

ETUDE DU RÉGIME HYDROLOGIQUE DU FLEUVE INAOUÈNE, MAROC SEPTENTRIONAL

Naoura Jamal, PhD
Lahcen Benaabidate, Prof.

Laboratory of Georesources & Environment, Faculty of Sciences and
Technology, University Sidi Mohamd Ben Abdellah, Morocco

Abstract

The analysis of the Inaouene river hydrologic behavior has shown a mediterranean typical regime, characterized by the abundance of rain with high winter flow rates, therefore, heavy flooding, and on the other hand, by a strong dry season, thus, low flow. The annual module, as well as the different coefficients, highlights the hydroclimatic fluctuations, in relationship with a semi-arid climate. The hydrological balance highlighted the importance of water volumes routed upstream and downstream, confirming the morphometric parameters of the basin and the lithologic nature which involves two major different units (formations essentially karstic carbonate in the Middle Atlas at the Southern part of the basin and, a marly impermeable substratum in the Prerif; northern part of the basin). The frequency study of extreme high flow rates showed that they are not governed by a specific law.

Keywords: Inaouene river, hydrology regime, flood, shortage

Résumé

L'analyse du comportement hydrologique de l'Inaouène a montré un régime typique méditerranéen, caractérisé par l'abondance pluviale à très forts débits hivernaux, donc de fortes crues; d'une part, et d'autre part, par une saison sèche fortement prononcée, donc des étiages. Le module annuel, ainsi que les différents coefficients,—mettent en évidence des fluctuations hydroclimatiques, en relation avec un climat semi-aride. Le bilan hydrologique a mis en évidence l'importance des volumes d'eau acheminés en amont qu'en aval, confirmant ainsi les paramètres morphométriques du bassin et la nature lithologique qui regroupe deux grandes unités différentes (formations essentiellement carbonatées karstifiées du Moyen Atlas et un substratum marneux imperméable du Pé-rif). L'étude fréquentielle des débits extrêmes a montré que ces débits ne sont pas régis par une loi déterminée.

Mots clés: Fleuve Inaouène, régime hydrologique, crue, étiages

Introduction

Le secteur d'étude englobe la partie du bassin versant d'Inaouène, qui se trouve en amont du barrage Idriss 1^{er} et couvre une superficie de 2720 Km² et un périmètre 268 Km; soit 52, 46% du bassin d'Inaouène. Ce dernier occupe une superficie totale 5184 Km², jusqu'à son intersection avec le fleuve Sebou, soit 12,92% de l'étendue du bassin versant du Sebou. Situé entre les parallèles (33.84N; 34.58N) et les méridiens (3.78W; 4.91W). Il est limité à l'Est par le bassin versant de la moyenne Moulouya, au Nord ouest par ceux du haut Ouergha et au Sud ouest par celui du haut Sebou. Cette situation lui offre une position dans une zone semi aride, par conséquent comme tous les bassins de ce type, Il est soumis à des problèmes de rareté de l'eau suite à une variabilité climatique aussi bien annuelle qu'interannuelle. Par la suite, une meilleure connaissance du fonctionnement hydrologique est une nécessité pour la mise en valeur des disponibilités des réserves d'eau et l'influence des aléas climatiques.

Le contrôle des débits liquides de l'oued Inaouène se fait d'une façon permanente au niveau de deux stations de jaugeages, l'une en amont (Bab Marzouka) et l'autre en aval (Elkouchate) (Fig.1). Malheureusement, cette dernière est suspendue depuis 2002 par l'agence du bassin hydraulique de Sebou (ABHS), à cause de la remonté du niveau d'eau du barrage Idriss 1^{er}. Le bassin versant de l'Inaouène, par contre, est contrôlé par des stations de jaugeages réparties sur les affluents principaux d'oued Inaouène. Cependant, les périodes d'observations dans ces stations de jaugeage telles Bab Chhoub sur oued Lahdar et Ben Haitem sur oued Larbae ainsi que d'autre; sont incomplètes ou très courtes (période de 10 ans).

