



**INFLUENCE DE LA STRUCTURE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE
SUR LA REPOSE HYDROLOGIQUE
« CAS DES BASSINS DU NORD-EST DE L'ALGERIE »**

**INFLUENCE OF THE HYDROGRAPHIC NETWORK ON
HYDROLOGIC RESPONSE "IN NORTHEAST WATERSHEDS OF
ALGERIA"**

ABDEDDAIM H.¹, BENKHALED A.²

¹ Université de Biskra

² Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface,
Département de Génie civil et d'Hydraulique
Université de Biskra, B.P, 145, R,P,, 07000, Biskra, Algérie

hakdaim@gmail.com,

abdelkader.benkhaled@larhyss.net

RESUME

Cet article résume l'analyse de l'influence de la structure des réseaux hydrographiques sur le risque hydrologique, lors des épisodes des crues pour les bassins versants situés au Nord-Est de l'Algérie. La première étape concerne la connaissance des différentes thématiques de la région d'étude à savoir : topographie et relief, lithologie, érosion et climatologie, nécessaires pour synthétiser toutes les composantes qui définissent la géomorphologie des bassins-versants. La deuxième étape est consacrée à la détermination des descripteurs morphométriques des bassins-versants à travers la classification des réseaux hydrographiques par l'utilisation de la méthode d'Horton (1945) modifiée par Strahler (1957). Cinq types de réseaux hydrographiques de la région étudiée ont été identifiés. Pour déterminer l'influence des descripteurs sur la réponse hydrologiques, la méthode Analyse en Composante Principale (ACP) a été appliquée. Les résultats montrent que le débit max est en bonne corrélation avec les descripteurs de forme (65%) et de volume (60%). Par contre il y a une faible corrélation des descripteurs de réseau (45%).

Mots-clés : Bassin versant, Typologie du réseau hydrographique, Réponse hydrologique, Analyse en Composantes Principales, Nord-Est de l'Algérie

ABSTRACT

This article is focused on the influence of the hydrographic networks structure on the hydrologic response during episodes of flooding for watersheds in northeastern Algeria, The first step is the knowledge of the different themes of the study area including: topography and terrain, lithology, erosion and climate needed to synthesize all the components that define the geomorphology of the watershed, The second step is devoted to the determination of morphometric descriptors watershed through the classification of hydrographic networks by using the method of Horton (1945) modified by Strahler (1957). Five types of river networks in the study area were identified for interpreting the results related to the descriptors of watersheds, the method is that the Principal Component Analysis (PCA). To determine the influence of the descriptors on the hydrological response, the Principal Component Analysis method (PCA) was applied. The results show that the maximum flow is in good correlation with the shape descriptors (65%) and of volume (60%). However there is a low correlation of network descriptors (45%).

Keywords: Watershed, Typology of the river network, Hydrologic response - Principal Component Analysis, Nord Eastern of Algeria

INTRODUCTION

Dans beaucoup de régions du monde, les inondations se manifestent de façon catastrophique. En Algérie et selon les services de la protection civile, une commune sur trois est susceptible d'être inondée en partie ou en totalité. La réduction du risque est devenue une préoccupation majeure, en particulier pour les pouvoirs publics et les scientifiques. Depuis quelques décennies, le rythme des inondations s'est accéléré et devient potentiellement plus dangereux et plus dévastateur (Bab-El-Oued, 2001 avec 752 morts, une centaine de disparus et des dégâts matériels estimés à 33 milliards de dinars ; Ghardaïa, 2008 plus de 30 morts et plusieurs milliards de dinars). Afin de mieux comprendre la genèse et la dynamique des processus induits par la structure du réseau hydrographique dans le cas des inondations, il est impératif de raisonner à une échelle spatiale, plus intégrée, prenant en compte tout le bassin versant, où on accorde un intérêt particulier à la composante morfo-structurale des bassins-versants et leurs effets sur la réponse hydrologique. Les réseaux de drainage ont montré leur impact sur le transport des débits liquides et solides, importants eu égard à la conception et la construction des ouvrages hydrauliques, comme solutions

