

Résumé

Les régimes hydrologiques des débits d'étiages sont essentiels pour un développement efficace des outils de la gestion des ressources en eau, en particulier dans les régions sollicitées par la combinaison d'un climat sec et une demande excessive de l'eau, tels que les bassins de la Méditerranée. Plusieurs d'efforts ont été déployés par des chercheurs scientifiques vers la prévision des caractéristiques des débits d'étiages dans des bassins non jaugés.

L'objectif principal recherché est de trouver les modèles et les outils qui nous aident à prévoir les étiages sous climat méditerranéen et semi-aride, pour cela nous avons tenté de mettre (en vu) les principaux facteurs qui conditionnent les débits d'étiages dans la région du Nord Ouest de l'Algérie.

Les objectifs de notre étude sont :

- Présentation de la région d'étude et les différentes méthodes utilisées pour l'extraction des caractéristiques morpho-métriques et hydrographiques des bassins à l'aide des modèles numériques de terrain.
- D'examiner les conditions climatiques et hydrologiques essentielles par l'étude du comportement des différents paramètres qui commandent le changement du régime des écoulements extrêmes avant d'aborder l'étude proprement dite des étiages à l'aide de méthodes directes et indirectes mises à notre disposition par nos prédécesseurs.
- Nous mettrons l'accent sur la description des formations superficielles et leurs organisations spatiales. Nos efforts porteront également sur les propriétés des sols et des sous sols (facteurs géologiques et hydrogéologiques) pour cerner les problèmes liés à l'infiltration et à la recharge des aquifères.
- L'application d'un procédé de décomposition d'un hydrogramme pour séparer le débit de base de débit total, de quantifier les valeurs d'IEB pour chaque station de la base de données examinées.
- la délimitation des régions Homogène s'effectue en utilisant l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'analyse k-means.
- L'évaluation des relations régionales indépendantes et globales entre l'indice de l'IEB et les caractéristiques climatiques, morphométriques et géologiques du bassin versant.

* Thèse de Doctorat Sciences.

** Directeur de thèse : MEDDI Mohamed, Professeur – ENSH BLIDA.

Introduction

En Algérie septentrionale les conditions, géomorphologiques, lithologiques, hydroclimatologiques et socio-économiques constituent les principaux paramètres qui conditionnent le phénomène des étiages.

- La nature lithologique des formations à une prédominance des sols à caractère sableux dans le lit majeur des oueds, dès que l'on s'en éloigne, le sol présente une texture fine de type argileuse.
- Le climat de type méditerranéen, caractérisé par une nette opposition entre une saison sèche et humide faisant succéder une période de précipitation intense et abondante à une longue période de chaleur et de sécheresse absolue.
- Le couvert végétal, pratiquement inexistant sur les zones marneuses, généralement peu dense sur les reliefs (beaucoup de peuplements dégradés ne jouent d'ailleurs que très imparfaitement leurs rôles protecteurs) ; ainsi que les facteurs socio-économiques qui contribuent largement à l'accélération du processus de colonisation des sols favorisant l'accélération des écoulements.
- La faiblesse de la pente de l'oued Cheliff entre oued Touil jusqu'au bas Cheliff est la zone où se jettent tous les affluents ;
- Une cause annexe serait le changement du régime pluviométrique depuis les années 70, les conséquences sur le régime hydrologique des cours d'eaux sont des lors inévitables.
- Accroissement de l'irrégularité saisonnière et interannuelle des écoulements dans la majeure partie de l'année

Tous ces phénomènes seront détaillés dans notre thèse avant d'aborder l'étude proprement dite des étiages à l'aide de méthodes directes et indirectes par :

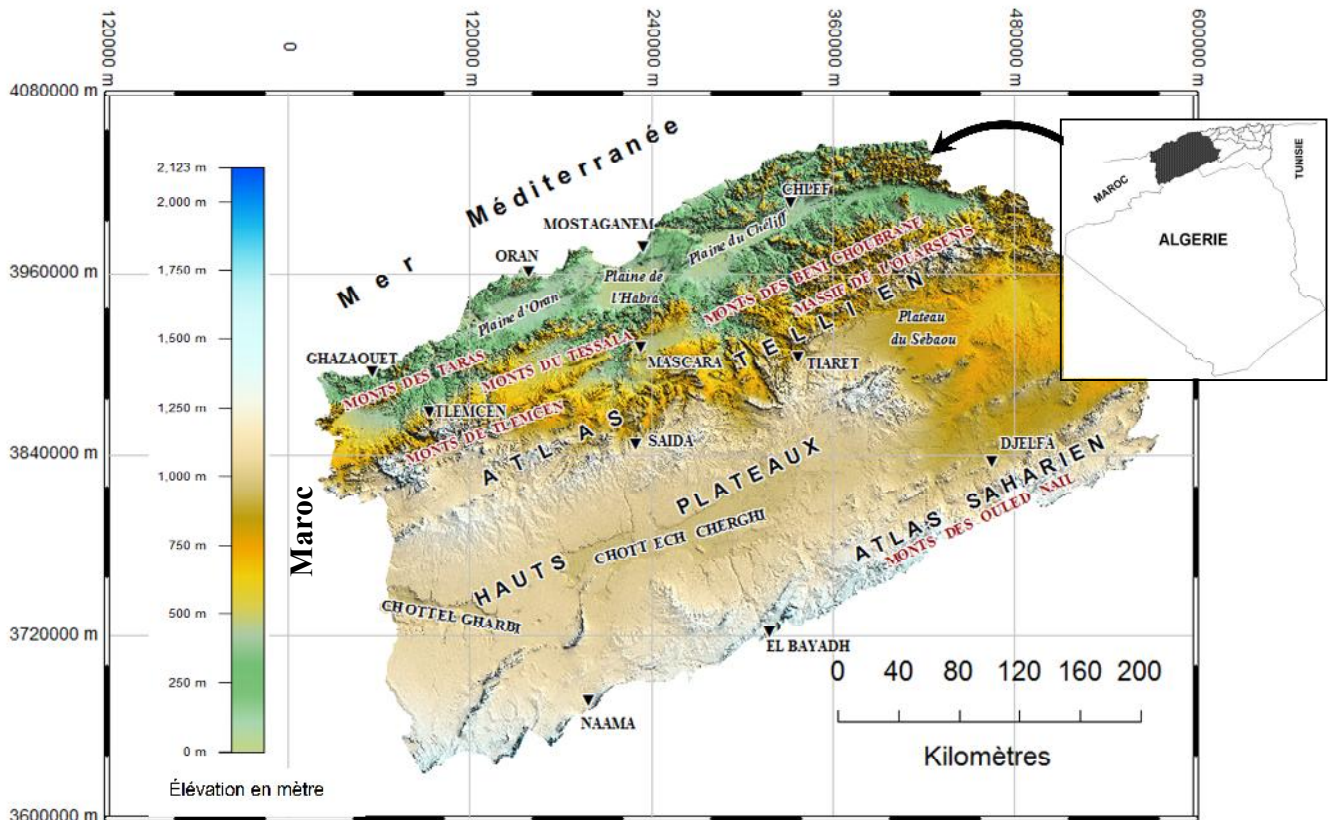
- L'application d'un procédé de décomposition d'un hydrogramme pour séparer le débit de base de débit total, de quantifier les valeurs des IEB pour chaque station de la base de données examinées.
- la délimitation des régions Homogène s'effectue en utilisant l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'analyse k-means.
- L'évaluation des relations régionales indépendantes et globales entre l'indice de l'IEB et les caractéristiques climatiques, morphométriques et géologiques du bassin versant.

