدل الصبيب اليومي الأدنى (VCNd) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 187
مبيان 87: التعديل اللوغاريتمي لمعدلات الصبيب اليومي الأدنى (LnVCNd) حسب قانون Ln Normale بمحطتي تمسماط وأيت تمليل. _ 189
مبيان 88: التحقق من التوازي بين منحنيات صبيب-مدة-تردد (QdF) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 191
مبيان 89: تعديل معدلات الصبيب اليومي الأدنى بدلالة المدة d بمحطتي أيت تمليل وتمسماط. _____ 191
مبيان 90: الصبيب المُميّز المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016). _____ 195
مبيان 91: منحنى الصبيب اليومي المصنف لكل سنة بمحطة تمسماط (1978-2016) _____ 197
مبيان 92: الصبيب المصنف للسنوات الجافة (الأحمر) والسنوات الرطبة (الأزرق) لمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 197

مبيان 93: المخطط الصندوق لمتغيرات الشح المائي الناتجة عن منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 198
مبيان 94: مصفوفة الارتباط Pearson بين متغيرات منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي بمحطة أيت تمليل _____ 200
مبيان 95: مصفوفة الارتباط Pearson بين متغيرات منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي بمحطة تمسماط _____ 201
مبيان 96: التعديل الإحصائي لمتغيرات الصبيب اليومي المصنف السنوي حسب قانون Ln-Normale بمحطة أيت تمليل (1978-2016) 203
مبيان 97: التعديل الإحصائي لمتغيرات الصبيب اليومي المصنف السنوي حسب قانون Ln-Normale بمحطة تمسماط (1978-2016) _ 204
مبيان 98: المتغيرات المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي والشامل _____ 205
مبيان 99: تغيرات معدل الصبيب الشهري الأدنى ومعدل الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 206
مبيان 100: الترابط الخطي بين معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوما ومعدلات الصبيب الشهري الأدنى بمحطتي تمسماط وأيت تمليل (1978 - 2016) _____ 207
مبيان 101: التقويم الزمني لتاريخ بداية حساب معدلات الصبيب الشهري الأدنى ومعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوم بمحطة أيت تمليل (1978-2016) _____ 208
مبيان 102: التقويم الزمني لتاريخ بداية حساب معدلات الصبيب الشهري الأدنى ومعدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى 30 يوم بمحطة تمسماط (1978-2016) _____ 209
مبيان 103: مؤشرات صبيب الشح مقارنة مع تلك الناتجة عن منحنى الصبيب اليومي المصنف بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 210
مبيان 104: عدد الأيام تحت العتبات على المستوى السنوي حسب مؤشرات معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/2 و 1/5 و 1/10 بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 213
مبيان 105: عدد الأيام تحت العتبات على المستوى الشهري حسب معدل الصبيب الشهري الأدنى بتردد 1/2 و 1/5 و 1/10 بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 214
مبيان 106: عدد الأيام تحت العتبات حسب معدل الصبيب اليومي الأدنى بتردد VCNd(T) (T) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 215
مبيان 107: عدد الأيام حسب العتبات المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف (1978-2016) _____ 217
مبيان 108: مثال لخوارزمية الذروات المتتالية SPA على سلسلة الصبيب اليومي لمحطة أيت تمليل (2003-2004) _____ 218
مبيان 109: العجز المائي التراكمي باعتماد طريقة خوارزمية الذروات المتتالية SPA حسب عتبات منحنى الصبيب اليومي المصنف بنسبة 75 و80 و90%. _____ 219
مبيان 110: العجز المائي التراكمي باعتماد طريقة خوارزمية الذروات المتتالية SPA حسب عتبات منحنى الصبيب اليومي المصنف بنسبة 50 و60 و70%. _____ 219