adéquates aux problèmes posés. Les indices morphométriques sont indispensables car ils ont constitué les premières formes de réflexion menées sur le transfert d'échelle en géomorphologie (Hauchard, 2001). Les caractéristiques des réseaux hydrographiques existants dépendent des conditions climatiques et physiographiques régionales. La surface du bassin, la longueur du cours d'eau et la nature du sol constituant le bassin, ont été largement utilisés pour les applications hydrologiques y compris les inondations, à travers le calcul des débits fréquents et des débits des projets. En raison des différentes propriétés des réseaux et leur impact sur le régime hydrologique, des études ont été menées pour développer des méthodologies quantitatives pour la reconnaissance et la caractérisation des réseaux de drainage. Argialas et al, (1988) ont présenté un système de classification en utilisant les réseaux de canaux de troisième ordre pour déterminer leurs types. Ichoku et Chorowicz (1994), ont utilisé les modèles numériques de terrain (MNT) pour proposer un système de classification basé sur seize caractéristiques de réseaux. Mejia et Niemann (2008) ont proposé une classification dérivée d'invariance d'échelle en enquêtant sur cinquante réseaux de canaux pour caractériser cinq types de réseaux, y compris dendritique, parallèle, et rectangulaires. Jung et al, (2015) ont réalisé une étude dans la région montagneuse du nord-est des EAU et dans le nord d'Oman. Dans cette étude, treize oueds ont été classés comme des réseaux rectangulaires et deux oueds présentent des réseaux parallèles. L'enjeu dans cette étude était de déterminer si la pente préexistante affecte le développement des réseaux hydrographiques. Plus récemment, Kim et Jung (2015) ont présenté une analyse des propriétés géométriques des structures hydrographiques pour trouver la gamme valide dans laquelle l'invariance d'échelle du réseau reste la même. Malgré que les enjeux soient relatifs concernant l'influence des réseaux de drainage, leur analyse détaillée a été faiblement effectuée dans la région méditerranéenne, en particulier les bassins du Nord-Est de l'Algérie. Pour répondre à cette insuffisance, il devient primordial d'engager une étude dans ce contexte, et les résultats obtenus présenteront des intérêts sur le plan du développement local et scientifique.

L'objectif de ce travail est d'identifier les différents types de réseaux de drainage du Nord-Est de l'Algérie et de déterminer les descripteurs de forme, réseau et volume, qui expliquent leur influence sur les débits des crues.

PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

L'étude concerne les bassins versants situés au Nord-Est de l'Algérie, compris entre 5° et 9°E de longitude et 35° et 37°N de latitude. Cette région hydrographique est limitée au Nord par la mer méditerranéenne, au Sud par le bassin du Sahara, à l'Ouest par la région hydrographique de l'Algérois-Hodna-Soummam et à l'Est par la frontière Tunisienne (figure1). Cette région s'étend sur une superficie de 43796 Km², et englobe 43) sous bassins versants qui forment les cinq (05) grands bassins : BV 03 bassin des Côtiers Constantinois subdivisé en (18 SBV); BV 07 bassin des Hauts Plateaux Constantinois subdivisé en (07 SBV); BV10 bassin du Kebir Rhumel subdivisé en (07 SBV) ; BV 12 bassin de la Medjerda subdivisé en (05 SBV); BV 14 bassin de la Seybousse subdivisé en (06 SBV).



Figure 1 : Plan de situation avec délimitation des sous bassins-versants (Fond de la carte inspiré du réseau hydro-climatologique et de surveillance de la qualité des eaux ANRH, 2005)