I. Présentation générale de la zone d'étude

I.1. Divisions naturelles :

L'aire d'étude occupe une superficie totale de 133 500 Km², il est situé entre 32°65' et 36°65' de latitude Nord et -2°30' et 3°92' de longitude Est. Il couvre deux grands bassins du Nord-Ouest de l'Algérie, le bassin du Cheliff et celui de l'Oranie. Il affecte en gros la forme d'un fer de hache d'axe Nord-Sud. (Figure 01).

Cette région correspond sensiblement au centre de ce que les géographes appellent le Maghreb et les divisions classiques de ce pays y sont particulièrement nettes. Cette région s'étend de la mer méditerranée au Nord et occupe successivement et parallèlement du Nord au Sud la dépression Inter tellienne, la limite Sud coïncide avec les crêtes de l'atlas Saharien.



1.2. Caractéristiques morphologiques des sous bassins

Les caractéristiques morphologiques d'une région ou plus précisément d'un bassin versant, unité fondamentale dans une étude hydrologique, jouent un rôle primordial dans la détermination des différents comportements du régime hydrologique.

Ainsi deux bassins voisins avec les mêmes conditions climatiques, géologiques et des caractéristiques morphologiques différentes, réagissent différemment du point de vue régime d'écoulement.

L'outil informatique dont l'utilisation est plus fréquente de nos jours est un moyen très puissant en ce qui concerne la vitesse d'exécution et la précision des calculs. La délimitation des sous bassins (lignes de partage) ainsi que l'hydrographie sont tirés, à partir d'un modèle numérique de terrain, à l'aide d'un outil de modélisation des bassins versants (WMS, Watershed Modeling System) (figure 2). Cet outil permet aussi de calculer les caractéristiques morphométriques des bassins.

Tableau 1: détails des bassins versants de la région étudiée: numéro de carte de référence et nom de la station, surface (km²), l'indice de compacité Graveluis (K_G), l'altitude moyenne du bassin versant topographique (H_{moy}), la pente moyenne du bassin versant topographique (I), densité de drainage (Dd), les précipitations annuelles moyennes (P_{moy}), écoulement annuel (Q_{moy}), indice d'écoulement de base (BFI), indice d'aridité (IR), pourcentage du couvert végétal (PCV), classes hydrogéologiques (CHG).

Nbr Station	code Station	nom Station	oued	surface (Km ²)	K_G	Hmoy (m)	I moy (%)	Dd	P moy (mm)	Q moy (m ³ /s)	IEB (%)	IR	PCV (%)	CHG
1	010711	FERME FARHAT	SOUSSELEM	483.64	1.94	1139.4	5	0.45	302.9	0.0667	21.2	3.87	15	1
2	011210	SIDI BOUABDELAH	TOUIL	282.32	2.11	792.9	1	0.48	325.5	1.0615	45.6	1.83	12	9
3	011501	TAMEZGHIDA	HARBIL	238.84	1.59	817.6	15	0.35	465.6	2.5558	42.2	3.05	45	1
4	011715	EL ABBABSA	HARREZA	109.36	1.73	511.4	9	0.38	433.6	0.1761	28.8	3.19	20	5
5	011801	ARIB EBDA	EBDA	289.84	1.79	753	26	0.39	570.8	2.5649	53.9	3.87	72	1
6	011905	BIR OUELD TAHAR	ZEDDINE	582.16	2.07	697.9	13	0.39	423.9	0.5228	33.5	2.88	25	5
7	012004	TIKAZAL	TIKAZAL	124.16	1.78	474.6	12	0.4	429	0.6372	16.5	2.88	35	5
8	012201	OULED FARES	OUAHRANE	259.12	1.83	361	10	0.37	396.3	0.146	29.9	2.92	18	5
9	012501	OUELD LILLI	RIOU	333.52	1.78	782.1	11	0.41	365.7	0.479	46.6	2.84	35	1
10	012601	AMMI MOUSSA	RIOU	1923.2	1.91	673.6	12	0.39	375.8	1.998	27.5	2.88	30	1
11	012701	DJEDIOUIA RN4	DJEDIOUIA	835.36	2.04	468.2	8	0.39	369.1	0.634	30.7	2.34	10	1
12	013001	KEF MAHBOULA	TAHT	677.08	1.76	862.1	8	0.41	336.6	0.3496	34.3	2.96	22	1
13	013301	TAKHMART	EL ABD	1546.6	1.85	1006.2	4	0.42	256.9	0.6013	43.0	2.02	10	1
14	013302	AIN AMARA	EL ABD	2526.1	2.04	887.3	5	0.42	294.6	1.1257	47.5	1.96	10	3
15	020114	KRAMIS	KRAMIS	375.28	1.73	378.8	11	0.37	441	0.7765	41.6	3.2	20	1
16	020207	SIDI AKACHA	ALLALAH	297.8	1.78	321.6	11	0.39	555.2	0.4583	15.7	4.29	23	5
17	040101	GHAZAOUET	EL MARSA	264.68	1.9	409.6	12	0.44	391.45	0.111	35.3	3.25	40	3
18	040220	TURGO NORD	EL MELAH	548.08	1.73	366	7	0.35	462.99	0.5681	58.6	3.82	25	5
19	110301	SIDI BEL ABBES	EL MEBTOUH	2987.7	2.44	920.6	4	0.43	323.20	0.9561	67.0	2.39	38	9
20	111101	SAIDA PARCHAL	SAIDA	95.08	1.79	1074.2	4	0.45	266.40	0.1125	85.7	1.96	15	3
21	111129	SIDI BOUBEKEUR	SAIDA	621.76	1.9	854.1	8	0.43	329.58	0.4201	36.0	2.46	28	3
22	111208	SIDI MIMOUN	SI MIMOUN	762.44	1.72	1089.8	5	0.43	302.60	0.3365	67.7	2.5	35	3
23	160402	BENI BEHDEL	TAFNA	509.44	2.07	1118.3	10	0.42	432.57	0.9092	68.7	2.9	27	3
24	160614	SIDI AISSA	ISSER	815.56	1.83	977.1	13	0.41	342.76	0.3941	48.4	2.45	38	1