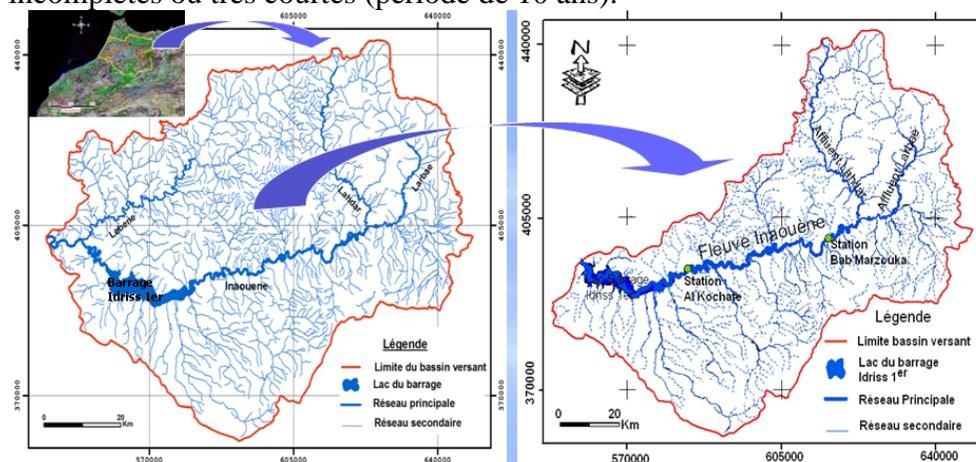


Figure 1: Situation de la zone d'étude

D'après les études hydrologiques menées dans des bassins versants Sud ouest méditerranéens, il s'est avéré que les séries des pluies annuelles suivent généralement une loi normale de Gauss (Ghachi 1986, Bouanani 2005), par contre les modules suivent des lois dissymétriques, comme la loi log-normale de Type Galton, (Ghachi 1986). Selon Meylan et Musy (1996), dans le domaine de l'hydrologie les phénomènes sont complexes, même si les processus apparaissent parfois déterministes mais ils présentent toujours un caractère aléatoire. Yavjevitch (1972) a affirmé aussi que presque tous les phénomènes hydrologiques ne peuvent être considérés comme purement déterministes. Ainsi, vue cette complexité des phénomènes rencontrés en hydrologie, l'orientation vers les analyses fréquentielles semble très adéquate pour les appréhender.

Matériels et Méthodes

L'étude hydrologique de l'oued Inaouène est basée sur les données des deux stations situées sur son cours principal (Fig.1). La prédétermination des débits extrêmes (cruet et étiage) est d'une importance notoire dans le domaine de l'hydrologie, aussi bien pour la caractérisation du régime hydrologique, que pour des fins d'évaluation des risques catastrophiques.

La méthodologie adoptée, dans la présente recherche pour la caractérisation hydrologique du fleuve Inaouène, est basée sur deux approches :

- L'approche empirique qui met en relation les débits et les paramètres caractéristiques du bassin. Ainsi, le régime hydrologique du fleuve Inaouène a été mis en évidence par l'analyse de variations annuelles, saisonnières et journalières.

Pour mettre en évidence les variations interannuelles, on a adopté la méthode des écarts (E_c) des débits moyens annuels (Q_{ma}) au débit moyen interannuel (Q_{mi}) ; en plus des coefficients et indices de la variabilité des débits, comme le coefficient d'hydraulicité (C.H), Le coefficient d'immodération (R) et le coefficient de variation (C.V).

Les variations mensuelles ont été analysées par l'utilisation des coefficients mensuels des débits en plus d'une confrontation des modules mensuels avec les précipitations.

Dans le but de dévoiler l'importance des débits journaliers, une représentation sous forme de courbes des débits classés s'est avérée essentielle, puisque la représentation sous forme d'hydrogramme donne uniquement une évolution des débits journaliers dans l'ordre chronologique d'occurrence. Une courbe des débits classés est obtenue en rangeant les débits quotidiens (en m^3/s) par ordre décroissant, et en portant en abscisse le nombre de jours de l'année (0 à 365 j 1/4) et en ordonnée les débits classés (en m^3/s), et ceci permet de donner une idée sur le régime d'écoulement.

- L'approche probabiliste, qui se base sur une étude statistique des formes extrêmes de l'écoulement (Crues et étiages), est utilisée dans le but de la détermination de leurs répartitions fréquentielles. Les séries étudiées représentent des débits instantanés maximums annuels mesurés au niveau des deux stations permanentes (Bab Marzouka et Elkouchate) du cours d'eau principal de l'Inaouène.