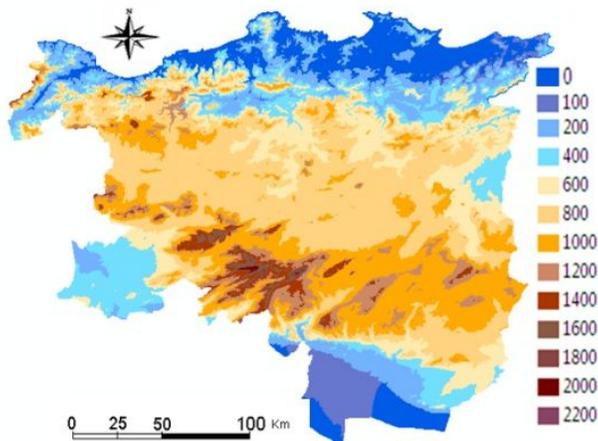
Topographie et relief

A la lumière des cartes altimétriques et pentes, établies par la Direction Générale des Forêts en 2010 et représentées aux figures 2 et 3, le relief de la région d'étude est divisé en quatre zones selon un axe Nord-Sud :

- **Zone à faible altitude** (0-400 m) ;
- **Zone à moyenne altitude** (400-800 m) ;
- **Zone à altitude élevée** (800-1200 m) ;
- **Zone à altitude très élevée** (1200-2200 m)

Concernant les pentes, elles sont subdivisées en quatre classes :

- **Classe 1:** $0\% \leq \text{Pente} \leq 5\%$;
- **Classe 2:** $5\% \leq \text{Pente} \leq 15\%$;
- **Classe 3:** $15\% \leq \text{Pente} \leq 35\%$;
- **Classe 4:** $\text{Pente} > 35\%$,



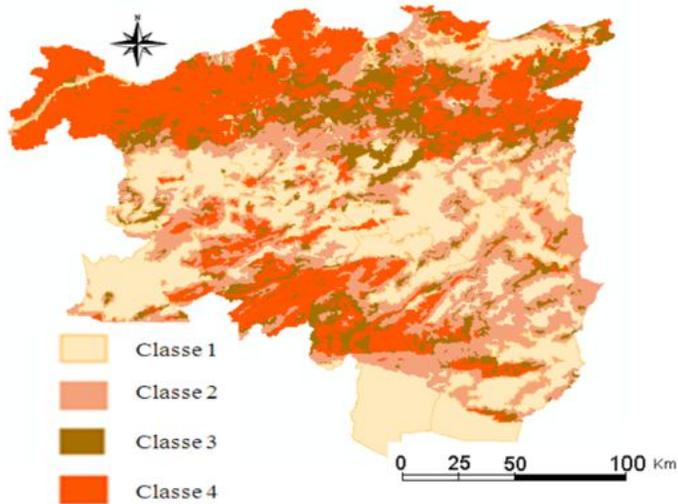


Figure 3 : Carte des pentes

Lithologie

La région objet de notre étude est disposée en chaînes parallèles de Gneiss et de Granite au niveau de la bande littorale de l'atlas tellien (Jijel-Skikda-Annaba) et des marnes qui dominent le bassin des Côtiers-Constantinois Est et celui de Kebir-Rhumel. Cette formation se trouve aussi au niveau de la wilaya de Souk-Ahras et au Sud de Tébessa. On y trouve aussi les alluvions au niveau des plaines de Barika, les hautes plaines de Khenchela et les monts de Mahouna et oued Cheham (Guelma). Les Grés s'aperçoivent au niveau du bassin des Côtiers-Constantinois Ouest et Est. Les flysch se dispersent au niveau de la bande côtière. L'argile se trouve au niveau du bassin de la Seybousse, dans des Hauts-Plateaux (les hautes plaines d'El-Madher-Chemora) et le Nord-Est du bassin de la Medjerda (figure 4).

Précipitation

Les précipitations de la région d'étude décroissent du Nord vers le Sud, où il est constaté des pluies de l'ordre de 1000 mm et plus, au niveau de la bande côtière Ouest (figure 5). Les pluies enregistrées dans la chaîne intérieure de l'Atlas Tellien varient entre 600 et 800 mm, tandis que les hauts-plateaux subissent une

Influence de la structure du réseau hydrographique sur la réponse hydrologique « cas des bassins du nord-est de l'Algérie ».

pluviométrie qui ne dépasse pas les 500 mm. L'exception est faite pour les massifs des Aurès où on enregistre près de 900 mm. Quant au plateau Saharien (Negrine), les pluies sont rares, Elles sont estimées à 100 mm.