Ces caractéristiques entraîneraient d'importantes différences entre les bassins hydrographiques relevant de la zone étudiée. Tableau 1

La couverture végétale est éparse et a une faible densité à travers la zone d'étude. Elle a été largement dégradée et éliminée par les incendies dans les montagnes et par les pratiques agricoles extensives et continue.

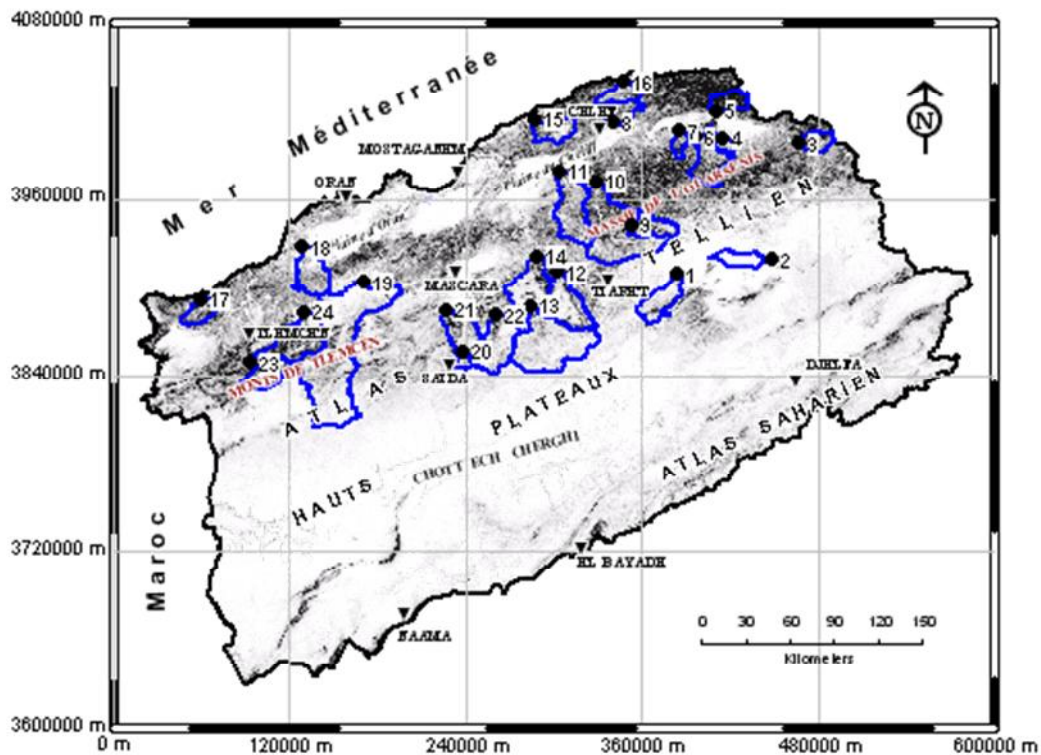


Fig. 02 : Sous bassins versants contrôlés par les stations hydrométriques retenues dans l'étude.

V Estimation et variation des débits de base

V.1. Description de la méthode UKIH

Dans cette étude, l'hydrogramme de séparation Modifiée est obtenu grâce à l'utilisation de la méthode proposée par l'Institut d'hydrologie du Royaume-Uni (UKIH), maintenant appelé : the Center for Ecology and Hydrology in Wallingford (Institute of Hydrology, 1980). Cette technique de filtrage empirique a été proposée comme la méthode la plus fiable pour la séparation d'hydrogramme dans un domaine du contexte similaire des paramètres climatiques et géologiques de la zone (Longobardi et Villani, 2008). La méthode UKIH, est basée sur l'identification et l'interpolation des points de changement pour les séries des débits introduits. La méthode est appliquée à des données moyennes journalières. Les points de changement indiquent les jours et les valeurs correspondantes du débit total où on suppose que l'écoulement observé est entièrement un débit de base. Pour calculer les points de changement, les données de débits sont divisées en une séquence de cinq-jours et les segments des valeurs des débits minimum sont calculées à l'intérieur de chaque segment, étant x le jour d'apparition de la valeur minimale et y correspond à la valeur du débit. De cette façon, un vecteur de couples (x_i, y_i) est indiqué comme le vecteur des points de changement. Chaque paire de vecteurs est ensuite comparée à des minimums pour les segments précédents et suivants et les points de changement sont définis lorsque la condition suivante est satisfaite :

$$0.9 \cdot y_i < \min(y_{i-1}, y_{i+1})$$

Où : y_i est la valeur minimale de débit moyen journalier dans un segment de 5 jours, qui se produisent le jour 1, et la valeur 0,9 est la valeur de facteur d'inflexion. La méthode a été modifiée par Piggott et al. (2005), pour résoudre les deux aspects de la procédure initiale qui conduisent à des résultats moins optimaux : le calcul des valeurs de débit de base qui dépassent les valeurs de débit correspondantes et la dépendance des valeurs calculées sur l'origine de la

segmentation de cinq jours des données d'entrée de débit. La mise en œuvre de la méthode modifiée UKIH résoudre cet aspect en limitant les valeurs calculées de débit de base : si la valeur de débit de base déterminée par interpolation est supérieure au débit observé correspondant, la valeur observée est utilisé à la place de la valeur interpolée.