Ces deux stations ne sont pas forcément de même étendues et ne se rapportent pas, par conséquent, toujours à la même période. Nous avons soumis ces données à une analyse fréquentielle sous le logiciel « Hydrology Frequency Analysis » (HYFRAN) (Bobée et *al.*, 1999) conçu spécialement pour le traitement des données hydrologiques extrêmes. HYFRAN est un logiciel d'ajustement de lois statistiques comprenant un ensemble d'outils mathématiques puissants, conviviaux et flexibles permettant en particulier l'analyse statistique d'événements extrêmes et de manière plus générale l'analyse statistique de séries de données.

Résultats et discussions

Les précipitations recueillies dans les deux stations, pendant la chronique de 1971 à 2005, se caractérisent par des fluctuations entre les différentes stations ainsi qu'entre elles cycles hydrologiques. La précipitation moyenne annuelle ainsi que mensuelle sont respectivement de 634,27 mm et 52,87 mm.

Les températures moyennes, du mois le plus chaud et celui le plus froid, sont respectivement de 29,97 °C et 13,68°C. La température moyenne annuelle est de 19,57°C. La combinaison entre la température et la précipitation, par les différentes méthodes, a montré que le bassin de l'Inaouène est globalement sous un climat semi-aride. La valeur moyenne de l'évapotranspiration réelle est de 482,45 mm, signifiant ainsi l'existence d'un surplus, par référence aux précipitations annuelles (Naoura, 2012).

Les résultats de l'approche empirique basée sur la relation des débits et les paramètres climatiques et physiographiques du bassin à l'échelle annuelle, saisonnière et journalière a permis de saisir les variations spatiales et temporelles de l'écoulement superficiel.

Les irrégularités spatiotemporelles sont mises en évidence par l'évolution des débits moyens annuels, en tenant compte des variations interannuelles des débits dans les deux stations de jaugeage (Bab Marzouka et Elkouchate) (Tab.2). Le module annuel dans la station de Bab Marzouka est mois important que celui d'Elkouchate, ceci reflète la situation amont-aval des deux stations et la succession de périodes humides et de périodes sèches qui est confirmée par le test de simple cumul.

Tableau 2 : Caractéristiques d'écoulements à Bab Marzouka et Elkouchate

	Superficie (Km ²)	Débit liquide Moyen annuel (m ³ /s)	Débit moyen spécifique (l/s/Km ²)	Volume moyen Annuel (Mm ³)	Lame d'eau Moyen écoulée (mm)
Bab Marzouka	1497	7,74	5,17	244,09	163,05
Elkouchate	2678	10,99	4,10	346,58	129,42

Pour mettre en évidence les fluctuations hydroclimatiques qui ont affecté le bassin versant de l'Inaouène, la méthodologie des écarts (Ec) des débits moyens annuels (Qma) au débit moyen interannuel (Qmi) semble être adéquate, puisqu'elle est utilisée avec succès par plusieurs auteurs tels que Probst et Tardy (1987) sur les fleuves mondiaux; Etchanchu (1988) sur la Garonne; Haida (2000) sur le Sebou; Sibari (2002) sur l'Inaouène etc.... L'application de la méthode des écarts (Ec) à notre bassin versant a révélé une alternance de périodes excédentaires et déficitaires non conformes dans les deux stations, avec l'importance des périodes déficitaires par rapport à celles excédentaires (Tab.3).

Tableau.3: Déficit et excédent hydrologique relatifs aux deux stations

Stations	Périodes déficitaires	Périodes excédentaires	Valeur comparable à la moyenne
Bab Marzouka	18	17	2
Elkouchate	13	6	0

Les autres irrégularités interannuelles de l'écoulement sont calculées par des coefficients tels que le coefficient d'hydraulicité (C.H) qui montre que plus de 50% des années hydrologiques sont déficitaires au niveau de la station de Bab Marzouka, ce qui est encore plus accentué à la station Elkouchate. Les valeurs du coefficient de variation (C.V) sont presque identiques dans les deux stations (0,61 pour la station de Bab Marzouka et 0,60 pour la station d'Elkouchate). Ces valeurs, qu'on peut considérer comme légèrement élevées, contribuent à une variabilité des débits extrêmes. Le coefficient d'immodération est défini comme étant le rapport des modules extrêmes ($R = QM/Qm$). Il est de 20.39 pour la station de Bab Marzouka, mais il est faible à la station d'Elkouchate (5,83), reflétant ainsi des irrégularités moins importantes des débits annuels, liées à une variabilité à l'échelle spatiale (Naoura, 2012).