مبيان 111: العجز المائي التراكمي باعتماد طريقة خوارزمية الذروات المتتالية (SPA) حسب معدلات الصبيب الشهري الأدنى لفترات الرجوع 2 و 5 و10 سنوات ((2) QMNA و (5)QMNA و (10)QMNA) _____ 220
مبيان 112: العجز المائي التراكمي باعتماد طريقة خوارزمية الذروات المتتالية (SPA) حسب معدل الصبيب اليومي الأدنى لفترات الرجوع 2 و5 و10 سنوات. _____ 221
مبيان 113: موسمية فترات العجز المائي حسب معدل الصبيب الشهري الأدنى لفترات الرجوع 2 و5 و10 سنوات _____ 223
مبيان 114: موسمية فترات العجز المائي حسب معدل الصبيب اليومي الأدنى على لفترات الرجوع 2 و5 و10 سنوات _____ 224
مبيان 115: موسمية فترات العجز المائي حسب المؤشر المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف (Q70, Q60, Q50) _____ 225
مبيان 116: موسمية فترات العجز المائي حسب المؤشر المستخلصة من منحنى الصبيب اليومي المصنف (Q90, Q80, Q75) _____ 226
مبيان 117: النسبة الموسمية SR لمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 228
مبيان 118: مقارنة الشح المائي ذو الفترات المنعدمة والذي يفوق d يوم بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016). _____ 232
مبيان 119: مقارنة الشح المائي ذو الفترات المنعدمة والذي يفوق d يوم بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016). _____ 232
مبيان 120: المدرج التكراري لتوزيع معدل الصبيب اليومي والصبيب المنوال في علاقته بعدد الفئات بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 234
مبيان 121: المعدل السنوي لأيام العجز المائي حسب مؤشرات صبيب الشح بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 235
مبيان 122: تصنيف المؤشرات الإحصائية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 237
مبيان 123: المدة المخصصة لفترة الإفراغ بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل بمساحة 531 كلم^2 _____ 244
مبيان 124: المصادقة على اختيار صبيب البدء Q0 بالحوض الفرعي لواد أيت تمليل _____ 244
مبيان 125: التغيرات السنوية لمعامل النضوب المائي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 253
مبيان 126: تردد عدد فترات النضوب المائي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 254
مبيان 127: معدل نظام معامل النضوب المائي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 255
مبيان 128: التردد الشهري لفترات النضوب المائي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 255
مبيان 129: تردد مدة النضوب المائي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 256

مبيان 130: أ) الترابط الخطي بين معاملات النضوب المائي ودرجات الحرارة ب) وبين معاملات النضوب المائي والتبخر -النتح بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016). _____ 257
مبيان 131: تغير معاملات النضوب المائي في علاقته بالصبيب السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 258
مبيان 132: الترابط الخطي بين معاملات النضوب المائي α وصبيب بداية فترة النضوب المائي (Q0) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 259
مبيان 133: حساب علاقة التناسب بين Q0 و Qt بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 261
مبيان 134: تعديل المنحنى الرئيسي وتحديد معامل النضوب المائي حسب Maillet بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) ____ 262
مبيان 135: تردد معاملات النضوب المائي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 263
مبيان 136: التعديل الإحصائي ل α التسلسلية حسب قانون Ln Normale بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 264
