



Caractérisation d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques : Cas du bassin versant de la Tafna. (Nord-ouest algérien).

Characterisation of an area catchment by the statistical analysis of morphometric parameters : Case of the Tafna basin (north-western Algeria)

Kamila BABA HAMED¹ & Abderrazak BOUANANI².

Abstract : We submitted all physical parameters calculated for the sub-basins of wady Tafna to a principal component analysis to determine the affinities between these sub basins and deduce the most characteristic parameters.

This analysis highlighted the interrelationship between the different physiographic parameters and individualization of three groups of basins: one consisting of Mouilah and Isser with a much greater area. The second group is formed by the mountain basins of Khemis, Sebdou and Chouly situated in the upstream of Tafna basin. The third group includes the basins of Sikkak, Zitoune, Boumessaoud and Boukiou that are part of the medium Tafna.

Keywords: Physical parameters, Tafna, Principal Component Analysis, Watershed, Correlation,

Résumé : Nous avons soumis tous les paramètres physiques calculés pour les différents sous-bassins de la Tafna à une analyse en composantes principales, afin de déterminer les affinités entre ces sous bassins et déduire les paramètres les plus caractéristiques.

Cette analyse a permis de mettre en évidence l'interrelation entre les différents paramètres physiographiques et l'individualisation de trois groupes de sous-bassins : le premier composé du Mouilah et de l'Isser avec une superficie largement supérieure à celle des autres bassins. Le second groupe est formé par les bassins des oueds Khemis, Sebdou et Chouly : bassins de montagne situés en amont du bassin de la Tafna. Le dernier regroupe les bassins de Sikkak, Zitoune, Boumessaoud et Boukiou qui font partie de la moyenne Tafna.

Mots clés : Paramètres physiques, Tafna, Analyse en Composantes Principales, Bassin versant, Corrélation,

INTRODUCTION

Le diagnostic physico-géographique, première étape de la connaissance des bassins versants, permet de caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans les processus de l'écoulement superficiel : facteurs orographiques, morphologiques, lithologiques, climatiques et biogéographiques. Leur interaction est déterminante dans le comportement hydrologique des bassins. L'objectif de la présente étude est d'arriver à regrouper des sous bassins semblables physiquement, utile pour toute éventuelle extrapolation de données hydrométéorologiques. Pour ce faire, nous nous sommes intéressés à neuf sous bassins de l'oued Tafna et dont la superficie varie de 117 à 2700 km².

¹ Université de Tlemcen, Faculté de Technologie, Laboratoire [Promotion des ressources hydriques, minières et pédologiques législation de l'environnement et choix technologiques](#) Email : kambabahamed@yahoo.fr

² Université de Tlemcen, Faculté de Technologie, Laboratoire [Promotion des ressources hydriques, minières et pédologiques législation de l'environnement et choix technologiques](#) Email : a_bouananidz@yahoo.fr

CADRE GEOGRAPHIQUE

Le bassin versant de la Tafna situé au nord-ouest du territoire algérien (fig.1), s'étend sur la totalité de la wilaya de Tlemcen sur une superficie de 7245 km². Selon la nouvelle structuration des unités hydrologiques en Algérie, le bassin de la Tafna appartient au bassin hydrographique de l'Oranie Chott Chergui.

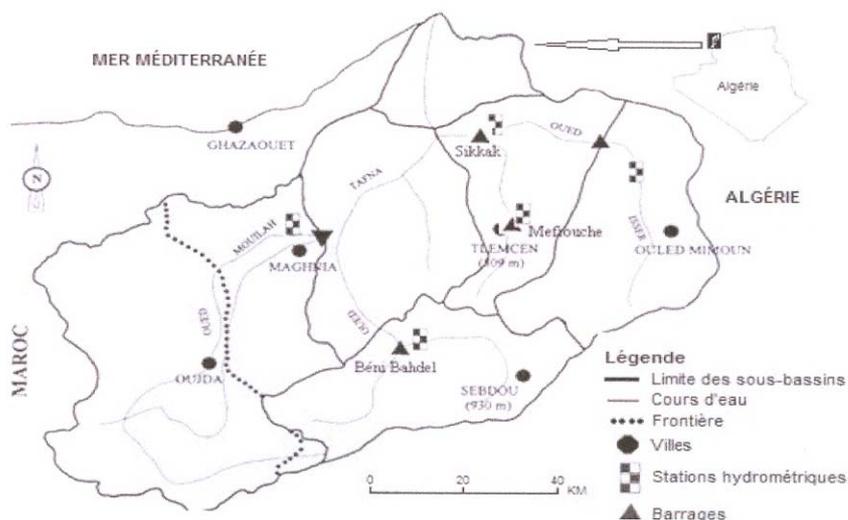


Figure 1 : Situation géographique du bassin de la Tafna (TERFOUS *et al*, 2001)

Globalement, la Tafna peut être subdivisée en trois grandes parties (fig. 2) :

- partie orientale avec comme principaux affluents l'oued Isser et l'oued Sikkak,
- partie occidentale comprenant la Haute Tafna (oued Sebdoù et oued Khemis) et l'oued Mouilah,
- partie septentrionale : qui débute pratiquement du village Tafna et s'étend jusqu'à la plage de Rachgoune, embouchure de la Tafna sur la Méditerranée. Les oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun constituent les principaux affluents.