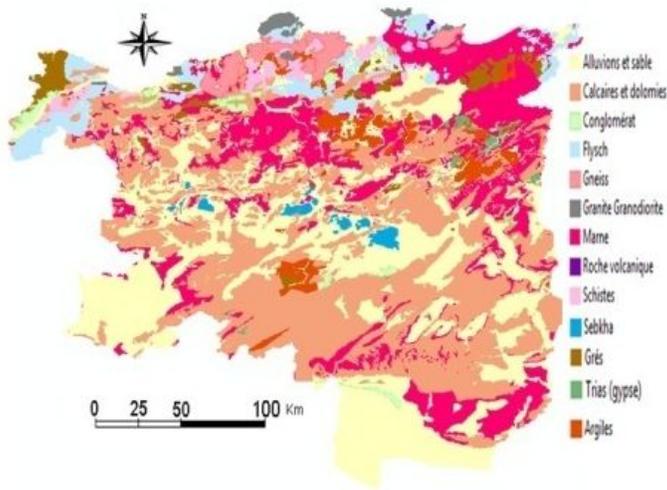


Figure 4 : Carte Lithologique

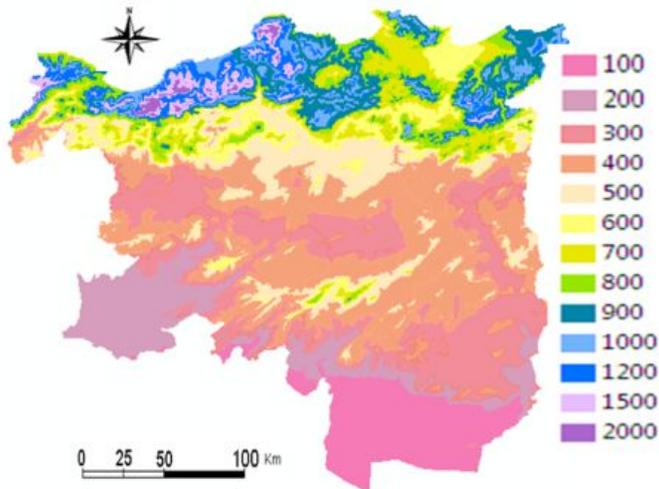


Figure 5 : Carte des précipitations

Hydrographie

Le réseau hydrographique des bassins du Nord-Est de l'Algérie est plus développé au Nord qu'au Sud. Les cours d'eau côtiers appartenant aux trois bassins versants septentrionaux (03, 10 et 14) sont de type exoréique, Ils ont un écoulement relativement fourni : Oued Mafragh, Kebir-Rhumel et Seybousse, Ces oueds prennent naissance dans la chaîne des monts de l'Atlas Tellien et se jettent dans la mer méditerranée. Le chevelu hydrographique est très ramifié et très dense au Sud, au Centre, à l'Ouest et moins dense à l'Est. On trouve des plans d'eau libres au niveau du bassin des Côtiers-Constantinois (03) tels que les lacs Fetzara, Tonga et Ombeira. Il existe aussi plusieurs barrages en exploitation, Au Sud de la région du Tell. Les petits cours d'eau sont temporaires. L'oued Mellegue, qui prend sa source dans les massifs de Bentaleb et des hautes plaines de Sedrata ainsi que oued Medjerda qui prend naissance dans les monts de Souk-Ahras, se jettent dans les bassins Tunisiens. Le bassin des Hauts-Plateaux Constantinois est caractérisé par un réseau hydrographique ramifié et moins dense à écoulement temporaire, les principaux oueds de ce bassin sont Chemora et Boulfreiss. L'oued Chemora se perd après un trajet d'environ 30 km, dans les lacs salés des hautes plaines Constantinoises. Il s'agit de Sebket Djendli, Garâet Ank-Djemel, Garâet Et-Tarf (figure 6). La majorité des cours d'eau sont de type dendritique.