La figure 8 montre le résultat de l'application aux données de débits moyens journaliers observés durant deux mois de l'année 1982 pour la station PIERE DE CHAT (N=5). Les lignes en tirets indiquent que l'ordre des segments de cinq jours des données et les grands points noirs pleins indiquent le minimum pour chaque segment. Un point des minimums qui se produisent au cours de la période satisfaisant l'équation « $f.y_i < \min (y_{i-1} ; y_{i+1})$ » est défini comme point de changement et représenté par un cercle ouvert. L'interpolation linéaire qui relie les points de changement indique la variation du débit base.

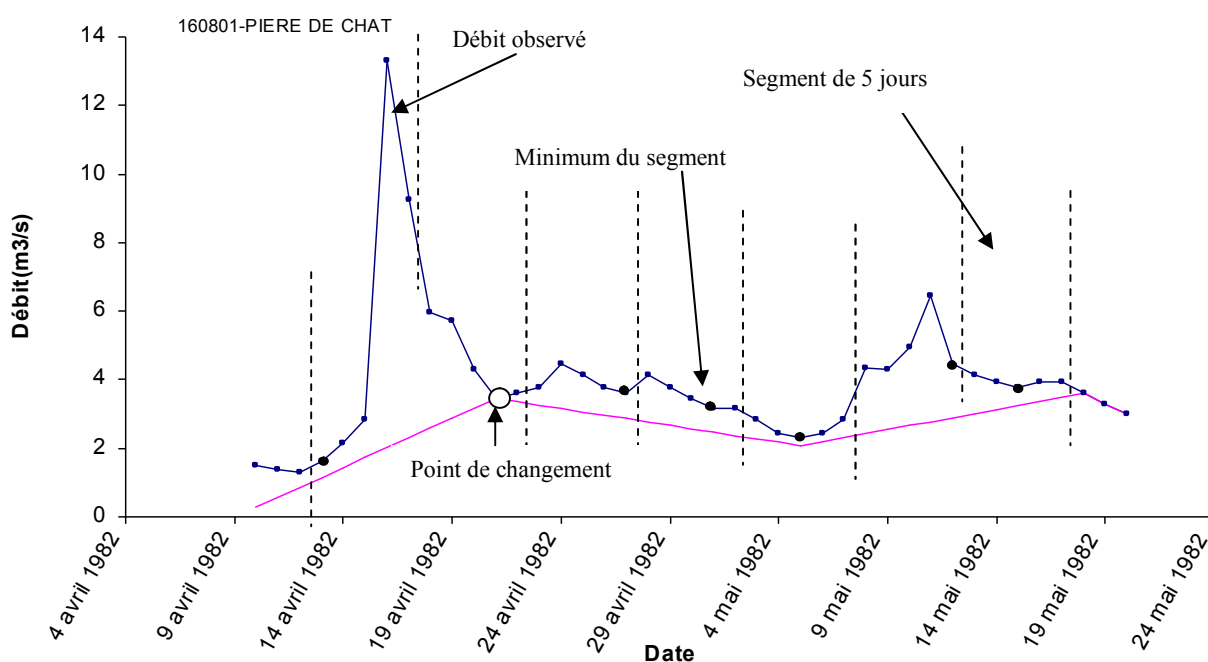


Figure 8 : séparation de l'IEB des mois d'Avril et de Mai 1982 dans la station PIERE DE CHAT

La technique UKIH a été appliquée, pour chaque station, à la fois sur l'ensemble des séries chronologiques des débits, afin de calculer les IEB pour des périodes et à l'échelle annuelle, pour déduire une série des IEB annuels et les statistiques correspondantes. Les données sont reportées dans le tableau 5.

Une comparaison entre l'IEB de la période et la moyenne de l'IEB, la moyenne de la série de l'IEB annuel, met en évidence que les différences ne sont pas systématiques, mais dépendent de la variance de la série de l'IEB annuel, avec les plus grandes différences liées à la plus grande valeur de coefficient de variation de l'IEB. Dans ce qui suit, l'IEB moyen a été considéré comme l'indice cible.

Tableau 2 :: Comparaison entre les statistiques des séries chronologiques des IEB annuelles et les estimations de toute la période des IEB.

code Station	IEB de la période	IEB moyen annuel	Ecart type	Coefficient de variation
10711	0.211	0.431	0.280	1.321
11210	0.456	0.482	0.218	0.478
11501	0.421	0.412	0.115	0.271
11715	0.287	0.424	0.207	0.718
11801	0.539	0.554	0.105	0.194
11905	0.335	0.378	0.116	0.346
12004	0.165	0.268	0.189	1.143
12201	0.299	0.233	0.174	0.580
12501	0.466	0.500	0.124	0.266
12601	0.275	0.328	0.161	0.586
12701	0.306	0.307	0.132	0.430
13001	0.343	0.315	0.394	1.148
13301	0.430	0.485	0.221	0.518
13302	0.475	0.436	0.208	0.438
20114	0.416	0.513	0.467	1.120
20207	0.157	0.177	0.121	0.766
40101	0.352	0.392	0.185	0.526
40220	0.586	0.573	0.197	0.336
110301	0.670	0.655	0.199	0.297
111101	0.857	0.860	0.039	0.044
111129	0.360	0.324	0.157	0.435
111208	0.677	0.672	0.243	0.358
160402	0.687	0.691	0.137	0.198
160614	0.484	0.427	0.199	0.412

VI. Régionalisation de L'indice d'écoulement de base

VI.1. délimitation des régions homogènes des étiages : Groupement des bassins versants

Le débit de base est conceptuellement liée à de nombreux paramètres climatiques, physiographiques et géologiques, une variabilité conséquente peut être observée dans le comportement des étiages. Pour cette raison, avant toute tentative de l'identification d'une procédure de prédire l'indice d'écoulement de basse dans les bassins non jaugés, la délimitation des zones homogènes était nécessaire, avec un comportement uniforme des écoulements d'étiages. Dans la plupart des cas, le choix de la technique de groupement en régions homogènes est loin d'être évidente, et elle peut aussi affecter la qualité de l'ajustement des modèles de régression régionaux correspondants, validé pour chaque région particulière. Pour cette raison, à la fois l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'analyse des nuées dynamiques (k-means) ont été appliquées et l'établissement de la comparaison entre la régression des indépendants correspondante.

