

Flow duration curve a tool to characterize, analyze and management low water in a Semi-Arid context: case of the Tassaout watershed upstream of the Moulay Youssef dam (1978-2016), Central High Atlas, Morocco

Dr. CHAKIR Mohamed*¹, Dr. El-GHACHI Mohamed¹, Dr. GHADBANE Omar¹, Dr. OUAKHIR Hassan¹

¹ Faculty of Arts & Human Sciences | Sultan Moulay Slimane University | Morocco

Received:

13/11/2022

Revised:

23/11/2022

Accepted:

10/12/2022

Published:

30/03/2023

* Corresponding author:

chakirmohamed.doc@hotmail.com

Citation: CHAKIR, M.,

El-GHACHI, M.,

GHADBANE, O., &

OUAKHIR, H. (2023).

Flow duration curve a tool

to characterize, analyze

and management low

water in a Semi-Arid

context: case of the

Tassaout watershed

upstream of the Moulay

Youssef dam (1978-2016),

Central High Atlas,

Morocco. *Journal of*

natural sciences, life and

applied sciences, 7(1),

19 – 34.

<https://doi.org/10.26389/AJSRP.K131122>

AJSRP.K131122

2023 © AJSRP • National

Research Center, Palestine,

all rights reserved.

Open Access



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) [license](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Abstract: The watershed of the Tassaout river (upstream of the Moulay Youssef dam) belongs to the semi-arid mountain area, characterized by low rainfall. The scarcity of water resources, the maldistribution of it in time and space as well as the effect of climate change on a global and regional scale, have pushed us to focus on the study of the events of low water levels. The objective of the study of these flows is to know the factors that govern them to improve the management of resources in the watershed. We used in this study the hydrometric data of the Tamsemat station for the chronicle (1978-2016).

The methodology adopted is based on the determination and analysis of the thresholds and the intensity of low water flows from the flow duration curve (DC) and the modal flow. The results obtained showed that the characteristic classified flow (Q_{75}), which corresponds to the specific flow of 2.3 L/s/Km^2 , represents an entry threshold at low water levels for the basin. Thus, and from the intensity thresholds defined by four levels (vigilance, alert, crisis and reinforced crisis), plans and decisions can be taken to guarantee sustainable and integrated management of water resources in the basin studied.

Keywords : Tassaout watershed (upstream of the Moulay Youssef Dam), Low water flow, Flow duration curve, Threshold, Water resource, Management.

منحنى الصبيب المصنف أداة لتحديد وتحليل وإدارة الشح المائي في السياق شبه الجاف: نموذج حوض تساوت عالية سد مولاي يوسف (1978-2016)، الأطلس الكبير الأوسط، المغرب

الدكتور / شاكر محمد*¹، الدكتور / الغاشي محمد¹، الدكتور / غضبان عمر¹، الدكتور / واخير حسن¹
¹ كلية الآداب والعلوم الإنسانية | جامعة السلطان مولاي سليمان | المغرب

المستخلص: ينتمي حوض تساوت (عالية سد مولاي يوسف) إلى المجال الجبلي شبه الجاف، المتميز بتساقطات مطرية محدودة. فضلاً عن قلة الموارد المائية فهي تتسم بكونها غير متكافئة في توزيعها على المستويين المحلي والزمني، ونتيجة لما يشهده العالم من تغيرات مناخية يرافقها قلة في التساقطات المطرية، سواء كان ذلك على الصعيد العالمي أو على صعيد منطقة الدراسة كجزء منه، لا سيما في الآونة الأخيرة، حيث باتت تشهد تزايداً مستمراً في الطلب على الموارد المائية، الأمر الذي دفعنا إلى ضرورة تسليط الضوء على مسألة الشح المائي، للتعرف على أهم الأسباب التي تقف وراء هذا الحدث، بُغية اتخاذ أنجع الحلول والقرارات التي يمكن عن طريقها تحسين تدبير الموارد المائية في هذا الحوض. وللوصول إلى أدق النتائج اعتمدنا على معطيات الصبيب من محطة تسماط الهيدرومترية والتي تغطي الفترة الممتدة من 1978 إلى 2016.

تعتمد المنهجية المعتمدة على تحديد وتحليل عتبات وشدة الشح المائي باعتماد منحنى الصبيب المصنف (DC) والصبيب الأكثر تردداً (الصبيب المنوال). وقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الصبيب المميز Q_{75} ، الذي يوافق الصبيب النوعي 2.3 ل/ث/كلم^2 ، يمثل عتبة ملائمة لبدء فترة الشح المائي بالحوض. وانطلاقاً من عتبات الشدة المحددة في أربعة مستويات (عتبات اليقظة والإنذار والأزمة ثم الأزمة القصوى) يمكن اقتراح خطط وإجراءات استباقية لتدبير مستدام ومتكامل للموارد المائية بالحوض المدروس. الكلمات المفتاحية: حوض تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، شح مائي، منحنى الصبيب المصنف، عتبة، موارد مائية، تدبير.

تقديم:

تحظى الدراسات الهيدرولوجية بأهمية كبيرة في الوقت الحاضر لاسيما مع ما يشهده العالم من كثافة سكانية متزايدة بشكل كبير، فالاستخدام المفرط للمياه من قبل السكان وبشكل يومي خلف خطرا كبيرا على هذا المورد المهم، لاسيما مع انخفاض كميات التساقطات المطرية التي تغذي الأنهار والمياه الجوفية وخزاناتها، الأمر الذي دعا الباحثين إلى التفكير في الأسباب التي يمكن أن تنتج عن تفاقم مشكل الجفاف وما يرافقه من مشاكل عدة، جعلت عملية تقييم المخاطر الهيدرولوجية على نحو شامل أمراً في غاية الصعوبة (Raml, & Arzek, 2018). ويعتبر الجفاف من بين الأخطار الهيدرولوجية التي يطول أمدتها، فهي اختلال طبيعي يتعرض له الإنسان أو يساهم في تفاقمه (Giret, 2004). لذلك لا يمكن تجاهل دور الأنشطة البشرية والضغط التي يمارسها والتي تزيد من حساسية الحدث (Corbonnois & Humbert, 2000). لهذا فإن تحليل حدث الشح المائي يجب أن يكون في ارتباط مباشر بمشاكل ندرة المياه، هذا لأن مستويات الشح المائي تصبح جسيمة حينما يؤثر نقص الموارد المائية على القدرة على تلبية احتياجات الإنسان. وفي ظل هذا النقص في الموارد المائية في مجال يتميز بمناخ شبه جاف، نأمل من خلال هذا المقال فهم الميكانيزمات والعمليات التي تعتبر الحلقات الأولى في نظام التدبير لحوض مائي يعتبر نموذجاً للأحواض المائية التي تنتمي للأطلس الكبير الأوسط.

يتميز الحوض بدنامية بشرية مهمة أدى ذلك إلى تطور أنشطة فلاحية وانتشار واسع للمجالات السقوية وشبكة هيدروفلاحية مهمة يتم عن طريقها جلب وتوزيع مياه السقي على المشارات الفلاحية. وباعتبار دراسة الجريان مسألة مرتبطة أساساً بعوامل مناخية وبشرية للحوض المائي، والتي تُحدث تغيرات معقدة في الزمن والمكان، فإننا حاولنا تناول موضوع الإشكالية في إطارها الجغرافي. ويمنحنا حوض تساوت (عالية سد مولاي يوسف) بيئة جيدة لفهم السلوك الهيدرولوجي، حيث إن الخطر المعروف والذي يمكن أن نتوقعه هو خطر أكثر ضبطاً، ويمكن احتواءه والتحكم فيه، وتدبيره بطريقة أفضل. وبالتالي فإن مناقشة إكراهات تدبير الموارد المائية بطريقة هادفة، يجب أن تسبقها دراسة شاملة ولمموسة للخصوصيات الطبيعية وتحليل دقيق للمعطيات الهيدرولوجية.