L'analyse des variations saisonnières des débits a permis de dégager, à partir des coefficients mensuels des débits, les nuances des régimes hydrologiques, à l'alimentation essentiellement pluviale, liées aux régimes climatiques (climat semi-aride) mais plus ou moins modifiées par le rôle de la lithologie. Ces nuances ont fait apparaître la forte opposition entre

l'abondance hivernale et l'indigence estivale des cours d'eau. Ainsi, le régime hydrologique de Inaouène, qui se caractérise avec un coefficient moyen mensuel élevé pendant la période pluvial (Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril), peut être classé parmi les fleuves à régime pluvial (Fig.3).

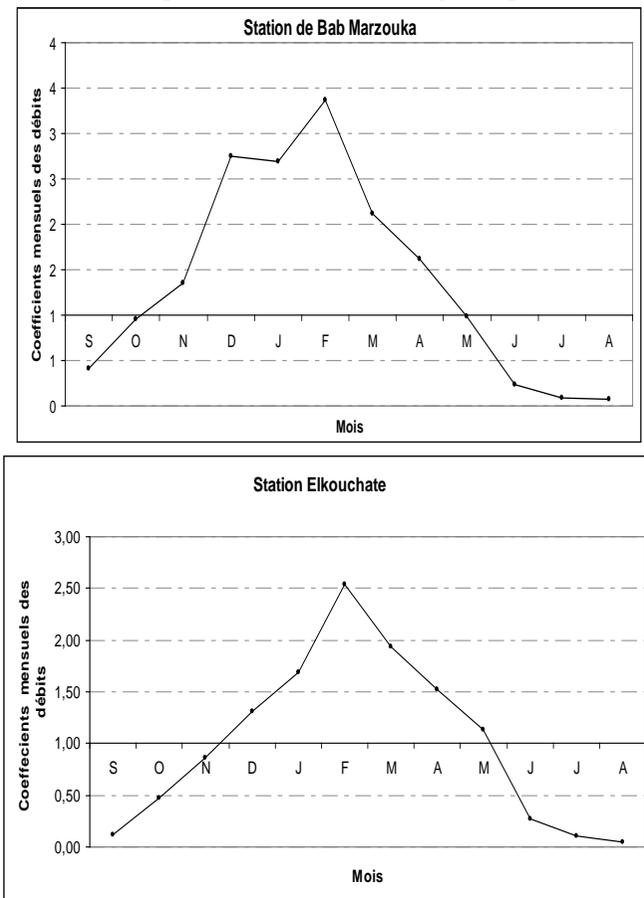


Figure 3: Variations du coefficient mensuel des débits

L'étude de la relation entre les précipitations et les lames d'eau écoulées permet de déduire globalement un synchronisme entre les deux phénomènes (Fig.4). Toutefois, un tel décalage peut être observé et qui sera lié à la variabilité des conditions climatiques et aux caractéristiques morphométriques et litho-structurales du bassin versant. Cet effet est mis en évidence par l'estimation du coefficient de ruissèlement du bassin qui a montré que ce bassin est très ruisselant au niveau de son amont que son aval. Ceci est confirmé avec le résultat de la méthodologie des courbes des débits journaliers classés.