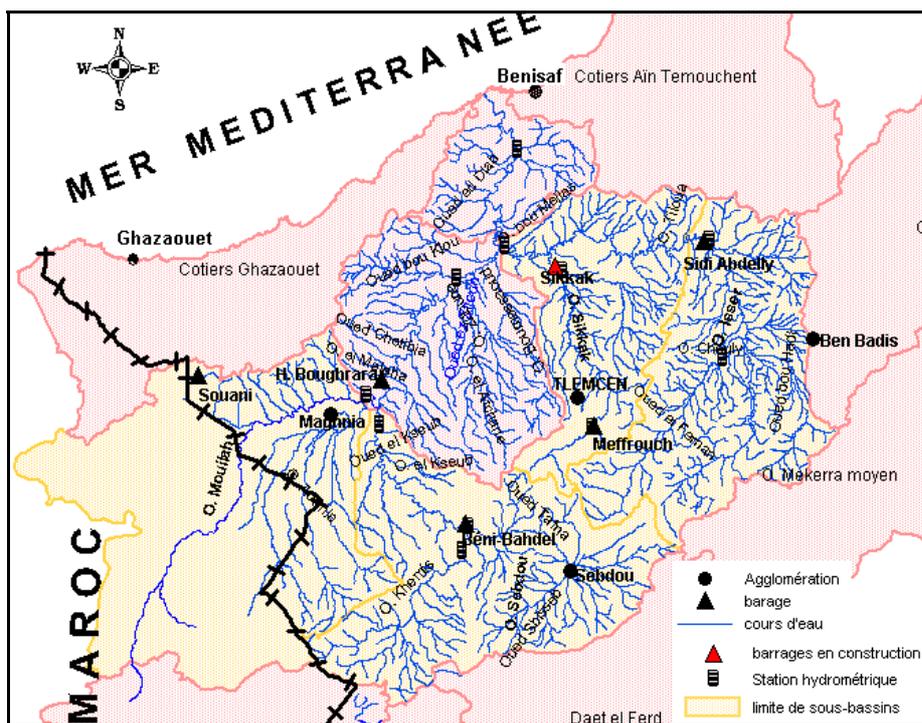


Figure 2 : Réseau hydrographique du bassin versant de la Tafna

CARACTERES PHYSIOGRAPHIQUES

La détermination des caractéristiques physiographiques, est nécessaire pour déterminer et analyser le comportement hydrologique d'un bassin versant (lame d'eau précipitée, débit d'un cours d'eau, bilan. etc. BAULING, 1959).

Son utilisation a pour but la quantification des facteurs caractéristiques du milieu physique des sous bassins versants de la Tafna.

Les sous bassins de la Tafna présentent, dans l'ensemble une forme moyennement allongée, favorisant une érosion régressive et un plus long temps de concentration des eaux de ruissellement. Mais l'influence du relief est encore plus déterminante. Les valeurs de l'indice de compacité (tableau.1) montrent que les bassins des oueds Mouilah (BABA HAMED 2001, 2007, BOUANANI, 2004) et Chouly (GHERISSI, 2012) sont les plus compactes ($K_c < 1.3$), alors que le bassin relativement le plus allongé correspond à celui de l'oued Boumessaoud ($K_c = 1.52$) (MEDDANE, 2012). Outre ces données extrêmes, toutes les autres valeurs sont très rapprochées, les formes des bassins correspondants (Sebdou, Khemis, Boukiou, Sikkak et Zitoun) étant donc plus ou moins semblables (BABA HAMED & KERZABI, 1991., SELADJI, 2001., ZENNAKI, 2015., HAYANE, 1983).

Bassins	Superficie (km ²)	Périmètre (Km)	Coefficient de compacité Kc	Rectangle équivalent	
				L (Km)	l (Km)
Oued Khemis	350	93	1.39	37,23	9,4
Oued Sebdou	255.5	78	1.37	30,7	8,32
Oued Mouilah	2650	230	1.25	82,96	31,94
Oued Zitoun	140	65	1.54	24	5,83
Oued Boumessaoud	118	59	1.52	24,53	4,81
Oued Sikkak	463	116	1.50	48,49	9,55
Oued Chouly	288.9	115	1.28	21,7	13,31
Oued Isser (Bensekrane)	1139.74	180	1.49	85,26	13,37
Oued Boukiou	117.3	58	1.50	23,91	4,9

Tableau 1 : Caractéristiques de forme des unités hydrologiques de la Tafna (BABA HAMED, 2001., BOUANANI, 2004)

Etude du réseau hydrographique

La disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques. Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les formations carbonatées du Jurassique et se modifie avec l'évolution de la tectonique (BABA HAMED & KERZABI, 1991., BOUANANI, 2004., HAYANE, 1983).