مبيان 137: معاملات النضوب المائي لمحطتي أيت تمليل وتمسماط باعتماد مخطط الصندوق _____ 265
مبيان 138: مثال لإجراء الاستقراء الخطي لمخطط الصبيب الأساس باعتماد طريقة المنحنيات التسلسلية للنضوب المائي. _____ 269
مبيان 139: مثال لتحديد الصبيب الأساس على مستوى محطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 270
مبيان 140: مؤشر الصبيب الأساس (BFI) على مستوى محطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 271
مبيان 141: الصبيب الأساس خلال السنوات القصوى بمحطتي أيت تمليل وتمسماط، (أ): سنة جافة (ب): سنة عادية (ج): سنة رطبة. __ 272
مبيان 142: مؤشر الصبيب الأساس (BFI) على المستوى الشهري بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 273
مبيان 143: نظام الصبيب الأساس بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 273
مبيان 144: تطبيق طريقة BaRatin لإنجاز منحنى المعايرة _____ 288
مبيان 145: علاقة الترابط الخطي بين القياسات اللحظية _____ 290
مبيان 146: منحنى التراكم المزدوج بين نقطتي القياس T6 (عالية الحوض) و T11 (سافلة الحوض) _____ 291
مبيان 147: مثال لمنحنى النضوب المائي بعالية الحوض (T3) وسافلته (T10) _____ 292
مبيان 148: المقطع الهيدرولوجي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) خلال فترات نزول الصبيب _____ 293
مبيان 149: نتائج تثبيت الأنموذجين GR4J و GARDÉNIA على المستوى اليومي. _____ 310
مبيان 150: الترابط الخطي بين الصبيب المقيس والمحاكى لفترة التثبيت على المستوى اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط. _____ 311
مبيان 151: مؤشرات الأداء لنمذجة الجريان خلال فترة التثبيت بمحطتي أيت تمليل وتمسماط. _____ 312
مبيان 152: نتائج التحقق من الأنموذجين GR4J و GARDÉNIA على المستوى اليومي. _____ 313
مبيان 153: الترابط الخطي بين الصبيب المقيس والمحاكى لفترة التحقق على المستوى اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط. _____ 314
مبيان 154: مؤشرات الأداء لنمذجة الجريان خلال فترة التحقق بمحطتي أيت تمليل وتمسماط. _____ 315
مبيان 155: أمثلة لمرحلة التحقق من فترات النضوب المائي باعتماد معامل النضوب المائي α (1978-2016) _____ 317
مبيان 156: مؤشرات الأداء لمحاكاة الصبيب حسب معاملات النضوب المائي α _____ 318
مبيان 157: التنبؤ بصبيب الشح لسنة 2017 بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 319
مبيان 158: المعايير المعتمدة في توزيع مياه الدورة السقوية _____ 330
مبيان 159: عدد الدواوير المستفيدة من الدورة السقوية (عمل ميداني، 2019) _____ 330
مبيان 160: المدة الزمنية الفاصلة بين كل استفادة من النوبة _____ 331
مبيان 161: نظام السقي لبعض المزروعات الفلاحية بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) (عمل ميداني، 2015) _____ 341
مبيان 162: تقدير معدل الصبيب الشهري للمياه المجلوبة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (عمل ميداني، 2019) _____ 343
مبيان 163: التغيرات المجالية والزمنية لدرجة الحرارة الماء _____ 350
مبيان 164: التغيرات المجالية والزمنية للرقم الهيدروجيني PH _____ 351
مبيان 165: التغيرات المجالية والزمنية للموصلية الكهربائية عند درجة حرارة 20 ℃. _____ 351
مبيان 166: التغيرات المجالية والزمنية للأوكسجين _____ 352
مبيان 167: التغيرات المجالية والزمنية لدرجة عكارة الماء _____ 352
مبيان 168: تغير تركيز المعادن الثقيلة في مياه واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 354
مبيان 169: المقاربة البيانية لـ ACP لمعايير جودة المياه وفقًا للمستوى (F1xF2). أ) الخريطة العاملية للمتغيرات. ب) الخريطة العاملية لنقط القياس. _____ 356