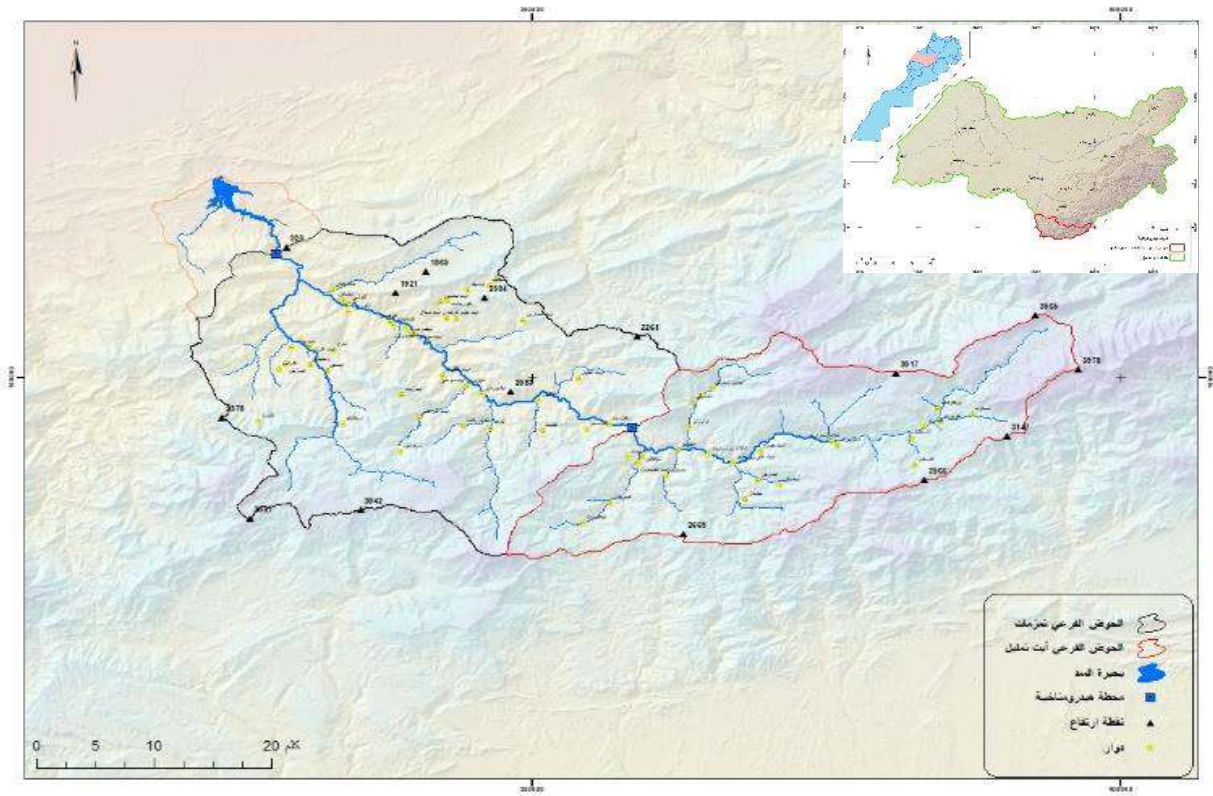
السياق العام للدراسة

1- تقديم مجال الدراسة

● الموقع الجغرافي

يعتبر حوض تساوت (عالية سد مولاي يوسف) من أهم روافد واد أم الربيع. كما ينتمي هذا الحوض إلى الأطلس الكبير الأوسط، والذي يقع بالجنوب الشرقي لحوض أم الربيع. يتميز الحوض بتضاريس جد متنوعة، كما يبلغ أقصى ارتفاع في الحوض 3978 متر عند منبع واد تساوت، وأدنى ارتفاع 900 متر (سد م يوسف)، وتبلغ مساحة الحوض 1307 كلم².

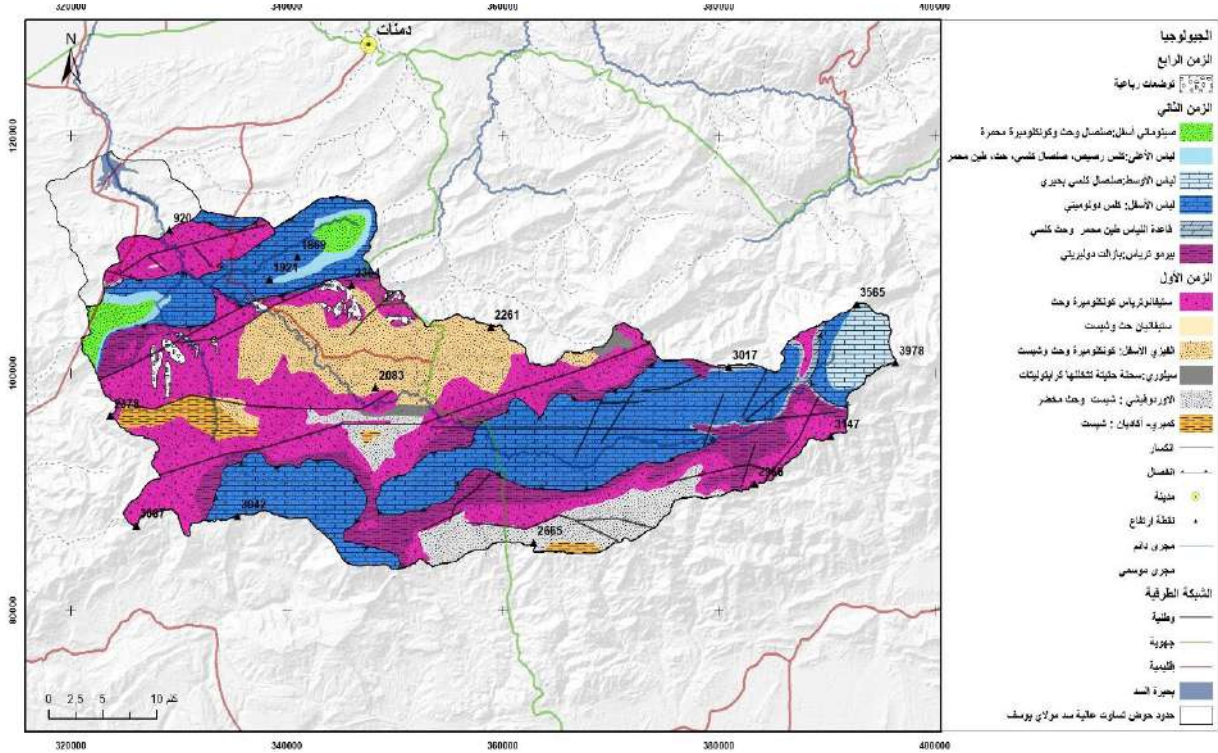
شكل 1: الموقع الوطني والجهوي لحوض تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



المصدر: الخرائط الطبوغرافية لدمنات وايت تمليل 1/100000 ونموذج الارتفاعات الرقمية 2017 DEM

● الجيولوجيا

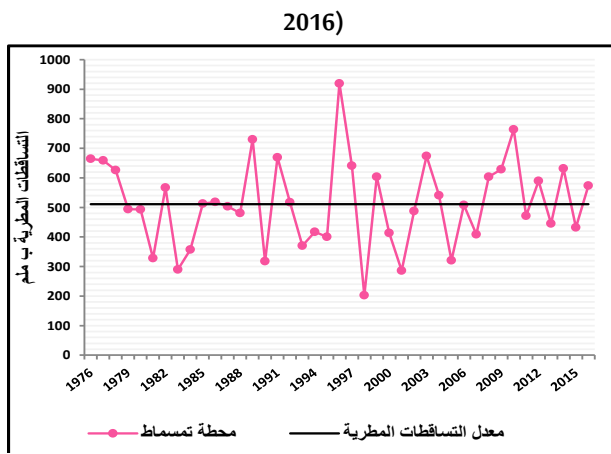
شكل 2: الخريطة الجيولوجية لحوض تساوت (عالية سد مولاي يوسف)



المصدر: الخرائط الطبوغرافية لدمنات وسكورة 1/100000 ونموذج الارتفاعات الرقمية 2017 DEM

تتميز منطقة الدراسة بوجود عدة مجالات كارستية تحتوي على عيون مائية منتشرة فيها وتلعب هذه العيون دورا مهما في المنطقة لكونها من أهم مصادر تزويد الساكن بالماء الصالح للشرب، وري المنتوجات الزراعية. كما يتميز الحوض بقاعدة جيولوجية تشكل أساسا من الصخور الحثية والكلسية النافذة، المنتمة إلى عصر الترياس واللياس بعالية الحوض، والصخور الشيستية والطينية والدولوميتية غير النافذة المنتمة إلى الترياس بسافلة الحوض (Couvreur, 1988). التكوينات الكلسية المنكسرة والمتميزة بنفاذية مهمة جعلت من الحوض خزانا هيدرولوجيا مهما، مما سيكون له تأثير واضح على السلوك الهيدرولوجي حيث إن نسبة من التساقطات المطرية ستتجه نحو الجريان السطحي وجزء مهم نحو الفرشة الباطنية ليشكل بعد ذلك صبيب متأخر (Débit Retardé) خلال فترات الشح من السنة.