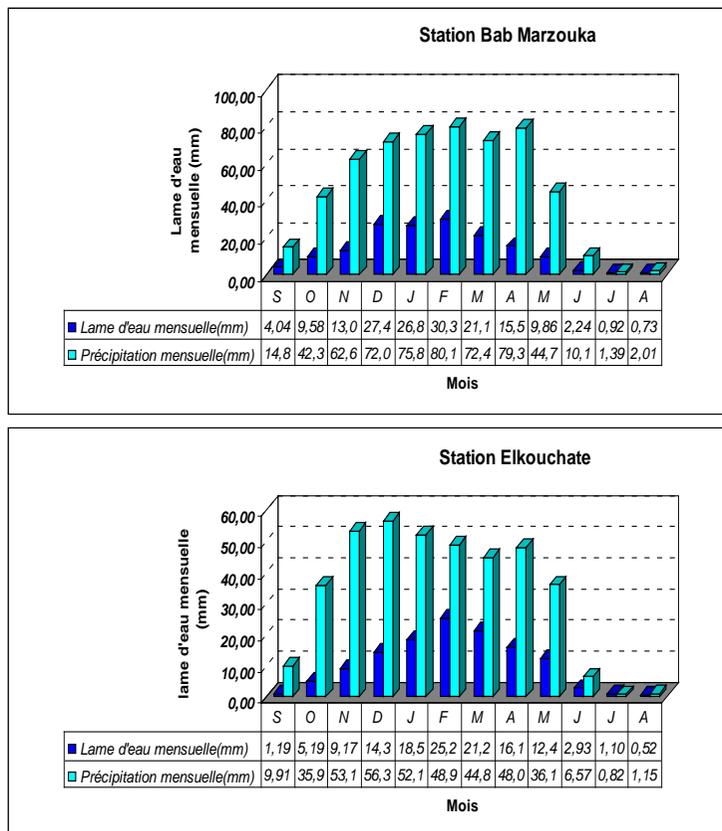


Figure 4: Lames d'eau précipitées et écoulées en amont des deux stations

L'estimation du bilan hydrologique permet de déduire le pourcentage des différentes phases d'écoulement (écoulement totale, ruissellement et infiltration). Pour la station de Bab Marzouka, les pourcentages de ces phases sont respectivement de 27.39, 12.32 et 15.06 ; pour celle d'Elkouchate ils sont inférieurs, de l'ordre respectif de 18.36, 11.26 et 7.1. Ce bilan permet aussi de conclure l'importance des volumes acheminés en amont de la station de Bab Marzouka que ceux de la station Elkouchate, par référence aux volumes précipités.

Tableau 4 : Estimation du bilan hydrologique au niveau des deux stations

Volume annuel en m ³	Précipité (V _p)	Écoulé (V _e)	Ruisselé (V _r)	Infiltré (V _i)
BabMarzouka	905,88.10 ⁶	248,12.10 ⁶	111,6.10 ⁶	136,42.10 ⁶
Elkouchate	1582,62.10 ⁶	296,56.10 ⁶	178,2.10 ⁶	112,36.10 ⁶

Par la suite, un bilan hydrologique du bassin versant est calculé à partir de la moyenne des bilans des stations principales (Fig.5).