مبيان 170: كيفية التخلص من المياه العادمة للساكنة المحلية (بحث ميداني، 2019) _____ 358
مبيان 171: وصف حالة المجرى المائي خلال الشح المائي (بحث ميداني، 2019) _____ 358
مبيان 172: جودة مياه المجرى المائي في حالة وجود النباتات المائية (بحث ميداني، 2019) _____ 359

فهرس الجداول

جدول 1: المخطط التنظيمي لحملات قياس الصبيب واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 9
جدول 2: المخطط التنظيمي لحملات قياس جودة المياه السطحية _____ 10
جدول 3: المعطيات الهيدرو-مناخية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 12
جدول 4: الخصائص المورفومترية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 25
جدول 5: توزيع الفئات الارتفاعية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 27
جدول 6: الخصائص الارتفاعية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والحوضين الفرعيين _____ 27
جدول 7: مؤشرات الانحدار لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والأحواض الفرعية _____ 30
جدول 8: رتب وأطوال المجاري بالحوض المائي. _____ 35
جدول 9: المسامية والنفاذية ومعامل التسرب لبعض الصخور _____ 42
جدول 10: تطور عدد السكان بين 1994 و2014 بحوض تساوت (عالية سد م يوسف) _____ 50
جدول 11: أهم المراجع في دراسة الشح المائي اعتمادا على المؤشرات المستخلصة من منحنى الصبيب المصنف. _____ 67
جدول 12: أهم المراجع في دراسة الشح المائي على المستوى الشهري _____ 69
جدول 13: أهم المراجع في دراسة الشح المائي على المستوى اليومي _____ 71
جدول 14: أهم المراجع في دراسة الشح المائي على المستوى اليومي _____ 74
جدول 15: متغيرات الشح المائي (Abi-Zeid et Bobée, 1999), _____ 75
جدول 16: خصائص ومعطيات المحطات المعتمدة في الدراسة _____ 88
جدول 17: نموذج للترابط الشهري بين محطات قياس التساقطات المطرية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 89
جدول 18 : الترابط بالمعدل السنوي لمحطة تمسماط (1976-2016) _____ 90
جدول 19: معامل الترابط المحصل عليه باعتماد طريقة المتجهة الإقليمية. _____ 93
جدول 20: تصنيف محطات قياس التساقطات المطرية حسب الارتفاع _____ 94
جدول 21: توزيع محطات قياس التساقطات المطرية حسب الفئات الارتفاعية _____ 95
جدول 22: تقييم التساقطات المطرية باعتماد طريقة تيسان Thiessen (1976- 2014) _____ 102
جدول 23: تجزيء السلسلة الإحصائية لتساقطات المطرية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 – 2016) _____ 106
جدول 24: تقسيم السلسلة الإحصائية للتساقطات المطرية (1976 – 2016) إلى فترات متجانسة _____ 107
جدول 25: قيم مؤشر SPI (McKee et al, 1993) _____ 109
جدول 26: احتمال تردد المؤشر القياسي للتساقطات المطرية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976-2016) _____ 110
جدول 27: فترات رجوع التساقطات المطرية السنوية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 – 2016) _____ 113
جدول 28: معدل عدد الأيام المطيرة والشدة اليومية للتساقطات المطرية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1976 - 2016) _____ 120
جدول 29: خصائص ومعطيات محطة قياس 'ايت سكمين'(المصدر: ABHOR) _____ 128
جدول 30: تغيرات نزعة درجات الحرارة السنوية حسب الفترات بمحطة 'ايت سكمين' (1986 - 2016) _____ 129
جدول 31: العامل التصحيحي K استنادا إلى الشهر وخط عرض منطقة الدراسة _____ 135
جدول 32: الميزانية المائية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1986 - 2016) _____ 138
جدول 33: خصائص ومعطيات المحطات الهيدرومترية (المصدر ABHOR) _____ 141