Les valeurs de densité de drainage (tableau 2) obtenues sont comprises entre 0.16 et 3.22 km/km². Ces résultats indiquent que les sous bassins versants de la Tafna sont en général assez bien drainés. L'importance du drainage est due principalement à la nature des formations qui forment le bassin ainsi qu'aux pentes assez fortes des versants d'une part et d'autre part au régime climatique, caractérisé par ses pluies irrégulières et violentes. Les plus petites valeurs correspondent aux plus grands sous bassins : la présence de plaines importantes et l'effet de la surface et de l'échelle des cartes utilisées.

ETUDE DU RELIEF

Altitudes caractéristiques des sous bassins

En se basant sur les cartes au 1/50 000 avec une équidistance de 10m, de la région nord ouest algérien (Tlemcen, Sebdou, Maghnia, Ouled Mimoun, Bensekrane, Terny, Nedroma et Beni Smiel), nous avons déterminé les caractéristiques physiques des différents bassins étudiés.

A partir des courbes hypsométriques et les histogrammes de fréquences altimétriques, nous avons tiré les altitudes caractéristiques et l'état des bassins (Tableau 2).

Tableau 2 : Densité de drainage, altitudes caractéristiques et état des sous bassins de la Tafna (BABA-HAMED, 2001., BOUANANI, 2004., BENSALD & BELKADI, 2015)

Bassins	Dd (km/km ²)	Altitude moyenne (m)	Altitude la plus fréquente (m)	Altitude de fréquence ½ (m)	Etat du bassin	Rapport de confluence R _C	Rapport des longueurs R _L
Khemis	3.22	1010	1400-1250	1410	Jeune	3,88	2,08
Sebdou	2.88	666	1100-1000	1060	Equilibre	3,43	2,38
Mouilah	0.16	430	600-400	687	Vieux	3,88	2,36
Zitoun	2.42	429	500-400	485	Vieux	3,5	3,16
Boumessaoud	2.51	623	800-700	630	□ vieux	3,55	2,83
Sikkak	1.51	1110	400-300	575	□ vieux	3,76	2,63
Chouly	0.61	700	1400-1300	1075	Equilibre	3,76	2,81
Isser	1.08	745	800-600	785	Equilibre	3,7	2,05
Boukiou	2.97	134	300-200	362	Vieux	4,25	2,53

Indices de pente et relief

L'appréhension du relief peut être faite à l'aide de l'indice de pente global I_g donné par la relation :

$$I_g = D/L$$

D : dénivelée H₅ % - H₉₅ %, définie sur la courbe hypsométrique (m).

L : longueur du rectangle équivalent (m).

L'indice de pente I_p également défini par Roche à partir du rectangle équivalent est égal à :

$$I_p = 1 / L \cdot \sum x_i \cdot \beta_i \cdot [a_i - a_{i-1}]$$

β_i : fraction de la surface totale du bassin comprise entre les côtes a_i et a_{i-1}; fonction donnée par le tableau hypsométrique.

x_i : distance séparant deux courbes de niveau sur le rectangle équivalent.

L : longueur du rectangle équivalent.

Les résultats du tableau 3, montrent d'après la classification de l'ORSTOM, que les fortes valeurs de I_g (0.02 < I_g < 0.05) concernent les bassins situés à l'amont de la basse Tafna, ce qui permet de les ranger dans la classe de relief assez fort. Les valeurs les plus faibles (relief modéré) correspondent aux bassins de la haute Tafna.

On constate, par ailleurs, que l'ensemble du bassin se range dans la classe de relief modéré, à cause vraisemblablement de l'influence de la surface .

Temps de concentration (T_c) et Coefficient de torrentialité (C_T)

Le temps de concentration des eaux est non seulement fonction de la forme du bassin mais aussi d'autres paramètres tels que la lithologie (les formations perméables favorisent l'infiltration au dépend du ruissellement ce qui fait retarder la concentration des eaux à l'exutoire), la pluviométrie (plus l'intensité pluviale est importante plus le temps de concentration est court et ceci quelque soit la nature du sol) et le relief. En effet, deux bassins ayant la même superficie et la même forme ne se comportent pas forcément de la même façon. Tel est le cas par exemple pour les bassins des oueds Boumessaoud et Boukiou qui possèdent la même superficie mais des temps de concentrations différents, respectivement égaux à 4h30mn et 6h00 (tableau 3).