Les caractéristiques des bassins versants doivent être sélectionnées pour l'application des techniques de regroupement. Les éléments suivants ont été pris en considération dans la présente étude, pour représenter la topographie, l'utilisation des terres, la géologie et le climat.

VI.2. Application de l'analyse en composantes principales (ACP) et des nuées dynamiques (K-means)

L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique statistique largement utilisée pour un grand nombre de ressources en eau liées aux questions analysées, et parmi ceux-ci, pour aussi des estimations des indices d'écoulement de base (Eslamian et al., 2010). Il réduit le nombre de variables à celles qui sont les plus significatives parmi un ensemble de variables et est utilisé afin de trouver un lien entre les stations et de les regrouper en régions homogènes en termes de faibles débits. L'un des objectifs de l'ACP est d'obtenir des informations utiles à partir d'une matrice de données, et de fournir une représentation graphique des données pour faciliter l'analyse.

La procédure mathématique de l'analyse en composantes principales est en fait une méthode statistique multivariées pour traiter les données. Dans le cadre de ce travail, une matrice de corrélation a été utilisée et les composantes ont été déterminées avec et sans "Varimax" type de rotation des axes orthogonaux. La reconstruction du regroupement sous-bassins, a permis la définition des axes factoriels (vecteurs), c'est des facteurs responsables liés à la distribution spatiale et donc de mettre en évidence les affinités et les différences entre les groupes et en déduire les paramètres qui caractérisent au mieux chaque groupe. Géologiques, hydrogéologiques et climatiques (principalement les précipitations et l'évapotranspiration), la densité de drainage, la pente du bassin versant et la couverture végétale pourraient affecter la valeur de l'IEB, et pour cette raison, ils sont pris en considération dans l'analyse de l'ACP, qui entraîne, la réalisation sur les paramètres physiographiques mentionnés, les variables climatiques et géologiques sont présentées dans les Tableaux 7 et 8.

Tableau 3: Pourcentage de la variance après rotation Varimax.

Vecteurs	F1	F2	F3
Variance (%)	32.42	29.83	22.63
Cumulative (%)	32.42	62.25	84.88

Tableau 4: Contribution des variables (%) après rotation Varimax.

Vecteurs	F1	F2	F3
Densité de Drainage Dd	0.22	49.01	5.90
Pente moyenne Ig	38.15	4.31	13.76
Indice d'aridité IR	4.92	44.99	0.63
pourcentage du couvert Végétal PCV	55.80	1.17	0.06
classification Hydrogéologique CHG	0.89	0.49	79.62

Selon le critère de variance, les contributions cumulatives de chaque variable aux composantes orthogonales sont présentées pour les trois premiers d'entre eux: les trois premiers axes expriment bien 84.88% de la variance totale pour la zone étudiée (Tableau 4), et l'influence des paramètres géologiques sur le débit de base a donné lieu comme dominante. Le cercle F1-F2 (62,33% de l'inertie cumulée) est illustré dans la Fig. 4 partie supérieure: l'axe F1 est déterminé par les conditions de la topographie et le sol, tandis que l'axe F2 est déterminé par la densité du drainage et de l'indice d'aridité.

Le cercle F1-F3 (54,89% de l'inertie cumulée) est illustré dans la Fig. 9 partie inférieure: axe F1 a la même signification et l'axe F3 est fortement déterminé par la perméabilité (tableau au 5). Le cercle F1-F3 peut aussi distinguer cinq groupes de bassins versants, avec des caractéristiques physiographiques et climatiques homogènes. Les limites de ces cinq domaines sont illustrés dans la Fig. 9.