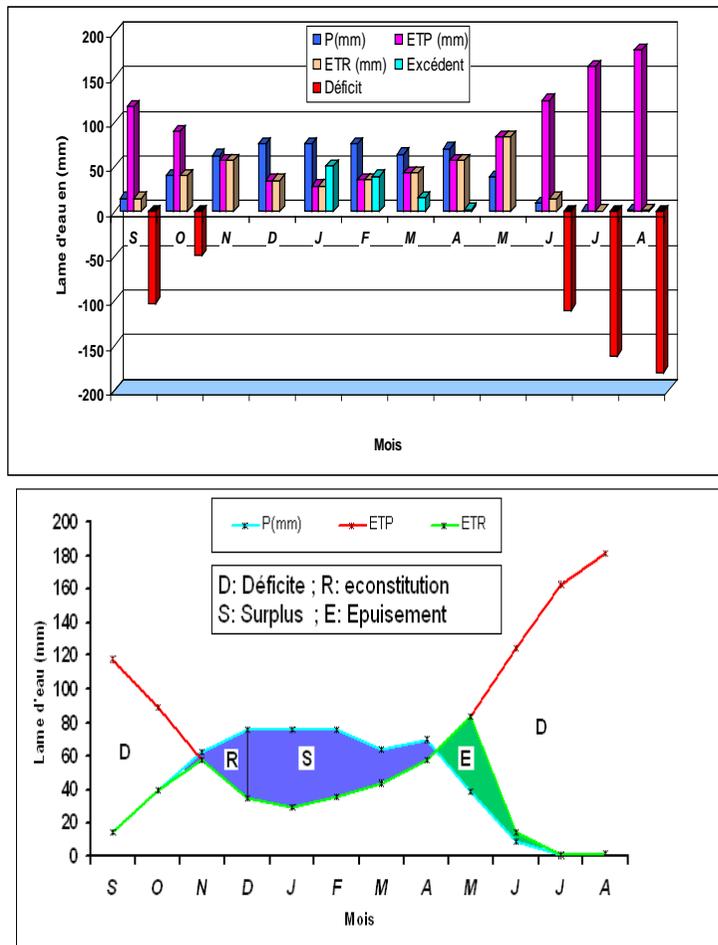


Figure 5 : Bilan hydrique du bassin versant de l’Inaouène

L’étude du régime fluvial, à l’échelle journalière, ciblée sur les débits journaliers instantanés des années considérées comme exceptionnelles (humide, moyenne et sèche), a dévoilé des fluctuations spatiales entre les deux stations ainsi que temporelles au sein de la même station. Ces variations temporelles des débits journaliers évoluent selon une fréquence propre à chaque type d’année et à chaque mois.

Dans le but de montrer l’importance des débits journaliers, une représentation sous forme de courbes des débits classés s’avère essentielle, puisque la représentation sous forme d’hydrogramme donne uniquement une évolution des débits journaliers dans l’ordre chronologique d’occurrence. Les résultats ci-dessous (Tab.5 et Tab.6), montrent que les différents débits caractéristiques au niveau de la station Elkouchate sont très importants par rapport à ceux de la station de Bab Marzouka. Cet écartement, entre les

différents termes des débits caractéristiques, traduit les irrégularités spatiales au niveau du bassin versant de l'Inaouène.

Tableau 5: Débits caractéristiques(en m³/s) pour la station de Bab Marzouka

Année	Q _{max}	DCM	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCE	Q _{min}
Humide	131,86	57	23,53	7,98	2,32	0,66	0,41	0,3	0,28
Moyenne	125,90	22,57	8,50	3,51	2,11	0,56	0,33	0,28	0,2
Sèche	37,85	1,06	0,87	0,74	0,60	0,37	0,26	0,25	0,2

Tableau 6 : Débits caractéristiques (en m³/s) pour la station Elkouchate

Année	Q max	DCM	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCE	Q _{min}
Humide	594,36	116,07	57,07	16,15	3,49	1,35	1,14	1,0	0,89
Moyenne	333,96	162,55	114,65	42,65	2,79	0,81	0,30	0,22	0,20
Sèche	137,38	24,88	11	4,05	1,43	0,20	0,00	0,00	0,00

Par ailleurs, l'analyse des courbes des débits classés (Fig.6) au niveau des deux stations donne une idée sur le régime d'écoulement. La partie gauche de la courbe (débits de crue) permet de donner une idée sur le comportement ruisselant du bassin versant du cours d'eau, c'est-à-dire la réaction plus ou moins forte à la pluviométrie. Certes, plus la pente de la courbe est importante, plus le bassin versant du cours d'eau est dit "ruisselant". Sur l'exemple ci-dessous, on constate que l'Inaouène est très ruisselant au niveau de son amont que son aval.

La partie située à droite (débits d'étiage) caractérise l'importance du soutien de la nappe à l'étiage. En effet; plus la pente est faible dans cette partie de la courbe, plus le cours d'eau aura tendance à s'approcher d'une valeur asymptotique issue du soutien d'étiage par la nappe d'accompagnement du cours d'eau. En revanche, le débit d'étiage est presque nul au niveau des deux stations, ce qui permet de conclure qu'il n'y a pas de soutien important par les nappes d'accompagnement, à cause de la présence de karst dans la partie atlasique du bassin versant ou bien c'est à cause des prélèvements le long de l'oued.