Les valeurs élevées du coefficient de torrentialité (tableau 3) correspondent respectivement aux chevelus hydrographiques : Boukiou, Khemis et Sebdu issus d'un secteur montagneux et pluvieux. Par contre, les basses valeurs des autres bassins, sont liées au relief modéré à la faiblesse de leur densité de drainage, ou encore à la forte perméabilité des formations lithologiques couvrant les bassins.

La très faible valeur du C_T de l'oued Mouilah est liée à l'échelle de la carte utilisée pour la détermination du nombre et de la longueur des talwegs de différents ordres. L'échelle au 1/200 000, ne permet pas de représenter tous les thalwegs d'ordre inférieur qui représentent une partie importante du réseau hydrographique.

Tableau 3: Indices de pente, coefficient de torrentialité et temps de concentration des eaux des sous bassins de la Tafna (BABA HAMED, 2001 ., BOUANANI, 2004)

Station	Indice de pente		Dénivelé spécifique (m)	Classification du relief	Coefficient de torrentialité C _t	Temps de concentration T _c (Giandotti)
	I _p	I _g				
O. Khemis	2,89	0,019	355,5	Relief modéré	17.6	06 h 00
O. Sebdu	1,46	0,016	255,8	Relief modéré	15.2	07 h 00
O. Mouilah	1,16	0,011	566,6	Relief modéré	0.0032	20 h 30 mn
O. Zitoun	2,09	0,039	461,4	Relief assez fort	5.5	05 h 30 mn
O. Boumessaoud	1,96	0,035	380,2	Relief assez fort	6.9	04 h 30 mn
O. Sikkak	1,52	0,021	451,9	Relief assez fort	1.9	09 h 30 mn
O. Chouly	0,19	0,037	628,8	Relief assez fort	2.7	05 h 15 mn
O. Isser	0,1	0,011	371,3	Relief modéré	2.1	14 h 30 mn
O. Boukiou	1,65	0,02	216,6	Relief modéré	26.9	06 h 00

ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES PHYSIOGRAPHIQUES

L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique statistique largement utilisée (ESLAMIAN *et al.*, 2010). Elle réduit le nombre de variables à celles qui sont les plus significatives parmi un ensemble de variables et est utilisée afin de trouver un lien entre les variables et les individus afin de les regrouper en régions homogènes. 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 multivariable qui sert de traitement des données.

Nous avons soumis tous les paramètres physiques calculés pour les différents sous-bassins de la Tafna à une analyse en composantes principales, afin de déterminer les affinités entre ces sous bassins et déduire les paramètres les plus caractéristiques. Pour ce faire, une matrice de corrélation a été utilisée et les composantes ont été déterminées selon le type de rotation des axes orthogonaux.

L'analyse en composante principale ou ACP, est une méthode de réduction du nombre de variables permettant la représentation géométrique des observations et des variables. Cette réduction n'est possible que si les variables initiales ne sont pas indépendantes et ont des coefficients de corrélation non nuls (BOUROCHE & SAPORTA, 1980). La méthode a été appliquée à 9 individus (sous-bassins versants) et 14 variables (paramètres physiographiques) qui sont : la superficie (S), le périmètre (P), l'indice de compacité de Gravelius (Kc), la longueur (Lr) et la largeur (lr) du rectangle équivalent, la densité de drainage Dd, les rapports de confluence (Rc) et des longueurs (Rl), l'altitude moyenne (Alt m), le coefficient de torrencialité (Ct) et le temps de concentration (Tc) et enfin les indices de pente global (Ig) et de Roche (Ip).

L'analyse du tableau 3 et la courbe des valeurs propres (fig.4), montre que les trois premiers facteurs représentent le maximum d'informations. Ainsi les trois premiers axes factoriels expriment 81% de la variance totale, avec 45,96% pour le premier facteur, 18,4% pour le second et 16,7% pour le troisième facteur.

Tableau 4 : Valeurs propres de la matrice de corrélation des paramètres morphométriques des sous bassins de la Tafna

Axe	Valeur Propre	Proportion %	Valeur propre Cumulative	Cumulatif %
1	6,434641	45,96172	6,43464	45,9617
2	2,570310	18,35936	9,00495	64,3211
3	2,341653	16,72610	11,34660	81,0472