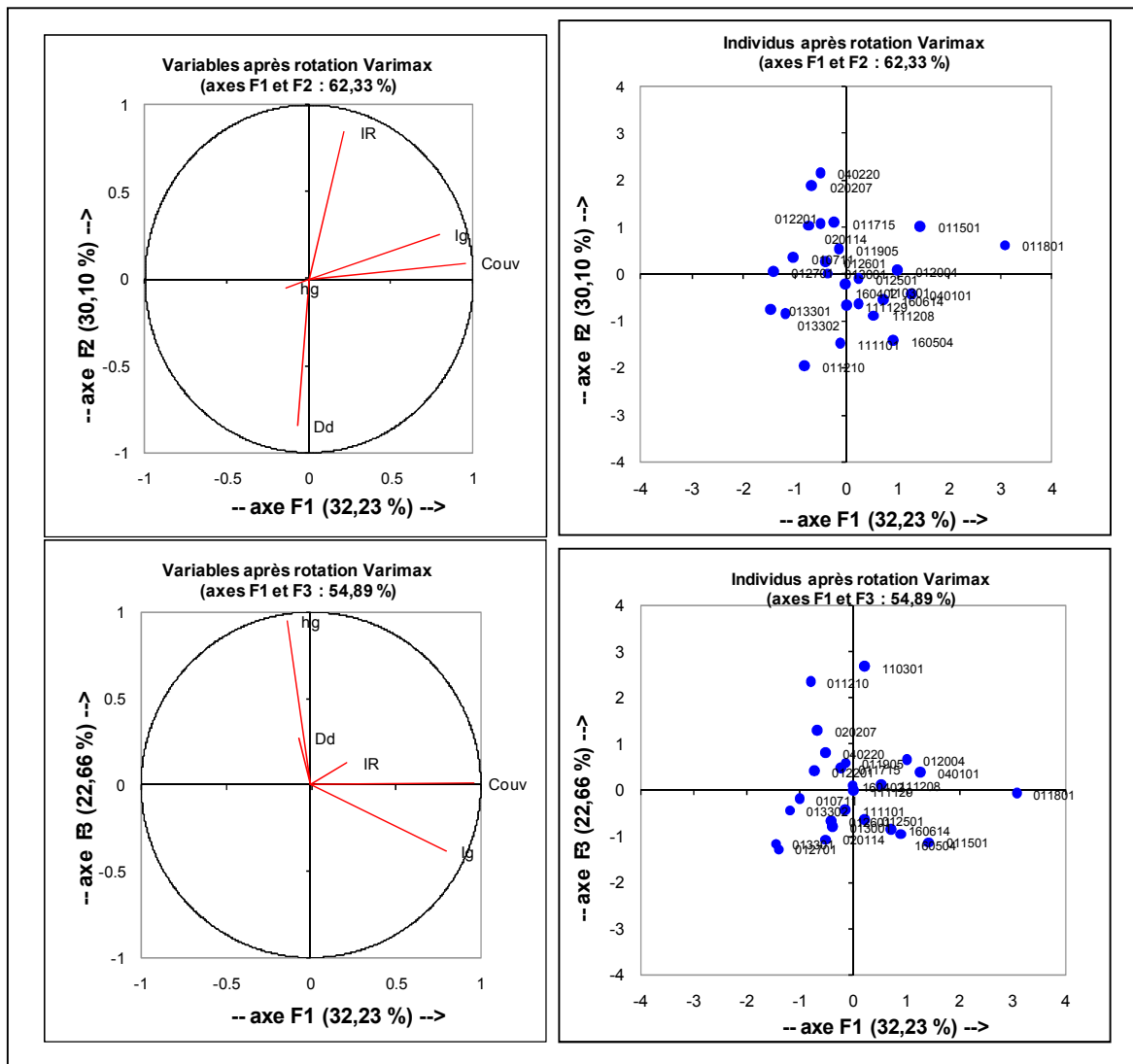


Figure 8: Résultats de l'ACP après rotation Varimax

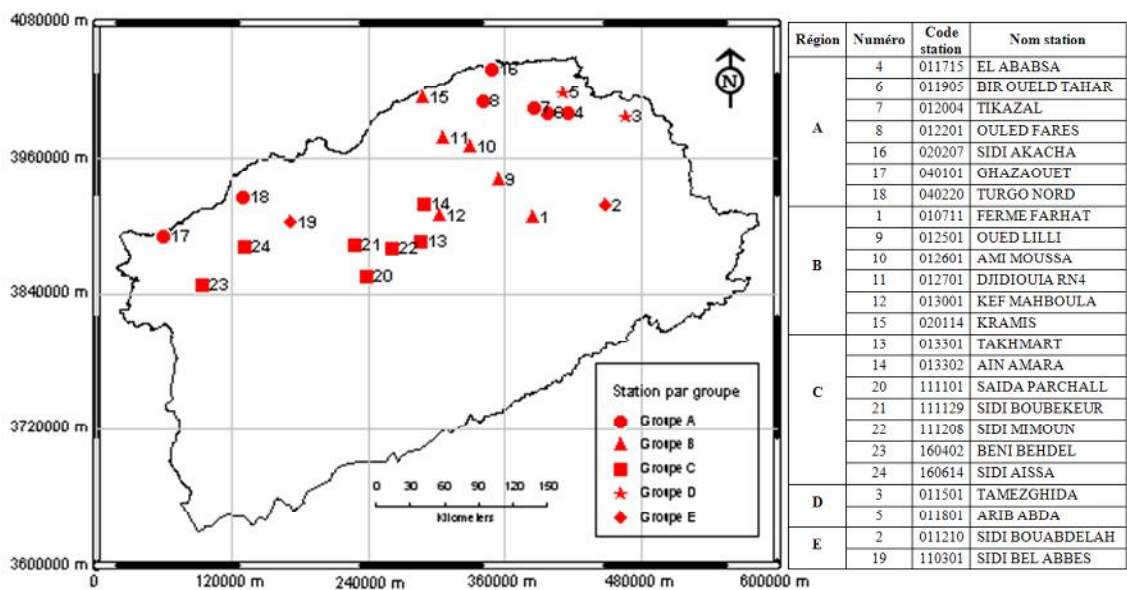


Figure 9: regroupement des Bassins versants par l'ACP dans la zone étudiée.

Les résultats indiqués au tableau 8 montrent que tous les facteurs physiographiques et climatiques mentionnés ont le potentiel d'affecter les débits d'étiage, mais il est clair que, dans la zone étudiée, les paramètres géologiques et hydrogéologiques ont la plus grande influence sur les conditions de débits d'étiage: des paramètres régionaux hydrogéologiques peut complètement modifier les régimes hydrologiques pendant les périodes de sécheresse en effet, en particulier pour les bassins caractérisés par des sources abondantes de zones de calcite (karst) qui pourraient augmenter plusieurs fois la composante débit de base de l'écoulement total (Dzubak et Dub, 1961).

Comme mentionné précédemment, afin d'éviter l'étude quantitative d'être affectés par le choix d'une technique de regroupement particulière, une méthode alternative de délimitation des groupes, l'analyse de groupement des k-means, a été appliquée. L'importance relative du nombre des groupes à reproduire dans les résultats des analyses, auraient pu être explorées, mais, à titre de comparaison, il a été fixé à 5, tels que résultat de l'analyse ACP. Pour la même raison, la même variable descriptive utilisée dans l'analyse ACP, a été utilisée pour la délimitation des groupes. Les résultats de regroupement de classes sont représentés dans le tableau 9.

Tableau 5 : Résultats de groupement K-means de stations en classes.

Région	A	B	C	D	E
Objets	6	7	7	3	1
Somme des poids	6	7	7	3	1
Variance intra-classe	26.10	46.83	15.21	5.07	0.00
Distance minimale au barycentre	2.04	2.40	2.88	0.97	0.00
Distance moyenne au barycentre	4.27	5.49	3.58	1.72	0.00
Distance maximale au barycentre	7.15	10.38	4.07	2.51	0.00

Même si le nombre de groupes est le même, il n'y a pas une forte correspondance apparente entre les méthodes de groupement: les groupes ont différentes consistance numérique et une station particulière appartient aux différentes régions pour différentes méthodes. Les deux méthodes indiquent, par ailleurs, le fait que les cinq régions, la consistance numérique de deux d'entre eux ne suffit pas d'appliquer le modèle de prévision dans les bassins non jaugés. Aucune de ces techniques reproduit des régions géographiquement contiguës: ce n'est pas une caractéristique inattendue puisque les conditions de débit d'étiage ne sont pas principalement reliées à des variables, qui ont une grande cohérence spatiale, tels que les facteurs climatiques qui, de l'autre côté, influent fortement les conditions des inondations, Dans ce cas, la contiguïté géographique est beaucoup plus susceptible d'être reproduit. La technique de l'ACP est cependant en mesure d'indiquer l'ampleur de la dépendance de l'IEB sur les variables de regroupement: comme mentionné précédemment, les paramètres géologiques sont les conditions les plus importantes de la zone étudiée. Une Autre comparaison des techniques de regroupement est donnée, sur une base quantitative, à travers la calibration et la validation des modèles de régression linéaire multiples des indépendants pour chaque région.