جدول 34: الفترات الفارغة بمحطة تمسماط خلال السلسلة الإحصائية المدروسة _____ 143
جدول 35: تثبيت ومصادقة نتائج الأنموذج GR2M بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 144
جدول 36: تفئ السلسلة الإحصائية للصبيب بمحطة تمسماط (1978 – 2016) إلى فترات متجانسة _____ 145
جدول 37: الصبيب السنوي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) (1978 – 2016) _____ 147
جدول 38: خصائص الصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والحوض الفرعي لواد أيت تمليل (1978 – 2016) _____ 148
جدول 39: فترات رجوع الصبيب السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016) _____ 153
جدول 40: فترات رجوع المعدلات الدنيا للصبيب اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 – 2016) _____ 162
جدول 41: معدل معامل الجريان بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 164
جدول 42: تردد فترات رجوع معدل الصبيب الشهري الأدنى بمحطتي أيت تمليل وتمسماط .(1978 - 2016) _____ 178
جدول 43: معدل الصبيب اليومي الأدنى (VCNd) بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 - 2016) _____ 182
جدول 44: الترابط الخطي بين معدلات الصبيب اليومي الأدنى VCN بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 184
جدول 45: رتب الشح المائي حسب معدلات الصبيب اليومي الأدنى بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 - 2016) _____ 185
جدول 46: فترات الرجوع لمعدل الصبيب اليومي الأدنى (VCNd) بمحطتي تمسماط وأيت تمليل حسب قانون Ln-Normale _____ 187
جدول 47: تعديل معدلات الصبيب اليومي الأدنى على مدى d يوم (VCNd) انطلاقا من تردد صبيب الشح _____ 190
جدول 48: الصبيب المُمَيِّز المستخرجة من منحنى الصبيب اليومي المصنف الشامل بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978 - 2016) ___ 196

جدول 49: مصفوفة الارتباط Pearson بين متغيرات منحنى الصبيب اليومي المصنف السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 199
جدول 50: فترات الرجوع للصبيب المصنف السنوي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط حسب قانون Ln-Normale _____ 202
جدول 51: اختبار التباين Fisher و Levene لمتغيرات QMNA و VCN30 بمحطتي أيت تمليل وتمسماط _____ 208
جدول 52: عدد سنوات الشح المائي حسب مؤشرات منحنى الصبيب اليومي المصنف بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) ___ 217
جدول 53: المؤشرات الإحصائية بدلالة المساحة _____ 236
جدول 54: خصائص المنحنيات التسلسلية بمحطتي أيت تمليل وتمسماط (1978-2016) _____ 245
جدول 55: استخلاص فترات النضوب المائي بمحطة أيت تمليل (1978-2016) _____ 246
جدول 56: استخلاص فترات النضوب المائي بمحطة تمسماط (1978-2016) _____ 249
جدول 57: رموز الأحواض المقيسة وموقع نقط القياس _____ 282
جدول 58: البرنامج الزمني لحملات القياس (2017-2020) _____ 283
جدول 59: خوارزميات اشتغال الأنموذج الهيدرولوجي GR4J _____ 302
جدول 60: قيم متغيرات الأنموذج GR4J المحصل عليها من خلال مجموعة من الأحواض النهرية _____ 302
جدول 61: مؤشرات الأداء لفترة التثبيت على المستوى اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط. _____ 311
جدول 62: مؤشرات الأداء لفترة التحقق على المستوى اليومي بمحطتي أيت تمليل وتمسماط. _____ 314
جدول 63: الانحراف المعياري ومؤشر الأداء Nash للصبيب المستقرأ حسب معاملات النضوب المائي α _____ 317
جدول 64: خصائص السواقي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) _____ 325
جدول 65: تشييد وصيانة التجهيزات الهيدروفلاحية بمجال الدراسة _____ 328