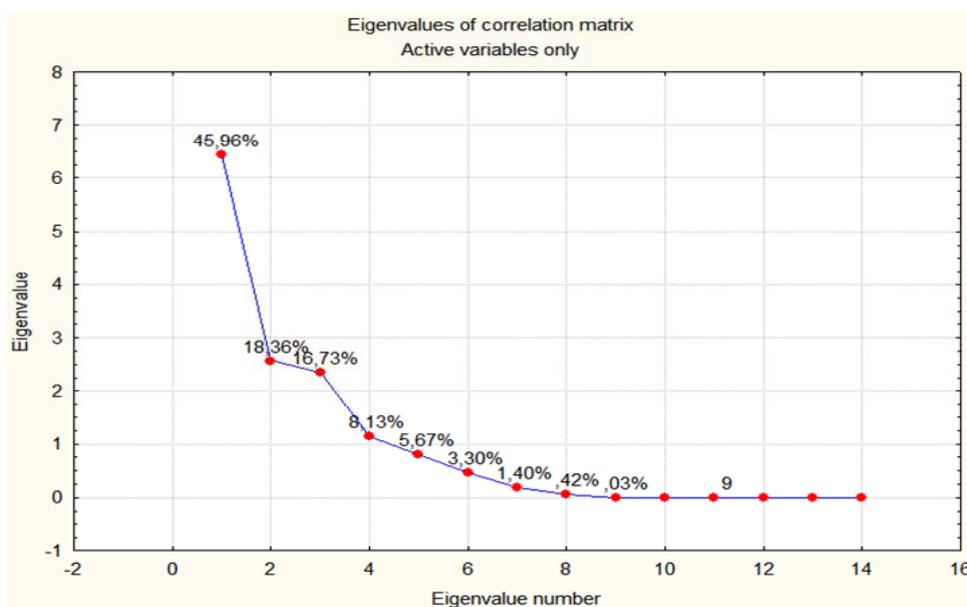


Figure 3: Diagramme en cône des paramètres physiques des sous bassins de la Tafna

L'analyse de la matrice de corrélation (Tableau 5), montre que la surface (S) est bien corrélée positivement avec le temps de concentration (Tc) et l'est moins négativement avec l'indice de pente global (Ig) et la densité de drainage.

Les dimensions du rectangle équivalent sont bien corrélées positivement avec le temps de concentration (Tc), la longueur (L) est assez bien corrélée négativement avec l'indice de pente global (Ig), par contre, la largeur (l) du rectangle est moyennement bien corrélée avec la densité de drainage (Dd) et le coefficient de compacité (Kc). L'indice de pente (Ip) est très bien corrélé avec la densité de drainage, quant à l'indice de pente global (Ig) est assez bien corrélé négativement avec le temps de concentration des eaux (Ct). La dénivelée spécifique (Ds) est moyennement corrélée négativement avec la densité de drainage (Dd) et le coefficient de torrencialité (Ct). La densité de drainage (Dd) est

bien corrélée positivement avec les coefficients de torrentialité (Ct) et de compacité (Kc). Le rapport de confluence (Rc) peut être corrélé négativement au rapport des longueurs (Rl).

Tableau 5: Matrice de corrélation entre les variables morphométriques.

Var	S	P	L	I	Alt m	Ip	Ig	Ds	Dd	Ct	Rc	Rl	Kc	Tc
S	1,000													
P	0,936	1,000												
L	0,860	0,922	1,000											
I	0,961	0,916	-0,743	1,000										
Alt m	-0,178	-0,047	-0,003	-0,116	1,000									
Ip	-0,218	-0,348	-0,254	-0,274	-0,149	1,000								
Ig	-0,606	-0,603	-0,745	-0,495	-0,028	0,087	1,000							
Ds	0,439	0,525	0,234	0,590	0,094	-0,289	0,312	1,000						
Dd	-0,524	-0,557	-0,390	-0,601	-0,274	0,801	0,053	-0,633	1,000					
Ct	-0,435	-0,521	-0,419	-0,473	-0,388	0,523	-0,138	-0,750	0,792	1,000				
Rc	0,0297	-0,062	-0,080	0,045	0,078	-0,241	-0,187	-0,187	-0,303	0,244	1,000			
Rl	-0,095	-0,055	-0,145	-0,083	-0,548	0,399	0,426	0,300	0,394	0,045	-0,628	1,000		
Kc	-0,422	-0,369	-0,101	-0,610	-0,228	0,431	0,182	-0,409	0,611	0,264	-0,329	0,488	1,000	
Tc	0,964	0,940	0,938	0,886	-0,112	-0,302	-0,721	0,313	-0,521	-0,434	0,044	-0,173	-0,311	1,000

S : Surface, P : Périmètre, Alt m : Altitude moyenne, Rc : Rapport de confluence, Ds : Dénivelée spécifique, L : Longueur du rectangle équivalent, I : largeur du rectangle équivalent, Tc : Temps de concentration, Rl : Rapport des longueurs, Ip : Indice de pente de Roche, Ig : Indice de pente global, Tc : Temps de concentration, Ct : Coefficient de torrentialité, Dd : Densité de drainage.

 Bonne Corrélation  Corrélation Moyenne  Mauvaise Corrélation

Les axes 1,2 et 3 ainsi retenus mettent en évidence leurs relations avec les paramètres étudiés (tableau.6).