شكل 3: التساقطات المطرية السنوية بمحطة تمسماط (1976 – 2016)



● التساقطات المطرية (1976-2016)

بلغ معدل التساقطات المطرية السنوي بمحطة تمسماط خلال الفترة (1976 – 2016) 514 ملم، وقد عرفت السلسلة الإحصائية تذبذبا كبيرا وتوالي فترات مطيرة وأخرى جافة. ويقدر معدل معامل التغير CV بمحطة 0,31، مما يدل الحوض يستقبل تساقطات مطرية متوسطة على العموم.

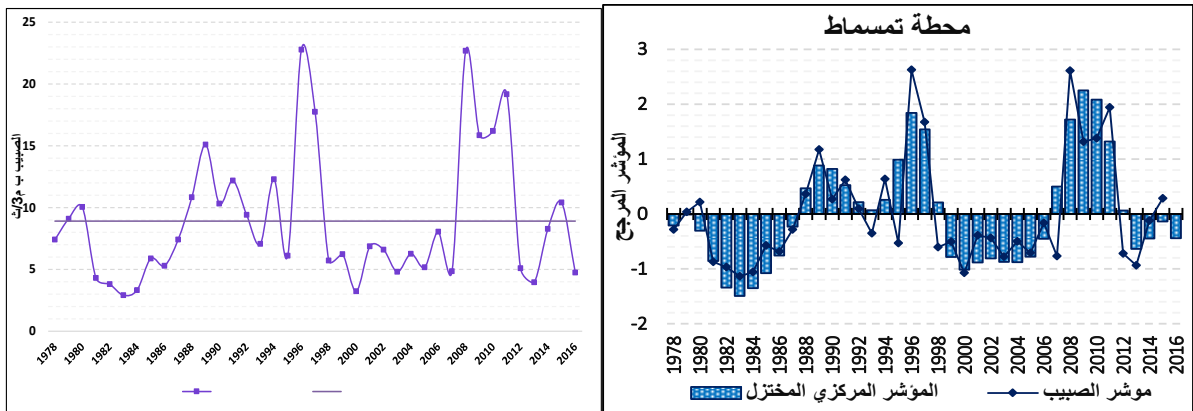
● الصبيب (1976-2016)

اعتمدنا في دراسة الصبيب السنوي على

تحليل المعطيات الهيدرولوجية وتغيراتها الزمنية خلال 39 سنة. هناك تباين في معدلات الصبيب من سنة لأخرى. وقد بلغ المعدل البيسنوي على مدى العينة المدروسة 8,9 م³/ث بمحطة الدراسة. فقط 15 سنة فاقت المعدل البيسنوي للسلسلة الإحصائية، في المقابل، 24 من أصل 39 سنة هي سنوات "عجز مائي".

ولدراسة التغيرات الزمنية للصبيب تم اعتماد مؤشر NICHOLSON وطريقة HANNING، وذلك بهدف تسليط الضوء على النزعات الهيدرولوجية والتميز بين فترات العجز والفائض. 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 وتعزز المؤشرات المائية.

شكل 4: تغيرات الصبيب السنوي بمحطة تمسماط (1978 – 2016)



تتميز هذه التغايرية السنوية للصبيب، بمحطة تسماط، بتوالي فترات رطوبة وأخرى جافة متغيرة المدة. وقد أفرز المؤشر المركزي المختزل عن أربع فترات خلال السلسلة الإحصائية؛ فترتان جافتان، ويتعلق الأمر بالفترة (1978-1987) ثم الفترة (1999-2006). ثم فترتان رطبتان تمتدان على طول (1988-1998) و (2007-2016). وقد أوضح هذا المؤشر أن الفترة الممتدة بين 1978 و 1987 عرفت عجزا كبيرا في الصبيب، كان أقصاها خلال سنتي 1983 و 1984 على التوالي بمحطة الدراسة.

2- الإشكالية

يعتبر الشح في الموارد المائية من الظواهر الهيدرولوجية القسوى الناتجة عن قلة أو غياب في التساقطات المطرية لمدة من الزمن، وهو حدث ينتج عنه انخفاض كبير في منسوب المياه وغيابه في بعض الأحواض، فضلا عن العوامل المناخية والضغط الناتجة عن الأنشطة البشرية، التي يمكن أن تزيد من حدة هذا التوتر وتعرض التوازن الطبيعي للخطر وذلك عن طريق خفض في مستوى صبيب الواد والإطالة في مدة الشح المائي، إما بشكل مباشر (جلب المياه من الوادي) أو بشكل غير مباشر (التغيرات المناخية)، وزيادة تركيز المواد الملوثة خلال فترات شح الصبيب. حتى فترة قصير، كانت القضايا المرتبطة بالإشكالية الشح المائي مرتبطة بشكل أساسي بالأنشطة البشرية، من بينها توفير مياه الشرب، السقي، الإنتاج الطاقى والأنشطة السياحية... أما اليوم فيجب أن تتضمن خطط إدارة الموارد المائية القضايا البيئية أيضا. وقد تم تطوير بعض أنظمة تحذير الشح المائي بشكل رئيس في بعض الدول الأوروبية وأمريكا الشمالية، لاسيما تلك المتميزة بمناخ متوسطي ومحيطي. تعتمد أنظمة الإنذار هاته على صبيب العتبة الذي يتم من خلاله فرض قيود على عمليات استغلال الموارد المائية.

على المستوى الوطني، لم نجد لقيم للشح المائي تعريفا دقيقا بالمعنى الإحصائي. وبالتالي يتم ترك هذا الاختيار لمسؤولي الحوض للأخذ بعين الاعتبار السياق والخصوصيات المحلية للمجال (اعتمادا على وفرة الموارد المائية والاستخدامات المختلفة).

وتتجلى الإشكالية الأساسية في الإجابة عن التساؤل التالي:

هل من الممكن تحديد مستويات الشح المائي في منطقة الدراسة في ظل ظروف مناخية شبه جافة، فضلا عن ندرة المراجع والدراسات التي تهتم بالجوانب الهيدرولوجية والمناخية؟

فرضية الدراسة:

تحليل حدث الشح المائي يجب أن يكون في ارتباط مباشر بمشاكل ندرة المياه، هذا لأن مستويات الشح المائي تصبح جسيمة حينما يؤثر نقص الموارد المائية في القدرة على تلبية احتياجات الإنسان، الأمر الذي يتطلب إعداد دراسة تعمل على وضع المجلس في إيجاد حلول للتخفيف موجات الجفاف التي تحدث نتيجة شح التساقطات المطرية.

أهداف البحث:

- استخلاص فترات الشح المائي بالاعتماد على مؤشرات منحى الصبيب المصنف (DCE)؛
- البحث عن طرق إحصائية لتحديد عتبة بدء الشح المائي مع الأخذ بعين الاعتبار اختيار حد متوازن حتى لا يتم اعتماد مؤشرات منخفضة للغاية مما يؤدي إلى مجموعة من الأحداث النادرة أو العكس؛
- اقتراح خطط لإدارة الخصائص المائي خلال فترات الشح المائي.