جدول 66: الدورة المائية المرتبطة بالسواقي الرئيسية بالحوض المدروس (DPAA, 2014) (عمل ميداني، 2019) _____ 332
جدول 67: صبيب أهم السواقي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) _____ 342
جدول 68: تقدير حجم المياه الجلوبة على المستوى السنوي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف). _____ 343
جدول 69: موقع محطات قياس وتتبع جودة المياه _____ 345
جدول 70: التباين الكلي والمعايير التي يجب مراعاتها في ACP. _____ 355
جدول 71: مصفوفة الارتباط بين المتغيرات في محطات القياس _____ 355
جدول 72: التدابير المقترحة حسب مستويات صبيب الشح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 372

فهرس الخرائط

خريطة 1: الموقع الوطني والجهوي لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 6
خريطة 2: مواقع قياس وتتبع الصبيب بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 10
خريطة 3: مساحة ومحيط وشكل حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 24
خريطة 4: توزيع الارتفاعات بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) والحوضين الفرعيين أيت تمليل وتمسماط. _____ 26
خريطة 5: توزيع الانحدار بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 29
خريطة 6: توجيه السفوح حوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 32
خريطة 7: رتب الشبكة المائية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) حسب طريقة ستراير(Strahler, 1957) _____ 34
خريطة 8: الخريطة الجيولوجية لحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 40
خريطة 9: النفاذية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 43
خريطة 10: الغطاء النباتي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 46
خريطة 11: موقع حوض الدراسة ضمن الحدود الإدارية للأقاليم والجماعات القروية. _____ 51
خريطة 12: توطين محطات القياس بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 87
خريطة 13: التوزيع المجالي للتساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف): طريقة تيسان Thiessen (1976 - 2014) _____ 101
خريطة 14: التوزيع المجالي للتساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) باستعمال طريقة "كريج" Krigeage (1976 - 2014) _____ 103
خريطة 15: التوزيع المجالي للتساقطات المطرية بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) باستعمال طريقة "المسافات العكسية" Inverse des Distances (1976 - 2014) _____ 104
خريطة 16: التوزيع المجالي للتساقطات المطرية بحوض تساوت (عالية سد 'مولاي يوسف') (1985– 2014) _____ 114
خريطة 17:موقع المحطات الهيدرومترية بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 142
خريطة 18: الخصائص الجيولوجية للأحواض الفرعية المقيسة بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 281
خريطة 19: موقع الأحواض الفرعية المقيسة ونقط القياس بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 281
خريطة 20: العائد الهيدرولوجي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) خلال فترة صعود الصبيب (لتر/ث/كلم2) _____ 294
خريطة 21: العائد الهيدرولوجي بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) خلال فترة نزول الصبيب (لتر/ث/كلم2) _____ 295
خريطة 22: اهم السواقي بالمجال المسقي أمزري _____ 335
خريطة 23: اهم السواقي بالمجال المسقي ايفولو وتاسلنت _____ 335

خريطة 24: اهم السواقي بالمجال المسقي عالية تساوت _____ 336
خريطة 25: اهم السواقي بالمجال المسقي تيسالي وتاسلنت _____ 336
خريطة 26: اهم السواقي بالمجال المسقي لفدغات وآراك _____ 337