Tableau 6: Vecteurs de la matrice de corrélation des paramètres morphométriques.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
S	0,921054	-0,327209	-0,054325
P	0,943631	-0,282129	0,033385
L	0,835651	-0,391990	-0,162383
I	0,929797	-0,186505	0,048297
Alt m	0,086325	0,624331	-0,070308
Ip	-0,520049	-0,555882	-0,043449
Ig	-0,541097	0,348875	0,709323
Ds	0,555979	0,161858	0,742452
Dd	-0,770440	-0,556235	-0,193574
Ct	-0,640233	-0,320476	-0,576595
Rc	0,101181	0,470516	-0,605274
Rl	-0,274110	-0,610558	0,689617
Kc	-0,562493	-0,487123	0,101235
Tc	0,920856	-0,323947	-0,159912

La matrice de corrélation des variables et des facteurs du poids de variance (Tableau 6) et la figure.4 montrent que l'axe 1(principal axe d'inertie) qui représente plus de 45% de variance est très bien corrélé positivement à la surface (S), au périmètre (P), aux dimensions du rectangle équivalent du bassin et au temps de concentration (Tc). Il est aussi assez bien corrélé mais négativement au coefficient de torrentialité (Ct) et à la densité de drainage (Dd) et à moindre degré le coefficient de compacité(Kc), l'indice de pente(Ip) et l'indice de pente global (Ig).

L'axe 2 avec 18,36% de variance, est bien lié négativement avec le rapport des longueurs (Rl) et positivement avec l'altitude moyenne, il en est moins avec l'indice de pente (Ip) et la densité de drainage (Dd).

L'indice de pente globale (Ig), la dénivelée spécifique (Ds) ainsi que le rapport des longueurs (Rl) et de confluence (Rc) sont mieux corrélés avec l'Axe III qui représente presque 17% de la variance.

Ces résultats sont synthétisés sur la figure 5, qui illustre la projection des variables sur les plans factoriels 1 et 2.

La projection des individus (bassins) sur le plan (1-2) (fig.5), met en évidence trois groupes de bassins :

Le premier formé par les bassins du Mouilah (Moui) et de l'Isser (Is) occupant tous les deux des superficies largement supérieures à celles des autres bassins.

Le second groupe, est formé par le bassin d'oued Chouly (Ch), Sebdou (Seb) et Khémis (Kh), ce sont des bassins de montagne et occupant le sud du bassin de la Tafna (bassins internes aux monts de Tlemcen).

Le troisième groupe par les bassins de Sikkak (Sik), Zitoun (Zit), Boumessaoud (Boum), Boukiou (Bouk) qui font partie de la moyenne Tafna et descendent tous vers la plaine de la Tafna (versant nord des monts de Tlemcen et sud des Traras pour l'oued Boukiou) (KACEMI & SENINA, 2015).

L'indice de pente globale (Ig), la dénivelée spécifique (Ds) ainsi que le rapport des longueurs (Rl) et de confluence (Rc) sont mieux corrélés avec l'Axe III qui représente presque 17% de la variance (fig.6). Le plan (1-3) (fig.7), permet d'opposer les bassins de l'oued Chouly (Ch) et Boukiou (Bouk), l'un descendant du Sud vers le Nord creusé dans des formations consolidées (calcaires et dolomies) du Jurassique des monts de Tlemcen et situé en hautes altitudes (BENEST, 1985), l'autre descendant des monts des Traras du Nord vers le Sud et creusé dans des formations généralement du socle paléozoïque (Granite et schistes) (GUARDIA, 1975., BENHAMOU, 1983) mais dont les altitudes sont nettement inférieures.