3- المنهجية والمعطيات المعتمدة

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 كان 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 لتسجيل الصبيب في المجرى المائي حيث يكون أكبر من أو يساوي القيم التي تم اختيارها مسبقاً. (Guide des pratiques hydrologiques, 1994)

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 $x / (N / 365)$ ، ويعادل المقدار x عدد الأيام خلال السنوات n عندما تم تجاوز الصبيب Q (أي الترتيب). يتم تمثيل الصبيب اليومي المصنف عن طريق منحنى ذو مقعر ومحدب مروراً بنقطة انعطاف إذا كان التمثيل لوغاريتمياً. يضمن هذا الأخير دقة متساوية للرسم البياني بغض النظر عن معدل الصبيب، مما يسمح بتمييز أكثر دقة للاختلافات في خصائص الصبيب المنخفض.

يتشكل مؤشر الشح المائي من متغيرين اثنين: الصبيب والمدة (Q_d) اللذان يميزان عملية التدفق اليومي، حيث إن 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 باعتماد منحنى الصبيب المصنف تركز على تثبيت متغير الصبيب لتحديد فترات الشح المائي التي تتغير مدتها مع مرور الوقت. وستتمحور دراستنا للشح المائي حول ما يلي:

- استخدام المرئية الفضائية DEM نموذج الارتفاعات الرقمية لمنطقة الدراسة في سبيل تحديد الحوض وشبكة التصريف النهري حيث أدخلت إلى برنامج ArcGIS، ليتم إنتاج خريطة الارتفاعات وخطوط التسوية والشبكة النهرية التي صُنفت إلى مراتبها، ليتم أخذ مختلف القياسات المورفومترية ومن ثم إجراء العالقات المكانية بين مختلف تلك الخصائص التي أشتمل عليها الحوض وتوظيف هذه البيانات لمعرفة الخصائص الهيدرولوجية. (Karbouli, 2022).
- إنشاء منحنى الصبيب المصنف حسب الطريقة الشاملة على مدى سلسلة زمنية طويلة. وذلك بهدف دراسة خصائص الشح المائي؛
- إبراز عدد الأيام تحت عتبات مؤشرات الشح المائي المستخلصة، حسب الفترات المعتمدة، وذلك بهدف استنتاج شدة الشح المائي حسب كل عتبة؛
- تحديد العتبة الملائمة لحدوث فترات الشح المائي، مع الأخذ بعين الاعتبار الخصائص المناخية لحوض الدراسة.

إن استخدام منحنى الصبيب المصنف يعطينا نظرة شاملة عن كل القيم المسجلة للصبيب بالحوض، كما يمكننا الجزء النهائي من المنحنى (الصبيب المنخفض) من تقريب خصائص الشح المائي، ويمكننا أيضاً من قيم الصبيب الجوي.

تم توفير المعطيات الهيدرومترية المعتمدة من طرف وكالة الحوض المائي لأم الربيع. والمتعلقة أساساً بالمعطيات اليومية للصبيب خلال السلسلة الإحصائية (1978-2016) بالمحطة الهيدرومترية تمسماط. 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 تسعى حدود الشح المائي، من خلال منحنى الصبيب المصنف.

يتم استخراج من هذا المنحنى مجموعة من التدفقات المُميّزة للصبيب المنخفض (Smakhtin, 2001 ; Lang,)
: (2007 ; Gailliez, 2013 ; Garcia, 2016)

- EA : الشح المائي المطلق L'étiage absolu (أو الحد الأدنى المطلق) ، الذي لا يمر بالضرورة من خلال منحنى الصبيب 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.
 - Q₉₅ : الصبيب المصنف بنسبة 95%، وهو ما يقابل التجاوز الذي يقارب 347 يومًا في السنة.
 - Q₉₀ : الصبيب المصنف بنسبة 90%، وهو ما يقابل التجاوز الذي يقارب 329 يومًا في السنة.
 - Q₈₀ : الصبيب المصنف بنسبة 80%، وهو ما يقابل التجاوز الذي يقارب 292 يومًا في السنة.
 - Q₇₅ : الصبيب المصنف بنسبة 75%، وهو ما يقابل التجاوز الذي يقارب 274 يومًا في السنة.
 - Q₅₀ : الصبيب المصنف بنسبة 50%، وهو ما يقابل التجاوز الذي يقارب 183 يومًا في السنة. يشير إلى الحد الفاصل بين فترات صعود الصبيب ونزوله بالمجرى المائي.
- يتم الحصول على منحنى الصبيب المصنف انطلاقًا 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 استعمالًا هي كالتالي:

$$Prob(x \geq Q) = f(x) \frac{r}{n + 1}$$

بحيث $f(x)$ التردد المتجاوز للقيمة المقاسة x ، و r ترتيب القيمة المقاسة x و n العدد الإجمالي للقيم المقاسة. تمكننا القيم اليومية الممثلة عن طريق منحنى الصبيب المصنف من مقارنة الشح المائي بطريقة بسيطة، من خلال نظرة شمولية، قبل اللجوء إلى معالجة إحصائية مفصلة.

4. النتائج

1. منحنى الصبيب المصنف (1978-2016)

إن خاصية التمثيل في منحنى الصبيب المصنف تكمن، بشكل أساسي، في جانبه المركب الذي يجعل من الممكن تصور المميزات الرئيسية لمجرى مائي بسرعة من خلال نظرة شمولية لمجموعة قيم الصبيب اليومي خلال السلسلة الإحصائية (تغايرية الصبيب، متوسط الصبيب، حجم وتردد صبيب الامتطاح أو الشح...). لذلك فهو يستخدم على نطاق واسع كأداة للتدبير، وخاصة في مجال المنشآت الكهرمائية والهيدروليك، بالإضافة إلى دراسة التدفقات الرسوبية ونقل الملوثات... 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 (Catalogne et Sauquet, 2010) تجميع المعطيات المحصل عليهما من خلال منحنى الصبيب المصنف باعتماد مؤشر انحناء Ic تم الحصول عليه من خلال النسبة التالية:

$$Ic = \frac{(Q1 - Q10)}{(Q10 - Q99)}$$

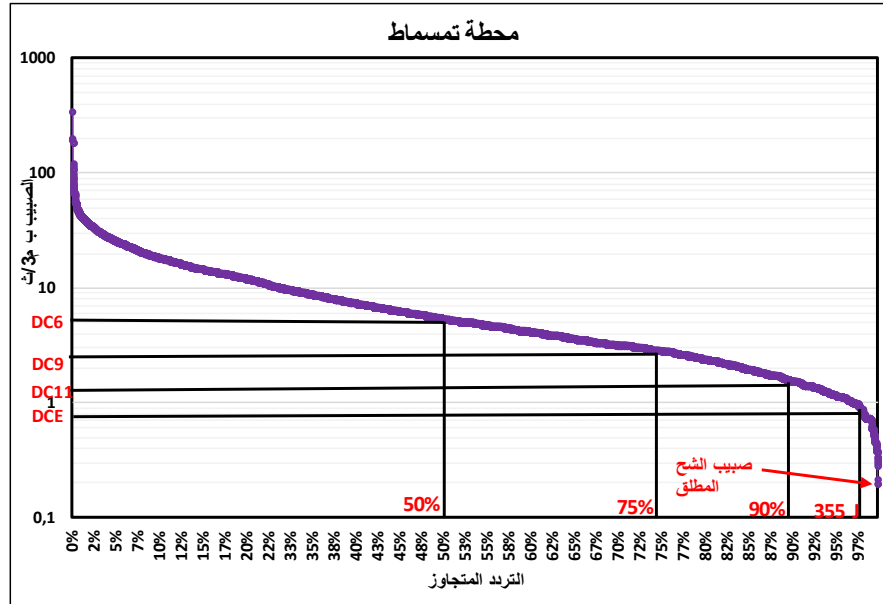
Indice de courbure : مؤشر الانحناء Ic

Q_1 : الصبيب المصنف بنسبة 1 %، ما يقابل التجاوز الذي يقارب 4 أيام في السنة.