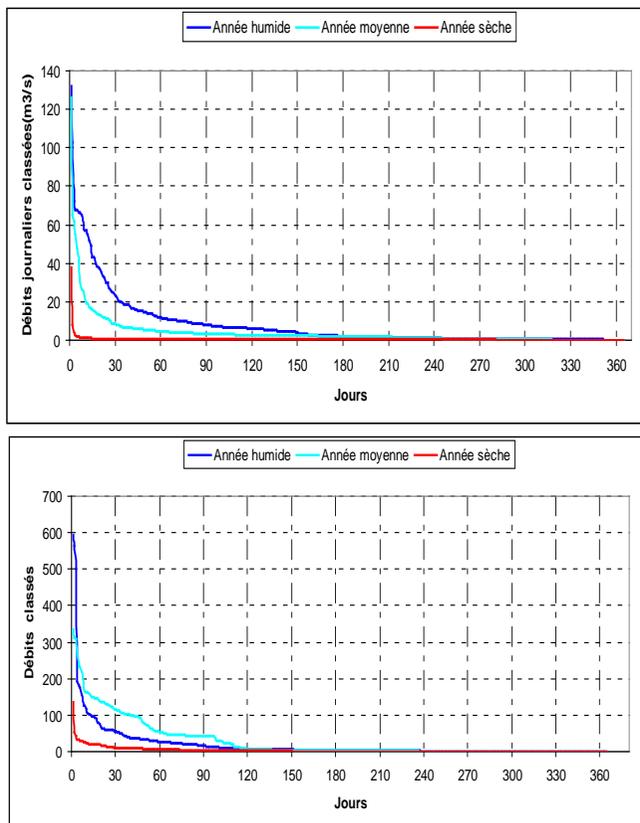


Figure 6: Courbes des débits classés des trois années caractéristiques pour les deux stations

Conclusion

L'évolution des débits moyens annuels a mis en évidence des irrégularités spatiotemporelles au niveau des deux principales stations hydrométriques de l'Inaouène. Certes, le module annuel au niveau de la station de Bab Marzouka est moins important que celui d'Elkouchate, ceci met en exergue notamment la succession de périodes humides et de périodes sèches. Par ailleurs, la méthode des écarts a permis de dégager une alternance de périodes excédentaires et déficitaires hétérogènes dans les deux stations, avec une nette dominance des périodes déficitaires.

Bref, l'analyse des variations saisonnières des débits en se basant sur les coefficients mensuels des débits a permis de conclure que le régime hydrologique du fleuve Inaouène se caractérise avec un coefficient moyen mensuel élevé pendant la période pluvial (Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril) et peut donc être classé parmi les fleuves à régime pluvial.

References:

- Bobée, B., Fortin, B., Perreault, V. and Perron, L. Hyfran 1.0 (logiciel hydrologique: Chaire en hydrologie statistique CRNSG/Hydro-Québec), INRS-Eau, Terre et Environnement, Université du Québec, Québec. 1999.
- Bouanani, A. Hydrologie, transport solide et modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie) Doctorat d'état, Université Abou Bekr Belkaid Telemcen. 250 p. 2005.
- Etchanchu, D. Géochimie des eaux du bassin de la Garonne. Transfert de matières dissoutes et particulaires vers l'océan Atlantique. Thèse 3^{ème} Cycle, Toulouse. 156 p, 1998.
- Ghachi, A. Hydrologie et utilisation de la ressource en eau: Bassin de la Seybousse. Office des publications universitaires (OPU), Alger, 508 p. 1986.
- Haida, S. Transport de matière et bilan de l'érosion mécanique et de l'altération chimique dans un bassin versant de zone semi-aride: le Sebou. Impacts des variations climatiques et des activités humaines". Thèse d'état, Univ. Ibn Tofail, Kénitra, Maroc, 2000.
- Meylan, P. and Musy, A. Hydrologie fréquentielle, version provisoire. Département de Génie rural, Institut d'Aménagement des terres et des eaux, Lausanne, Suisse. [1]. 1996.
- Naoura, J. Caractérisation hydrologique et qualitative des eaux de surface du bassin versant du Haut Inaouène. Thèse doc. Fac. Sc. Tech. Fès, 281 p, 2012.
- Probst, J.L. and Tardy, Y. Long range streamflow and world continental runoff fluctuations since the beginning of this century. J. of Hydrology, n° 94: 289-311, 1987.
- Sibari, H. Etude hydrologique et hydrochimique des crues du bassin versant de l'Inaouène (Maroc) ; rôle des crues dans les processus d'érosion et de transport des matières solides et dissoutes. Thèse doc. Fac. Sc. Kénitra, 164 p, 2002.
- Yevjevich, V. Stochastic processes in hydrology, Water Resources Publications, Colorado. 1972.