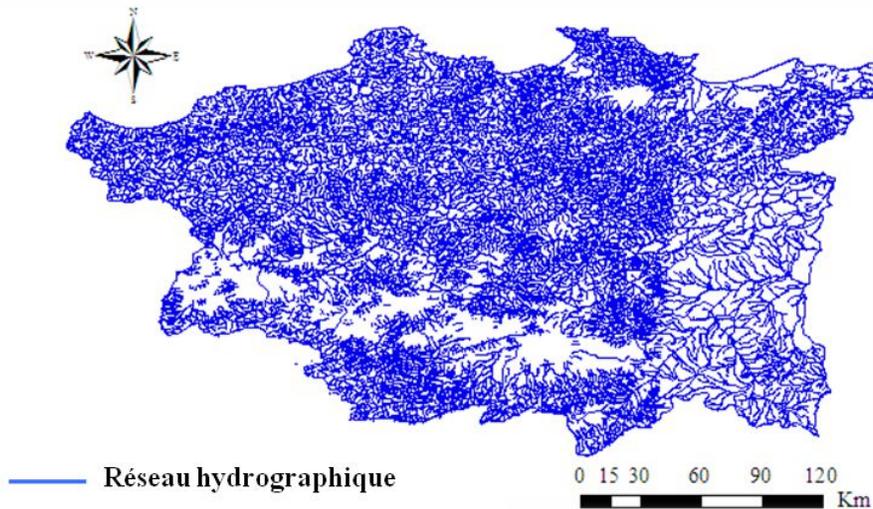


Figure 6 : Réseau hydrographique

DONNEES ET METHODES

Données

Les valeurs des différents descripteurs morphométriques sont données dans les tableaux 1, 2 et 3. Ces descripteurs sont classés en trois catégories principales :

Descripteurs de forme : Ces descripteurs indiquent la forme du bassin versant: Surface (S) ; Périmètre (P) ; Coefficient de compacité (Kc) ; Rectangle équivalent (Leq; leq) ; Rapport de circularité (Rcir) ; Facteur de forme (Ff) ; Rapport d'élongation (Re) ; Rayon du cercle ; Indice de pente globale (Ipg).

Tableau 1 : Descripteurs de forme

Code	S (Km ²)	P (Km)	Kc	Leq (Km)	leq (Km)	Rcir	Ff	Re	R	Ipg (m/Km)
1201	1500	250	1,81	111,55	13,45	0,15	0,247	0,560	21,850	12,274
1202	1843	236	1,54	99,47	18,53	0,21	0,249	0,563	24,220	13,686
1203	1566	232	1,64	100,4	15,60	0,18	0,311	0,629	22,330	12,150
1204	1500	231	1,67	100,59	14,91	0,18	0,355	0,672	21,850	9,476
1205	1376	241	1,82	107,73	12,77	0,15	0,550	0,874	21,850	30,838
0301	386	94	1,34	36,39	10,61	0,27	0,618	0,887	11,090	18,580
0302	915	147	1,36	57,62	15,88	0,27	0,706	0,616	11,090	32,020
0303	574	147	1,72	64,62	8,88	0,17	1,302	1,288	13,520	30,711
0304	488	152	1,93	68,92	7,08	0,13	0,195	0,498	12,460	23,161
0305	361	92	1,36	35,96	10,04	0,27	0,578	0,858	10,720	19,837
0306	485	142	1,81	63,34	7,66	0,15	0,776	0,994	12,430	24,601
0307	986	157	1,40	62,80	15,70	0,25	0,587	0,864	17,720	36,164
0308	201	87	1,72	38,24	5,26	0,17	1,189	1,231	8,000	11,513
0309	1166	170	1,39	67,80	17,20	0,25	0,528	0,820	19,270	14,264
0310	135	75	1,81	33,47	4,03	0,15	0,255	0,570	6,560	10,707
0311	1124	168	1,40	67,30	16,70	0,25	0,972	1,113	18,920	28,102
0312	722	135	1,41	54,17	13,33	0,25	0,451	0,758	15,160	11,594
0313	480	109	1,39	43,45	11,05	0,25	1,330	1,301	12,360	16,908
0314	226	181	3,37	87,93	2,57	0,04	0,102	0,361	8,480	27,170
0315	857	184	1,76	81,48	10,52	0,16	0,463	0,768	16,520	20,167
0316	734	163	1,68	71,19	10,31	0,17	0,635	0,898	15,270	30,939
0317	847	152	1,46	62,43	13,57	0,23	0,941	1,095	16,420	11,068
0318	432	125	1,68	54,59	7,91	0,17	0,593	0,869	11,730	12,289
1401	1739	221	1,48	91,49	19,01	0,22	1,27	1,27	23,530	27,196
1402	1172	190	1,55	80,43	14,57	0,20	0,33	0,64	19,310	12,974
1403	1107	167	1,41	66,97	16,53	0,25	0,43	0,74	18,770	15,174
1404	818	128	1,25	46,35	17,65	0,31	0,49	0,79	16,140	13,782
1405	556	132	1,57	56,09	9,91	0,20	0,58	0,86	13,300	28,796
1406	1060	176	1,51	73,60	14,40	0,22	0,57	0,85	18,370	8,767