VI.3. régionalisation des IEB : modèles de régression linéaires multiple

VI.3.1. Modèles linéaires de régression multiple

La grande extension de la zone d'étude a nécessité la délimitation des régions homogènes des débits d'étiage. L'efficacité de l'approche de regroupement et de la technique de groupement en particulier est explorée à travers la comparaison des modèles de régression régionaux des indépendants, calibré sur chaque région pour chaque méthode, et un modèle global de régression, calibré sur toute la région. Pour les deux analyses celle de l'ACP et des nuées dynamiques, les régions D et E n'ont pas la cohérence numérique pour la validation d'un modèle empirique, elles sont donc abandonnées de cette l'analyse. Une étude plus approfondie serait nécessaire pour expliquer les grandes différences exposées à partir des bassins versants relevant de ces groupes, le régime hydrologique qui pourrait peut-être fortement affecté par des facteurs anthropiques, qui

se trouvent à l'extérieur de la classe des variables indépendantes adoptée dans la présente étude. Les équations des modèles sont présentées aux tableaux 10 et 11. Les cinq variables indépendantes considérées apparaissent dans chacune des équations du modèle, sauf pour la région B groupement par l'ACP et la région A groupement par les nuées dynamiques, où le paramètre CHG n'est pas inclus car les bassins versants appartenant à ces régions se caractérisent tous par la même classe hydrogéologique. La validation des modèles de régression linéaire multiple est commentée dans le paragraphe suivant.

Table 6: modèles régionaux et modèle global de régression linéaires multiple et la qualité relative de l'ajustement (de regroupement ACP).

Region	equation du model	R ²	R ² _{cor}	d
A	IEB = -2.26 - 8.15*log Dd - 0.23*log Ig - 0.60*log IR + 0.81*log PCV -2.05* log CHG	0.92	0.91	1.42
B	IEB = -0.054+ 0.757*log Dd + 0.743*log Ig -0.320*log IR + 0.097*log PCV	0.84	0.80	2.64
C	IEB = 3.916+ 11.190*log Dd + 1.027*log Ig + 2.233*log IR -0.708*log PCV -0.263* log CHG	0.82	0.79	2.63
model global	IEB = 0.494 + 0.314*log Dd + 0.093*log Ig -0.862*log IR + 0.238*log PCV + 0.049* log CHG	0.32	0.18	1.83

Table 7: modèles régionaux et modèle global de régression linéaires multiple et la qualité relative de l'ajustement (de groupement k-means).

Region	equation du model	R ²	R ² _{cor}	d
A	IEB = 1.142 + 3.479*log Dd + 0.914*log Ig -1.158*log IR + 0.205*log PCV	0.99	0.99	2.97
B	IEB = -1.116 + 1.049*log Dd -0.452*log Ig -1.765*log IR + 2.107*log PCV -0.186* log CHG	0.70	0.64	2.76
C	IEB = -2.142 - 4.964*log Dd -0.520*log Ig + 0.282*log IR + 0.723*log PCV -0.286* log CHG	0.97	0.96	2.42
model global	IEB = 0.494 + 0.314*log Dd + 0.093*log Ig -0.862*log IR + 0.238*log PCV + 0.049* log CHG	0.32	0.18	1.83

VI.3.2. validation des Modèles de régression

Les valeurs moyennes des IEB observés, les estimations des modèles globaux et régionaux sont renseignées dans le tableau 12. Les données illustrées montrent que l'erreur moyenne associée au modèle global (validé à travers la zone d'étude) est d'environ 35%, tandis que les deux techniques de groupement peuvent réduire l'erreur moyenne à environ 10%.

Les deux modèles globaux et régionaux (indépendamment de la technique de groupement) prédisent une sous-estimation importante (19 à 46%) pour certains bassins versants: ceux-ci pourraient être un indicateur des effets provoqués par l'homme.

Les Principales données statistiques, sont énumérés dans les tableaux 10 et 11 pour chaque modèle validé.

Table 9: comparaison entre l'IEB observé et estimé

Code station	IEB moy Observé	IEB estimé modèle Global	IEB estimé modèle régionale (groupement ACP)	IEB estimé modèle régionale (groupement K-means)
10711	0.212	0.230	0.199	0.209
11210	0.456	0.539	0.456	0.467
11501	0.306	0.456	0.294	0.327
11715	0.430	0.375	0.453	0.391
11801	0.480	0.398	0.428	0.491
11905	0.857	0.443	0.877	0.855
12004	0.500	0.460	0.500	0.443
12201	0.165	0.411	0.201	0.242
12501	0.466	0.448	0.414	0.463
12601	0.352	0.442	0.352	0.368
12701	0.670	0.390	0.670	0.696
13001	0.677	0.373	0.630	0.496
13301	0.484	0.443	0.502	0.606
13302	0.288	0.467	0.256	0.270
20114	0.335	0.297	0.271	0.304
20207	0.299	0.404	0.355	0.337
40101	0.343	0.404	0.398	0.338
40220	0.416	0.361	0.407	0.413
110301	0.157	0.596	0.167	0.173
111101	0.586	0.478	0.581	0.589
111129	0.275	0.492	0.305	0.280
111208	0.360	0.505	0.526	0.525
160402	0.687	0.424	0.600	0.517
160614	0.539	0.504	0.539	0.539

La nécessité de la délimitation homogène est évidente à partir de la comparaison des coefficients de détermination (R^2 et R^2 cor) du modèle global, validé sur toute la surface et sur l'ensemble des données et des modèles régionaux, calibré sur les régions A, B et C. Le modèle global explique que 18% (R^2 cor) de la variance, tandis que les modèles régionaux ont expliqué la variance allant de 64% (R^2 cor de la région B par l'analyse des nuées dynamiques) à 99% (R^2 cor de la région A par l'analyse des nuées dynamiques). L'efficacité de la technique de groupement en particulier, soit l'analyse en composantes principales ou l'analyse des nuées dynamiques k-means, n'est pas vraiment évidente, du moins pour l'étude de cas présentée. Les coefficients de détermination (R^2 et R^2 cor), calculées pour des régions A, B et C, pour chacune de la méthode de groupement, sont comparables, avec une tendance marquée pour de grandes valeurs cohérentes de R^2 cor pour toutes les régions, dans le cas de méthode de l'ACP. La même remarque peut être donnée sur le test d'autocorrélation des résidus, où l'indice Durbin-Watson montre des valeurs similaires cohérentes proche à $d = 2$, ce qui indique qu'il n'y a aucune preuve d'une autocorrélation significative dans les résidus du modèle.