Q_{10} : الصبيب المصنف بنسبة 10 %، ما يقابل التجاوز الذي يقارب 35 يوماً في السنة.

Q_{99} : الصبيب المصنف بنسبة 99 %، ما يقابل التجاوز الذي يقارب 361 يوماً في السنة.

شكل 5: ميزة الصبيب المستخلصة من منحى الصبيب المصنف بمحطة تمسماط (1978 – 2016).



يمثل المستوى Q_{10} نقطة انعطاف بين جزأي المنحنى، الأول يتميز بانحدار قوي (من Q_1 إلى Q_{10}) والآخر بانحدار ضعيف نسبياً (من Q_{10} إلى Q_{99}). إن العلاقة القائمة بين هذين القسمين تجعل من الممكن التعبير بشكل مناسب نسبياً عن التباين الملحوظ بين فترة نزول الصبيب (الصبيب القاعدي) وفترة صعود الصبيب. 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 (McMahon et al, 2007) العلاقة التالية لتمييز نسبة الجريان الجوفي.

$$Q_b = Q_{90} / Q_{50}$$

بحيث: Q_b نسبة الجريان الجوفي ب % (Débit de base).

ويمثل الجدول التالي النتائج المستنبطة من منحى الصبيب المصنف:

جدول 1: الصبيب المُمَيَّر المستخرجة من منحى الصبيب المصنف بمحطة تمسماط (1978 - 2016)

المعدل البيسنوي (م³/ث)	Q_d %	Ic (م³/ث)	Q_{50} (م³/ث)	Q_{70} (م³/ث)	Q_{75} (م³/ث)	Q_{80} (م³/ث)	Q_{90} (م³/ث)	DCE (م³/ث)	EA (م³/ث)	
8,9	29	1,4	5,27	3,26	2,87	2,44	1,62	1,08	0,21	محطة تمسماط

يدل مؤشر الانحناء على أن حوض تساوت (عالية سد مولاي يوسف) يتميز بسلوك هيدرولوجي عدواني، فعالية الحوض تتشكل أساساً من التكوينات الكلسية المنكسرة، غير أن وسط وسافلة الحوض تغلب فيها التكوينات

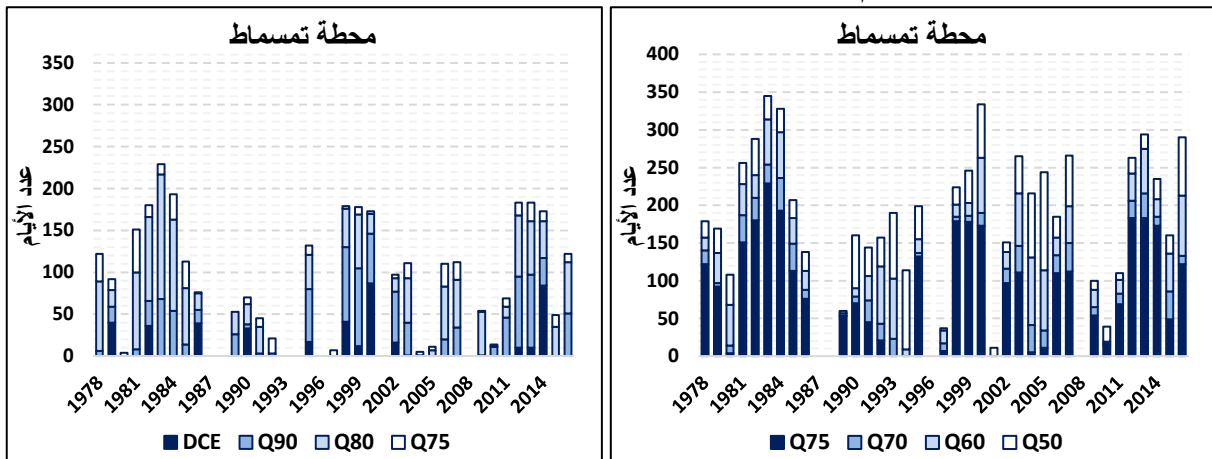
غير النافذة، ما يحفز غلبة الجريان السطحي، ويعكس شدة حساسية الاستجابة الهيدرولوجية، ويتضح هذا من معامل الجريان الجوفي الذي بلغ $Q_d=29\%$.

كما يلاحظ من خلال النتائج المستخلصة من منحى الصبيب المصنف أن معدل الصبيب البيسنوي عادة ما يكون أعلى من متوسط الصبيب (Q_{50})، ويقترب إلى (Q_{36}) بالنسبة لمحطة الدراسة.

2. عدد الأيام تحت العتبات المستخرجة من منحى الصبيب المصنف (2016-1978)

كما سبقت الإشارة، فإن تحديد مستويات الشح المائي وحدوثه أو تحليل ظهور هذا الحدث في السلسلة الإحصائية للصبيب، يسبقه تحديد العتبات التي من خلالها يبدأ الشح المائي. وبالتالي فإن منحى الصبيب المصنف يمنحنا إمكانية تحديد هذه العتبات بشكل مباشر على المعدلات اليومية للصبيب خلال السلسلة الإحصائية المدروسة دون اعتماد دراسة تحليل الترددات أو فترات الرجوع. وتبقى المرحلة الأساسية هي تحديد مؤشرات الشح المائي، التي توافق الخصوصيات المناخية والطبيعية لأحواض الدراسة.

شكل 6: عدد الأيام حسب العتبات المستخرجة من منحى الصبيب المصنف (2016-1978)



يمثل الشكل (6) مجموع الفترات السنوية تحت العتبات حسب العتبات المستخرجة من منحى الصبيب المصنف، ويبدو أن بعض السنوات تميزت بفترات عجز ممتدة لعدة شهور. وقد عرفت السنوات بين 1978 و1986 فترات عدد أيام تحت العتبة ممتدة زمنياً، بلغت أقصاها 266 يوماً سنة 1983 حسب الصبيب المميز Q_{75} . وبالتالي فإن بداية الثمانينيات تبقى السنوات الأكثر تأثراً بالجفاف الهيدرولوجي الناتج عن الجفاف المناخي المتمثل في قلة التساقطات المطرية.

يكمن لفترات الشح المائي أن تقتصر على عدد من السنوات دون أخرى، ويتردد يختلف من سنة لأخرى،

ويمكن تفسير ذلك بالعوامل المناخية التي تؤثر على النظام الهيدرولوجي للأحواض النهرية.

يمثل المؤشر DCE أدنى مستويات الشح المائي المستخلصة من منحى الصبيب المصنف، فقد تكررت 12 مرة بنسبة مئوية لم تتجاوز 29% خلال السلسلة المدروسة (تجدر الإشارة أن السلسلة الإحصائية لهذه المحطة تعرف غياب المعطيات لمدة 3 سنوات لم يتم احتسابها)، وعرفت أطول الفترات خلال السنوات 1998 و2000 و2014. عند رفع العتبة إلى Q_{90} تجاوزت نسبة سنوات الشح المائي 72% بالنسبة لمحطة الدراسة. أما بالنسبة لباقي عتبات الصبيب المميز من Q_{80} إلى Q_{50} فقد تجاوزت نسبة السنوات 80% من العينة الإحصائية للصبيب، حيث إن وثيرة الزيادة أقل حدة.

جدول 2: عدد سنوات الشح المائي حسب مؤشرات منحني الصبيب المصنف بمحطة تمسماط (2016-1978)

Q ₅₀	Q ₆₀	Q ₇₀	Q ₇₅	Q ₈₀	Q ₉₀	DCE	
35	34	33	32	30	26	12	عدد السنوات
97,2	94,4	91,6	88,8	83,3	72,2	36,1	النسبة (%)
181	143	107	89	78	39	11	معدل الأيام

معدل الأيام تحت العتبات جد متقارب بالنسبة لمحطة الدراسة، إلا أنها سجلت معدلات فاقت 100 يوم بالنسبة لصبيب المميز Q₇₀، وتجاوزت 180 يوم بالنسبة للصبيب المميز Q₅₀. غير أن الإشكال المطروح هو تحديد العتبة الملائمة لحدوث فترات الشح المائي، مع الأخذ بعين الاعتبار الخصائص 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.