خريطة 27: اهم السواقي بالمجال المسقي لأيت حميد وايبورودين _____ 337
خريطة 28: اهم السواقي بالمجال المسقي ايت امديس الشمالية وتاسلنت _____ 338
خريطة 29: اهم السواقي بالمجال المسقي تشاكوشت _____ 338
خريطة 30: اهم السواقي بالمجال المسقي سيدي بوعلي _____ 339
خريطة 31: اهم السواقي بالمجال المسقي أوروس _____ 339
خريطة 32: التوزيع المجالي لمحطات القياس والتتبع _____ 346

فهرس الصور

صورة 1: قياس الصبيب لواد تساوت عالية الحوض سد مولاي يوسف (يوليوز، 2017) _____ 9
صورة 2: قياس جودة المياه السطحية وأخذ العينات بواد تساوت _____ 11
صورة 3: ساقية لجلب المياه في اتجاه المجال المسقي ايت بوعلي بحوض تساوت (عمل ميداني، 2017) _____ 12
صورة 4: الانحدار بسفوح الحوض الفرعي لواد تمسماط على اليمين، والحوض الفرعي لواد أيت تمليل على اليسار (عمل ميداني، 2017) __ 31
صورة 5: صور تمثل مناظر طبيعية على اليمين مرتفعات تشرف على واد تساوت وعلى اليسار جبل أنغمر _____ 54
صورة 6: تمثل الصورة على اليمين بحيرة تامدة وعلى اليسار بحيرة إفرض نونسا _____ 55
صورة 7: تمثل الصورة على اليمين دوار ايت علا وعلى اليسار عزيب سفسكموض _____ 55
صورة 8: قصبات مكداز جماعة أيت تمليل (ويكيبيديا) _____ 56
صورة 9: أراض فلاحية داخل المجال السقوي لمنطقة ايت موسى (عمل ميداني، 2017) _____ 57
صورة 10: الأشجار المثمرة على طول المجرى المائي لحوض الدراسة (عمل ميداني، 2017) _____ 59
صورة 11: مستوى صبيب الشح بسافلة تساوت عالية سد مولاي يوسف (عمل ميداني، 2017). _____ 63
صورة 12: عمود القياس وعداد التيار الميكانيكي (بكرة القياس) _____ 286
صورة 13: عمليات قياس الصبيب خلال حملات القياس بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) _____ 287
لوحة صور 14: لسواقي رئيسية وثانوية بمجال الدراسة (عمل ميداني، نونبر 2019) _____ 326
صورة 15: نموذج المشارات الفلاحية بالمجال المسقي بالحوض المدروس (عمل ميداني: نونبر 2019) _____ 327
صورة 16: أ) نقطة جلب الماء بعالية الحوض (Google Earth, 2019). ب) ساقية بمنطقة ايت موسى تعرضت للتلف بفعل الإمتطاح (عمل ميداني: نونبر 2019) _____ 328
صورة 17: قياس صبيب الساقية باعتماد البكرة الدقيقة (عمل ميداني، 2019) _____ 342
صورة 18: أجهزة قياس الموصلية ودرجة الحرارة (أ) والعكارة (ب) _____ 347
صورة 19: أجهزة قياس درجة حموضة الماء (PH) (أ) وتركيز الأوكسجين (ب) _____ 348
صورة 20: مطياف الكتلة البلازمية المقرونة بالحث (ICP-MS) _____ 349
صورة 21: صورة توضح تطور الطحالب بمنطقة ايفوفو (T4). (بحث ميداني، 2019) _____ 356
صورة 22: صور توضح صفاء المياه بعالية الحوض (منطقة أمزري) (بحث ميداني، 2019) _____ 359
صورة 23: صور توضح تطور النباتات المائية والطحالب بمنطقة ايفولو (بحث ميداني، 2019) _____ 360

فهرس الأشكال

شكل 1: تصنيف نظام صبيب الشح حسب (Galéa et al, 1999) بتصرف. _____ 190
شكل 2: تفريغ بيانات القياس في برنامج Depjau© _____ 285
شكل 3: بنية الأنموذج التساقطات المطرية-صبيب اليومي GR4J _____ 301
شكل 4: هندسة خزانات الأنموذج GARDÉNIA: أ) الهندية البسيطة: خزان باطني وحيد. ب) الهندسة المركبة: خزانان باطنيان. ج) الهندسة المركبة: خزان باطني وحيد مع منفذين للصرف. _____ 303
شكل 5: تمثيل تخطيطي لفترتي المعايرة والتحقق لنمذجة الجريان. _____ 306
شكل 6: مؤشرات صبيب الشح وتحديد مستويات (عتبات) اليقظة والإنذار والأزمة والأزمة القصوى (Lang, 2011) _____ 363
شكل 7: نموذج مُقترح لنظام تدبير الخصاص المائي _____ 370
شكل 8: مؤشرات صبيب الشح وتحديد عتبات اليقظة والإنذار والأزمة بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف) والحوض الفرعي لواد أيت تمليل _____ 371