Conclusion

Nous avons présenté dans cette étude (1) la quantification des étiages et (2) l'application d'une approche simple régionale pour la prévision l'IEB sur des sites non jaugés, pour une région du Nord-Ouest en Algérie, avec une surface importante, d'environ 130.000 km², et une densité faible du réseau hydrométrique.

Pour éviter cette étude quantitative d'être affectés par le choix d'une technique de regroupement particulière des bassins versants, des méthodes alternatives de délimitation des groupes ont été appliquées, l'analyse en composantes principales et l'analyse des nuées dynamiques k-means.

L'analyse ACP est cependant en mesure d'indiquer le degré de la dépendance des conditions de débit de base sur les variables de groupement, ce qui serait une particularité favorable. L'importance de la délimitation des régions homogènes et l'efficacité de la technique de groupement particulière a été testée par la comparaison du modèle global et des modèles régionaux de régression multiples des indépendants. Pour la région étudiée, l'analyse ACP mis en évidence la principale dépendance de l'IEB sur les paramètres géologiques, mais de mettre en place des approches de régression multiple, des variables indépendantes ont été choisies afin d'améliorer la performance du modèle, telles que la densité de drainage, la pente moyenne du bassin versant, l'indice d'aridité, les caractéristiques géologiques et le pourcentage du couvert végétal.

La nécessité d'une délimitation des zones homogènes résulte de la comparaison des principaux ajustements des modèles globaux et régionaux: le modèle global explique seulement 18% de la variance, alors que les modèles régionaux expliquent jusqu'à 99% de la variance.

L'efficacité de la méthode de groupement particulière est plutôt non très évidente, avec une tendance marquée pour les grandes valeurs cohérentes des variances expliquées pour l'ensemble des régions dans le cas de la méthode ACP.

En fin, les analyses présentées constituent également une étape préparatoire vers un cadre global à l'estimation des indices de l'écoulement de base et une étude de la dépendance de plusieurs variables indépendantes, telles que les conditions climatiques, avec un impact potentiel qui dépend relativement de la variabilité spatiale et temporelle.

Perspective d'application

A coté de ces perspectives de recherches, ce travail doit permettre d'engager avec plus de confiance le développement d'outils hydrologiques s'appuyant sur les modèles et aussi destinés à être utilisés dans le domaine opérationnel. Il existe en effet une forte demande dans ce sens en Algérie et à l'étranger de la part des ingénieurs, des concepteurs d'ouvrages, des gestionnaires de la ressource et des décideurs, dans un contexte où l'eau devient l'objet de plus en plus d'enjeux. Proposer des applications du modèle pour l'ingénierie permettrait de faire des progrès en comparaison des méthodes utilisées actuellement, encore souvent trop rudimentaires. Si notre approche de modélisation ne peut aujourd'hui pas répondre à tous les problèmes d'hydrologie quantitative, elle se situe, selon nous, parmi les plus fiables et les plus facilement utilisables pour un large éventail de questions posées.

Références bibliographiques

- Dahmani, A., Meddi, M., 2009. Climate variability and its impact on water resources in the catchment area of Wadi Fekan Wilaya of Mascara (West Algeria). *European Journal of Scientific Research* 36 (3), 458e472.
- Dzubak, M., Dub, O., 1961. La définition des débits d'étiage et l'illustration de superficie de leur extension. In: *Bulletin signalétique*, vol. 1. Publié par Centre de documentation du C.N.R.S. Université du Michigan, pp. 151e157.
- Eslamian, S., Ghasemizadeh, M., Biabanaki, M., Talebizadeh, M., 2010. A principal component regression method for estimating low flow index. *Water Resources Management* 24 (11), 2553e2566.
- Haberlandt, U., Klocking, B., Krysanova, V., Becker, A., 2001. Regionalization of the base flow index from dynamically simulated flow components e a case study in the Elbe River Basin. *Journal of Hydrology* 248, 35e53.
- Institute of Hydrology, 1980. *Low Flow Studies* (1e4), Wallingford, UK.
- Laaha, G., Blöschl, G., 2006. A comparison of low flow regionalization: methods catchments grouping. *Journal of Hydrology* 323, 193e214.
- Lacey, G.C., Grayson, R.B., 1998. Relating baseflow to catchment properties in southeastern Australia. *Journal of Hydrology* 204, 231e250.
- Longobardi, A., Villani, P., 2008. Baseflow index regionalization analysis in a Mediterranean area and data scarcity context: role of the catchment permeability index. *Journal of Hydrology* 355, 63e75.
- Lvovich, M.I., 1972. Hydrologic budget of continents and estimate of the balance of global fresh water resources. *Soviet Hydrology* 4, 349e360.
- Mwakalila, S., Feyen, J., Wyseure, G., 2002. The influence of physical catchment properties on baseflow in semi-arid environments. *Journal of Arid Environments* 52, 45e258.
- Nathan, R.J., Austin, K., Crawford, D., Jayasuriya, N., 1996. The estimation of monthly yield in ungauged catchments using a lumped conceptual model. *Australian Journal of Water Resources* 1, 65e75.
- Piggott, A.R., Moin, S., Southam, C., 2005. A revised approach to the UKIH method for the calculation of base flow. *Hydrological Sciences Journal* 50 (5), 911e920.
- Ponce, V.M., Shetty, A.V., 1995. A conceptual model of catchment water balance. 2. Application to runoff and baseflow modeling. *Journal of Hydrology* 173, 41e50.
- Santhi, C., Allen, P.M., Muttiah, R.S., Arnold, J.G., Tuppad, P., 2008. Regional estimation of base flow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions. *Journal of Hydrology* 351, 139e153.
- Schneider, M.K., Brunner, F., Hollis, J.M., Stamm, C., 2007. Towards a hydrological classification of European soils: preliminary test of its predictive power for the base flow index using river discharge data. *Hydrology and Earth System Science* 11, 1501e1513.
- Vogel, R.M., Kroll, C.N., 1990. Generalized low-flow frequency relationships for ungauged sites in Massachusetts. *Water Resources and Bulletin* 26, 241e253.