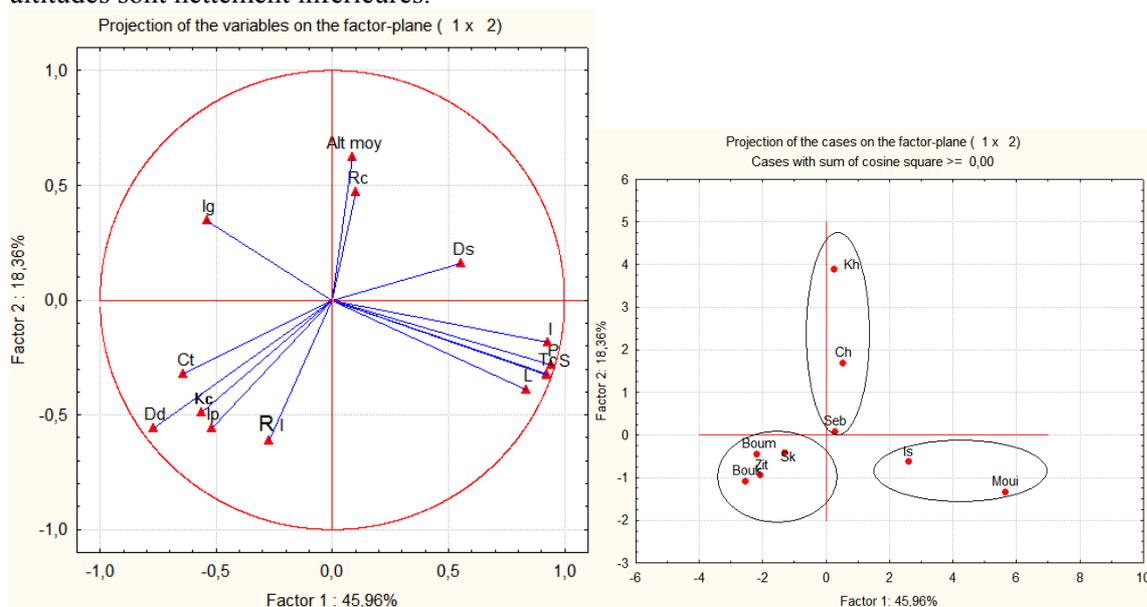


Figure 4: Diagramme des contributions des paramètres morphométriques au niveau du bassin de la Tafna sur les plans factoriels 1 et 2

Figure 5: Projections des individus sur les plans factoriels 1 et 2 du bassin de la Tafna

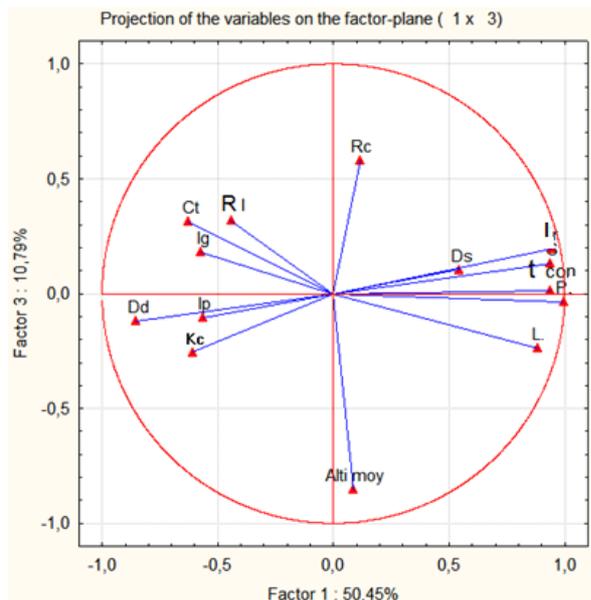


Figure 6: Diagramme des contributions des paramètres morphométriques au niveau du bassin de la Tafna sur les plans factoriels 1 et 3

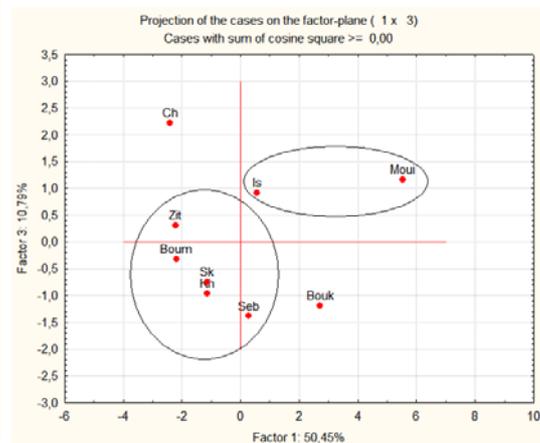


Figure 7: Projections des individus sur les plans factoriels 1 et 3 du bassin de la Tafna

CONCLUSION

La construction du regroupement des sous bassins, a permis la définition des axes factoriels (vecteurs), responsables liés à la distribution spatiale et donc de mettre en évidence les affinités et les différences entre les groupes et en déduire les variables qui caractérisent au mieux chaque groupe. Pour les 9 sous bassins étudiés de la Tafna, la force des liaisons qui existent entre les variables explicatives a été définie par une matrice de corrélations simples entre les variables morphométriques. Au terme de ces corrélations, sont retenues comme variables explicatives du regroupement : La taille du bassin, le coefficient de torrentialité (Ct), l'indice de pente (Ip) et la densité de drainage (Dd). On a montré sur l'exemple de la Tafna, comment l'utilisation de données physiographiques pouvait permettre (dans une certaine mesure) une régionalisation par l'utilisation de l'analyse en composantes principales.

En ce qui concerne la répartition spatiale de ces zones, la corrélation a montré que ces zones ne forment pas toujours des régions contiguës. Par conséquent, la proximité géographique n'influence pas de manière significative la zonalité. Toutefois, on peut observer certaines cohérences spatiales, telles que, oued Zitoun et oued Boumessaoud qui se rapprochent géographiquement et qui généralement apparaissent dans la même zone (répartition ACP).