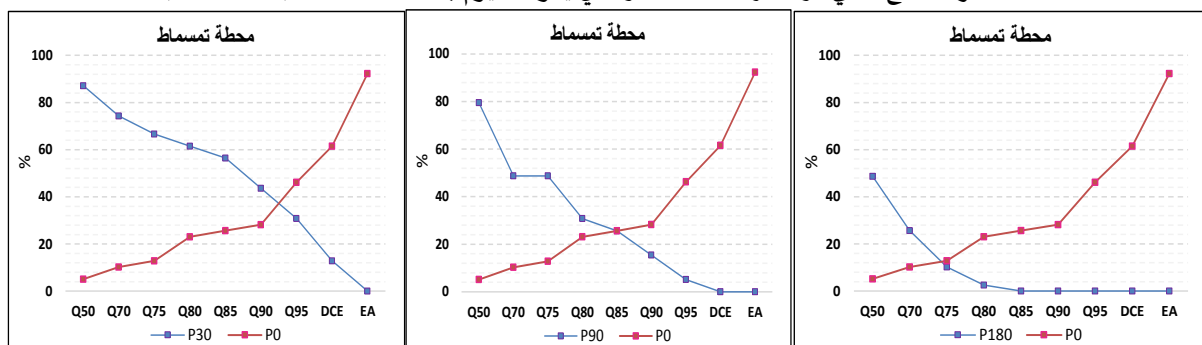
3. عتبات البدء للشح المائي بحوض تساوت (عالية سد مولاي يوسف).

من وجهة نظر التحليل الإحصائي، يجب أن يكون اختيار عتبة الشح المائي نتيجة التوفيق بين العتبات المنخفضة والعتبات المرتفعة. فالعتبات المنخفضة تجعل من الممكن دراسة الشح المائي الأكثر تطرفاً، 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 الأحداث الهيدرولوجية غير المتطرفة فعلا (Tallaksen, 2004).

1.3 اختيار عتبة البدء للشح المائي انطلاقاً من مؤشرات منحني الصبيب المصنف.

من أجل إيجاد أفضل توافق، اعتمدنا النهج التالي (Renard et Giuntoli, 2009): انطلاقاً من عدة خيارات لعتبات الشح المائي المستخلصة من منحني الصبيب المصنف (DCE, Q₉₀, Q₈₀, Q₇₀, Q₅₀)، تم حساب p₀ النسبة المئوية للسنوات دون الشح المائي، و p_d النسبة المئوية للسنوات التي تؤدي إلى انخفاض مستوى المياه لأكثر من d يوماً، حيث تم اعتماد عدد الأيام في السنة التي تفوق 30 و 90 و 180 يوماً. تشير القيمة العالية لـ p₀ إلى أن العتبة المختارة منخفضة جداً، بينما تشير القيمة العالية لـ p_d إلى عتبة عالية جداً.

شكل 7: مقارنة الشح المائي ذو الفترات المنعدمة والذي يفوق d يوم بمحطة تمسماط (2016-1978).



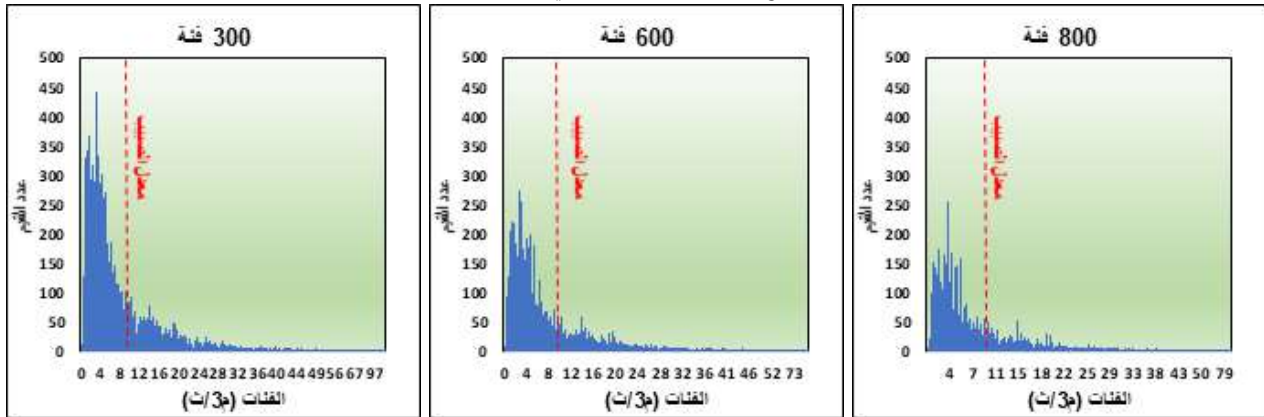
انطلاقاً من الشكل (7) نلاحظ أن العتبات DCE و Q₉₅ منخفضة للغاية، لأنها أفرزت، بالنسبة لمحطتي الدراسة، أكثر من 50% من السنوات دون الشح المائي. وبالتالي يكون الاختيار بين العتبات الأخرى أكثر دقة. حيث أن العتبات Q₉₀ و Q₈₀ أفرزت بين 74% و 84%. بشكل عام يتقاطع المنحنيين بين عتبتين Q₇₅ و Q₉₀ بالنسبة لعدد الأيام

التي تفوق 30 إلى 180 يوم بالنسبة لمحطة الدراسة. أفرزت العتبة Q_{75} عدد السنوات سجلت صبيبا للشح بنسبة 90 % بمحطة الدراسة. وكما سبقت الإشارة فإن اختيار عتبة أعلى يمكن أن يؤدي إلى دراسة الأحداث الهيدرولوجية غير المتطرفة، غير أنها يمكن أن تكون مؤشرا لبداية فترة الشح المائي بالنسبة لحوض يتواجد ضمن السياق المناخي الشبه الجاف. وبالتالي، يجب توخي الدقة في اختيار عتبات تمثل فعلا حدث الشح المائي ومستويات شدته مع مراعاة الخصوصيات المناخية للحوض المدروس.

2.3 الصبيب المنوال كعتبة أقصى للشح المائي

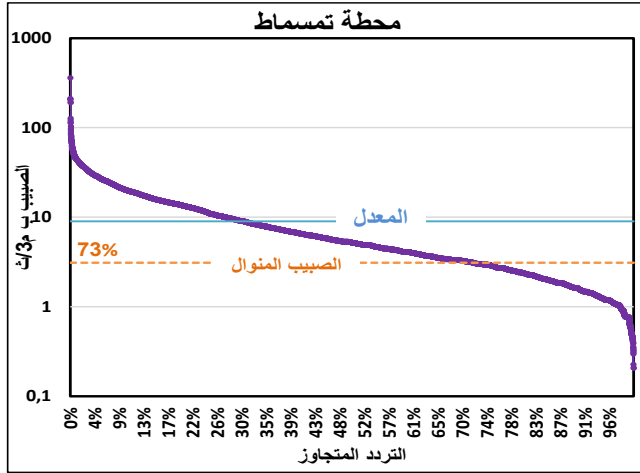
تبقى مسألة تحديد العتبة الفاصلة بين فترتي نزول الصبيب والشح المائي صعبة التحديد، ويصاحبها، في جميع الحالات وبدرجة كبيرة، شيء من الذاتية (Lang, 2007). وبالتالي سنعمل في هذه المرحلة على تعيين الحد الأقصى للشح المائي من خلال الصبيب الأكثر ترددا أو الصبيب المنوال. عادة ما يتم وصف السلوك أو النظام الهيدرولوجي للمجرى المائي من خلال دراسة معدلات الصبيب. وبالنظر إلى توزيع المعدلات اليومية للصبيب المنحازة للغاية، وبالرغم من أنها تمثل وفرة المجرى المائي، فإنها تمثل احتمالا ضئيلا لإبراز القيم الأدنى من الصبيب. وبالتالي سيمثل الصبيب المنوال الصبيب الأكثر احتمالا. وإذا كان معدل الصبيب يفصل بين فترتي نزول الصبيب وصعود الصبيب، فإن الصبيب المنوال يمكن أن يظهر كقيمة قصوى لاستخراج عينات الشح المائي.