1001	1067	157	1,35	61,01	17,49	0,27	0,34	0,66	18,430	19,686
1002	1102	158	1,33	60,91	18,09	0,28	0,34	0,66	18,730	19,765
1003	1241	151	1,20	51,32	24,18	0,34	0,40	0,71	19,880	12,788
1004	1150	182	1,50	75,84	15,16	0,22	0,32	0,64	19,130	16,593
1005	1835	188	1,23	66,34	27,66	0,33	0,65	0,91	24,170	23,358
1006	1091	155	1,31	59,01	18,49	0,29	0,37	0,69	18,640	14,153
1007	1339	170	1,30	64,12	20,88	0,29	0,84	1,03	20,650	19,295
0701	1557	212	1,50	88,38	17,62	0,22	0,74	0,97	22,260	27,088
0702	990	147	1,31	55,74	17,76	0,29	1,18	1,22	17,750	27,216
0703	1602	230	1,61	98,78	16,22	0,19	1,31	1,29	22,580	18,526
0704	756	135	1,37	53,32	14,18	0,26	0,37	0,69	15,510	20,009
0705	1368	194	1,47	79,87	17,13	0,23	0,65	0,91	20,870	22,771
0706	975	144	1,29	53,92	18,08	0,30	0,36	0,68	17,620	23,311
0707	2367	242	1,39	96,46	24,54	0,25	0,70	0,95	27,450	41,768

Descripteurs de réseau : Ces descripteurs indiquent le réseau hydrographique: Longueur du talweg principal (Lt) ; Longueur totale du réseau ($\sum Li$); Rapport de confluence (Rc) ; Rapport des longueurs (Rl) ; Longueur de ruissellement (Lr) ; Ordre du cours d'eau (i) ; Coefficient de sinuosité (Cs) ; Typologie de réseau (Type) ; Pente du cours d'eau principal (Ptce) ; Coefficient de boisement (Cb).