Quant aux facteurs qui influencent la variabilité spatiale des régimes hydrologiques, il est apparu que les caractéristiques physiques des bassins sont de loin le principal facteur qui influence plus ou moins fortement la variabilité spatiale.

En effet, l'examen des caractéristiques physiques de ces bassins versants a montré que ce sont surtout les caractéristiques de forme (Superficie, Périmètre, Coefficient de compacité de Gravelius, Longueur, Largeur) qui ont régi le classement statistique des différents sous bassins versants en groupes distincts. Ainsi, les bassins versants qui ont des dimensions plus grandes se démarquent toujours des autres.

L'avantage incontestable de notre classification est le fait qu'elle repose sur des critères précis et faciles à utiliser pour classer et caractériser n'importe quel bassin versant.

BIBLIOGRAPHIE

- BABA HAMED K & KERZABI, R., 1991. Contribution à l'étude hydrogéologique de la Haute Tafna en amont du barrage Béni-Bahdel (Monts de Tlemcen). Mem, Ing, Sci, Terre. Univ, Oran. t1., t2., 424 p., 154 fig.
- BABA HAMED K., 2001. Contribution à l'étude hydrologique de trois sous-bassins de la Tafna (bassin de Sebdo, de Mouilah et d'Isser). Thèse de Magister. Univ. Oran. 195p.
- BABA HAMED K., 2007. Hydrodynamique et modélisation d'une nappe alluviale, validation par l'approche géostatistique. Application à la nappe de la plaine de Maghnia (NW Algérien). Thèse Doctorat. Es Sciences. Univ, Tlemcen., 192p.
- BAULING H., 1959. La morphométrie. *Ann. Géogr. Paris.* 365 : 385 – 408.
- BENEST M., 1985. Evolution de la plate-forme de l'Ouest algérien et du Nord-Est marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : stratigraphie, milieux de dépôt et dynamique sédimentaire. *Docum. Lab. Geol. Lyon*, 95, 1-2, 581 p., 145 fig., 23 pl.
- BENHAMOU M., 1983. Stratigraphie et milieux de dépôts du Jurassique inférieur et moyen des Beni-Ouarsous et Béni-Khaled (Massif des Traras, Oranie).Thèse Doctorat 3^{ème} cycle. Univ. Oran. 168 p., 56 fig. 9 pl.
- BENSAID A & BELKADI., 2015. Caractérisation des bassins versants de l'Ouest algérien par l'analyse statistique des paramètres morphométriques et hydroclimatiques. Mém de Master. Univ. Tlemcen. 221p.
- BOUANANI A., 2004. Hydrologie-Transport solide et modélisation : Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW algérien). Thèse Doc. Etat, Univ, Tlemcen. 250p.
- BOUROCHE J.M & SAPORTA G., 1980. L'analyse des données. 4^{ème} Ed. collect. Que Sais-je ? Presse Universitaire de France.
- ESLAMIAN S., GHASEMIZADEH M., BIABANAKI M. & TALEBIZADEH M., 2010. A principal component regression method for estimating low flow index. *Water Resources Management* 24 (11) ; 2553-2566.
- GHERISSI R., 2012. Hydrologie et modélisation pluie-débit : Cas du bassin versant de l'oued lakhdar (ex : chouly) Tafna-Nw algérien. Mém de Magister. Univ. Tlemcen. 143p.
- GUARDIA P., 1975. Géodynamique de la marge Alpine du continent Africain d'après l'étude de l'Oranie-Nord-Occidentale Relations structurales et paléogéographiques entre le Rif externe et le Tell. Thèse Nice N° 10. 1141., 286 p., 171 fig.
- HAYANE S.M., 1983. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'oued Sikkak (région de Tlemcen). Thèse Doc. 3^e cycle. Univ. Oran. 236 p., 91 fig.
- KACEMI A & SENINA A., 2015. Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale d'oued Boukiou (NW algérien). Mém de Master. Univ. Tlemcen. 180p.
- MEDDANE K., 2010. Hydrologie et modélisation pluie-débit : Cas du bassin versant de l'oued Boumessaoud. Tafna-Nw algérien. Mém de Magister. Univ. Tlemcen. 121p.
- ROCHE M., 1963. Hydrologie de surface. Paris, Gauthier - Villars. 430 p. 204 fig.
- SELADJI S., 2001. Contribution à l'étude hydrologie du bassin versant de l'Oued Khemis. Mém. Ing. Univ. Tlemcen, 100 p.
- TERFOUS A., MEGNOUNIF A. & BOUANANI A., 2001. Etude du transport solide en suspension dans l'oued Mouilah (Nord Ouest Algérien). *Rev. Sci. Eau* 14/2(2001) 173-185.
- ZENNAKI A., 2015. Essai de modélisation hydrodynamique d'une nappe. Application à la nappe alluviale d'oued Boukiou. Mém de Magister. Univ. Tlemcen. 137p.