شكل 8: المدرج التكراري لتوزيع معدل الصبيب اليومي والصبيب المنوال (1978-2016)



يمكن تمثيل معدل الصبيب اليومي على شكل مدرج تكراري، حيث يتم تمثيل فئات الصبيب على محور الأفصيل وعدد الأيام التي يلاحظ فيها قيم الصبيب في محور الأرتيب. تمكننا قراءة المدرج التكراري من استخراج بشكل سريع قيمة الصبيب المنوال. غير أن تحديد القيمة المنوال انطلاقا من هاته المدرجات التكرارية تشوبها درجة من عدم اليقين، لأنها تتباين نسبيا حسب عدد الفئات المحددة مسبقا.

شكل 9: مؤشرات الشح المائي مقارنة مع تلك الناتجة عن منحى الصبيب المصنف بمحطة تمسماط



تم تقدير الصبيب المنوال بهذه الطريقة من خلال معطيات الصبيب اليومي لمحطة تمسماط. وقد قمنا بتحديد عدد الفئات، بشكل عشوائي، في 600 فئة. ومن خلال المدرج التكراري تظهر الفئة المنوال بشكل واضح بمحطة الدراسة، حيث عرفت المحطة صبيب منوال بلغ $3,1 \text{ م}^3/\text{ث}$ والتي تمثل 73% من منحى الصبيب المصنف. وبالتالي فإن هذه القيم تمثل بالنسبة لمحطة الدراسة العتبة القصوى للشح المائي.

يتموضع المعدل البيسنوي للصبيب بالنسبة لمحطة الدراسة عند التردد المتجاوز

30% من منحى الصبيب المصنف. يختلف الانحراف المعياري بين المعدل البيسنوي ومؤشرات الشح المائي بمحطتي الدراسة، حيث إن هذه المؤشرات لم تتجاوز التردد 70% بالنسبة لمحطة تمسماط.

إذا اعتبرنا أن الصبيب المنوال هو حد أقصى للشح المائي (Lang, 2007)، فإن هذا الأخير، حسب النتائج المبينة في الشكل (9)، يحصر ميزتي الصبيب Q_{75} و Q_{80} بمحطتي الدراسة. علما أن الترددات المحصل عليهما أفرزا نسبة بين 82% و 88% من السنوات تحت العتبة.

مناقشة

نظرا لندرة الدراسات المتعلقة بحدث الشح 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 المُمَيَّر للشح (DCE) كقيمة يمكن استخدامها للتدفقات المنخفضة ضمن السياق المناخي المحيطي والمتوسطي. وقد حدد مجموعة من الباحثين (Gailliez, 2013 ; Gustard et al, 1992 ; Vezza et al., 2010) الصبيب المميز Q_{95} كعتبة لدراسة خصائص الشح المائي ضمن المناخات المتوسطية والمحيطية. فيما اقترح (El-Jabi, 1997) في دراسته لهذا الحدث بالنطاق القاري العتبة Q_{90} من الصبيب المصنف، لتحديد سلسلة من فترات العجز. غير أن (Abi-Zeid, 1997) في دراسته للشح المائي بعدة أحواض في سياقات مناخية مختلفة اقترح عتبتين توافقان الصبيب المميز Q_{90} و Q_{75} ، كما أن دراسته شملت أحواضاً نهريّة ذات أنظمة هيدرولوجية مركبة (مطرية ثلجية وثلجية 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.

إن تحديد قيمة واحدة كعتبة للشح المائي تبقى مسألة جد معقدة، وتستند في النهاية على سياق وموضوع الدراسة. في الواقع، ليس بالضرورة اختيار معدلات الشح المائي المنخفضة لتحديد الأحداث الاستثنائية. وبالتالي فإن اختيار مؤشر منخفض للغاية سيؤدي إلى مجموعة من الأحداث النادرة والقليلة جداً، بحيث لا تتمكن من إجراء علاج إحصائي، كما أن اختيار عتبة مرتفعة يؤدي إلى حجب الأحداث المتطرفة وظهور مشكل الجفاف المتعدد السنوات. لذا حاولنا من خلال الدراسة الإحصائية لعدد من المؤشرات اختيار وضع حد متوازن لتحديد قيم الصبيب المتعلقة بالشح المائي.

وقد جاء اختيار المؤشر Q_{75} لتحديد عتبة بدء فترات الشح المائي لاعتبارات نجملها فيما يلي :

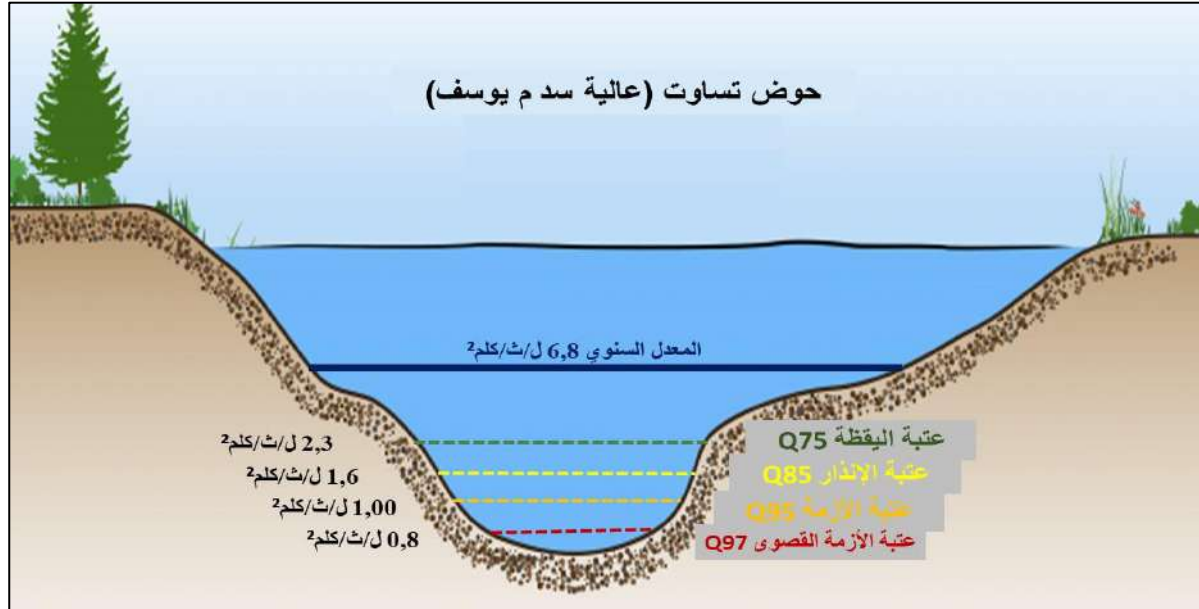
- سهولة استخراج هذا المؤشر انطلاقا من منحى الصبيب المصنف لمعطيات الصبيب اليومي؛
 - بينت الدراسة الإحصائية التي قمنا بها أن نسبة السنوات، حسب العتبة Q_{75} ، التي عرفت فترات الشح المائي خلال السلسلة المدروسة (1978-2016) بلغت 88,8% بمحطة تمسماط؛
 - أظهر مقارنة الشح المائي ذو الفترات المنعدمة، والذي يفوق 180 يوما (سنة أشهر)، تقاطع المنحنيين عند الصبيب المميز 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/كلم² التي تم اقتراحها من طرف (Lang, 2007)؛
 - يرتبط اختيار عتبة مناسبة للشح المائي بالخصوصيات المناخية للحوض، فأغلب الدراسات في السياقات المناخية المتوسطة والمحيطية اقترحوا المؤشرات Q_{90} و Q_{95} كعتبات لدراسة هذا الحدث. ونظرا للخصوصيات المناخية للأحواض المدروسة (المناخ الشبه الجاف) كان لابد من اختيار عتبة أعلى ثلاثم خصوصيات الجريان في هذه الأحواض.
- اعتمادا على الدراسة الإحصائية التي أجريناها فقد تبين أن مؤشر الصبيب المميز Q_{75} الأنسب لتمثيل عتبة بدء فترة الشح المائي بالنسبة لحوض الدراسة. وحتى يكون تحديد فئات العتبات التي تعبر عن شدة هذا الحدث منهجيا فإننا سنعتمد في هذا التفيئ على قيم الصبيب المميز المستخلصة من منحى الصبيب المصنف.
- لكن لا يمكن أن تتطابق دائما هذه العتبات التي تم اقتراح تفيئ لها مع الخصوصيات المختلفة للجريان، وبالتالي يمكن أن تختلف من حوض لآخر حسب الخصوصيات الطبيعية والمناخية المميزة للحوض بالإضافة إلى درجة التأثير البشري على النظام الهيدرولوجي.

توصيات واقتراحات لإدارة الشح المائي

يمكن أن يكون لاستخدام المياه على وجه الخصوص أثناء فترات الشح المائي تأثير على الاشتغال الهيدرولوجي، مثل سقي المزروعات واستعمالات أخرى، وكذلك على الوظائف البيئية. لهذا السبب من المهم معرفة ما إذا كان الانخفاض المتزايد في معدلات الشح المائي أو التغيير في نظام 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 لمحطة تمسماط بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)، وباطلاعنا على النصوص التشريعية الفرنسية التي عرفت تقدما كبيرا في مجال تدبير الموارد المائية خلال فترات الأزمات، تمكنا من استخراج مجموعة من المؤشرات التي يمكن أن تدل عن حدوث الشح المائي (شكل 10).

شكل 10: مؤشرات الشح المائي وتحديد عتبات اليقظة والإنذار والأزمة بحوض واد تساوت (عالية سد م يوسف)



يمكن تشكيل نظام لإدارة فترات الشح المائي على الصعيد المحلي من خلال أحواض نهريّة 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 إلغائها، وضمان إمدادات مياه الشرب والحفاظ على جودة البيئات الطبيعية.

وبالتالي، سنكون أمام أربع فئات، حسب الصبيب المميز Q_{75} و Q_{85} و Q_{95} و Q_{97} التي تحدد، على التوالي، عتبات اليقظة والإنذار والأزمة ثم الأزمة القصوى. ويوضح الجدول، التدابير المقترحة حسب مستويات الشح المائي بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف) باعتماد المؤشرات المقترحة انطلاقا من منحى الصبيب اليومي المصنف.

جدول 3: التدابير المقترحة حسب مستويات صبيب الشح بحوض واد تساوت (عالية سد مولاي يوسف)

توعية الساكنة للاقتصاد في الماء؛ تهيئة وترميم السواقي، وتشجيع بنائها بالإسمنت المسلح للتقليل من ضياع الماء؛ 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.	Q75	عتبة اليقظة
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.	Q85	عتبة الإنذار
	Q95	عتبة الأزمة

<p>ضمان بقاء بيئة مائية صحية؛ ضمان إمدادات مياه الشرب؛ التوقف الكلي لعمليات جلب المياه.</p>	<p>Q97</p>	<p>عتبة الأزمة القصى</p>
---	------------	------------------------------

يتم اتخاذ نفس الإجراءات لإدارة المياه الجوفية. كما يجب الأخذ بعين الاعتبار، في تدبير الخصائص المائي، مجموعة من الظروف والعوامل التي يمكن أن تؤثر في تحديد العتبات المختلفة وتنفيذ الإجراءات في حالة تجاوزها. وبالتالي فإن هذه العتبات المقترحة باعتماد مؤشرات الشح المائي المستخلصة يمكن أن تتغير من حوض لآخر حسب نوع الاستخدامات البشرية والظروف المناخية السائدة والخصائص الطبيعية والنظام الهيدرولوجي لكل حوض، كما أن حجم التغذية الباطنية للمجاري المائية ومساحة الحوض عاملان أساسيان في تحديدها.

خاتمة

اختلفت نتائج استخلاص فترات الشح المائي على المستوى المجالي والزميني؛ على المستوى الزميني اقتصر استخلاص فترات الشح المائي على بعض السنوات وبترددات تختلف من سنة لأخرى. أما على المستوى المجالي فقد تباينت النتائج بين عالية الحوض وسافلته وهذا راجع بالأساس إلى الخصائص الطبيعية المتباينة. وقد جاء اختيار عتبة بدء الشح المائي Q75 كعتبة للشح المائي لتحديد حالة الوضع الهيدرولوجي بحوض تساوت (عالية سد مولاي يوسف) استنادا على الدراسة الإحصائية والخصائص المناخية لمجال الدراسة.

يمكن لفترات الشح المائي، حسب العتبة المختارة التي تعبر عن شدة الشح المائي، 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.

إن تحديد عتبات ومستويات الشح المائي 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 والخصائص المائي عن طريق التدبير المعقلن، والبحث عن العوامل المؤثرة، لأن مقاومة الإنسان للأخطار والكوارث المناخية يقتضي التدبير عن طريق التنبؤ والوقاية والإصلاح.

مراجع بيليوغرافية

- Abi-Zeid 1. (1997). La modélisation stochastique des étiages et de leurs durées en vue de l'analyse du risque. Thèse de Doctorat, INRS-Eau, Québec. 300p.
- 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. Décembre 2011.
- Corbonnois, J., & Humbert J. (2000). Ressources et gestion de l'eau dans le Nord-Est de la France, sous la direction de J.P. Bravard, Chapitre de l'ouvrage "L'eau dans les régions françaises, d'un extrême à l'autre", p. 219-249. SEDES.
- 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 N° 318. 391 p.
- El-Jabi, N., Ashkar, F., & ISAA, M. (1997). Application stochastique du phénomène d'étiage, Can. J. Eng. vol. n°24 p. 191-200.
- 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, Belgique.

- Garcia, F. (2016). Amélioration d'une modélisation hydrologique régionalisée pour estimer les statistiques d'étiage. Thèse de doctorat. UPMC Paris; France
- Giret, A. (2004). Le risque hydrologique. L'information Géographique. Vol. 68. N° 1. pp 14-26.
- Giuntoli, I., & Renard, B. (2009). Identification des impacts hydrologiques du changement climatique: vers un réseau de référence pour la surveillance des étiages. (Rapport n° p4/86- 2009), ONEMA- CEMAGREF. France.
- Gustard, A., Roald L.A., Demuth, S., Lumadjeng, H.S., & Gross R. (1989). Flow Regimes from Experimental and Network Data. (FRIEND), Vol. 1, Hydrological Studies, Institute of Hydrology, Wallingford, UK. <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/14239/1/N014239CR.pdf>.
- Karbouli, A. S. E. A. (2022). Hydromorphometric Characteristics of the Milan Valley Basin in the Western Plateau and the Possibility of Investing Them for the Purposes of Water Harvesting. Journal of Tikrit University for Humanities, 29(8, 1), 104–136. <https://doi.org/10.25130/jtuh.29.8.1.2022.06>
- 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
- McMahon, T. A., Pegram, G. G. S., Vogel, R. M. et Peel, M. C. (2007). Revisiting reservoir storage-yield relationships using a global streamflow database. Advances in Water Resources, 30(8), 1858-1872.
- Raml, Q. A., & Arzek, A. S. (2018). Evaluating the qualitative characteristics of groundwater and its suitability for human use in the Kirkuk district. Journal of Education and Scientific Studies, 2(11). 281-316.
- Smakhtin, V.U. (2001). Low flow hydrology: a review, Journal of hydrology, 240, 147-186.
- Tallaksen, L. M., & Van Lanen, H. A. J. (2004), Hydrological drought. Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. (Developments in water science; Vol. 48). Elsevier. Amsterdam.