Tableau 2 : Descripteurs de réseau

Code	Lt (Km)	$\sum Li$ (Km)	Rc	Rl	Lr	i	Cs	Typologie du réseau	Ptce %	Cb
1201	64,3	662,21	4,67	2,68	5,13	4	0,75	Dendritique	0,70	0,17
1202	57,05	1149,27	3,94	1,98	2,572	5	0,80	Parallèle	0,50	0,09
1203	65,78	764,85	4,91	2,13	4,192	4	0,803	Dendritique	0,40	0,168
1204	58,17	597,68	2,67	1,64	5,717	5	0,908	Parallèle	0,40	0,186
1205	13,25	623,91	3,14	1,47	4,864	5	0,783	Dendritique	0,40	0,294
0301	38,79	275,29	4,86	2,88	1,668	4	0,448	Rectangulaire	3,70	0,345
0302	33,87	665,38	3,78	2,01	1,899	5	0,582	Rectangulaire	2,70	0,141
0303	16,41	427,89	5,19	1,41	1,800	4	0,756	Rectangulaire	0,70	0,584
0304	38,5	422,81	3,59	2,24	1,332	5	0,522	Treillis	0,70	0,441
0305	37,13	301,04	4,44	2,42	1,438	4	0,751	Rectangulaire	1,40	0,584
0306	8,61	297,89	4,45	1,59	2,651	4	0,784	Rectangulaire	0,40	0,794
0307	4,80	705,97	3,66	1,67	1,951	6	0,860	Dendritique	1,30	0,288
0308	12,33	140,97	4,12	1,91	2,033	3	0,693	Rectangulaire	2,50	0,274
0309	58,14	920,14	3,96	2,27	1,606	5	0,629	Dendritique	0,50	0,085
0310	10,45	90,75	5,50	1,60	2,213	2	0,505	Dendritique	0,45	0,422
0311	15,4	906,23	3,80	1,90	1,538	6	0,847	Dendritique	0,50	0,171
0312	45,24	709,46	3,23	1,70	1,036	6	0,655	Dendritique	0,10	0,421
0313	11,18	243,87	3,97	1,99	3,874	3	0,899	Dendritique	0,71	0,106
0314	3,65	211,28	6,53	1,48	1,144	3	0,825	Dendritique	1,70	0,270
0315	38,91	599,1	3,93	2,03	2,046	5	0,616	Dendritique	0,40	0,467
0316	8,13	545,3	3,71	1,60	1,812	6	0,900	Dendritique	2,80	0,703
0317	23,6	404,73	2,50	1,18	4,380	5	0,556	Dendritique	0,30	0,204
0318	13,17	207,84	5,82	1,55	4,320	6	0,866	Dendritique	0,13	0,657

Influence de la structure du réseau hydrographique sur la réponse hydrologique « cas des bassins du nord-est de l'Algérie ».

1401	5,62	1158,67	2,92	1,20	2,25	6	0,756	Treillis	0,60	0,033
1402	64,35	987	4,19	2,30	1,41	6	0,571	Treillis	0,90	0,019
1403	40,81	804,47	3,87	2,24	1,89	5	0,580	Treillis	0,80	0,072
1404	57,15	699,04	4,16	2,00	1,37	6	0,611	Dendritique	0,30	0,071
1405	9,14	328,78	2,97	1,44	2,86	5	0,714	Dendritique	0,50	0,241
1406	77,59	812,36	3,96	2,40	1,70	6	0,600	Dendritique	0,10	0,104
1001	46,50	765,26	5,47	2,91	1,94	5	0,664	Dendritique	0,59	0,143
1002	40,29	848,61	3,96	2,08	1,69	5	0,804	Dendritique	2,00	0,103
1003	16,45	706,16	3,42	1,49	3,09	5	0,879	Parallèle	0,70	0,057
1004	53,74	800,01	4,09	2,07	2,07	5	0,634	Dendritique	0,80	0,057
1005	35,33	1276,26	4,58	1,85	2,07	5	0,560	Dendritique	0,90	0,033
1006	59,83	906,77	4,17	2,25	1,45	6	0,669	Dendritique	0,80	0,034
1007	55,28	1157,77	4,21	1,37	1,33	6	0,725	Rectangulaire	0,30	0,403
0701	2,39	755,28	5,50	1,07	4,25	5	0,921	Multi-bassins	0,43	0,028
0702	3,54	465,93	5,09	1,08	4,51	4	0,864	Multi-bassins	0,24	0,121
0703	40,23	897,98	6,49	2,36	3,18	4	0,641	Multi-bassins	0,47	0,029
0704	35,39	658,5	3,66	1,73	1,32	5	0,580	Parallèle	0,70	0,050
0705	16,42	738,75	3,90	1,69	3,43	5	0,862	Multi-bassins	0,30	0,017
0706	8,53	692,92	3,21	1,74	1,98	6	0,887	Dendritique	0,40	0,081
0707	0,93	1211,54	5,19	1,41	3,82	6	0,968	Parallèle	0,35	0,077

Descripteurs de volume : Ces descripteurs désignent la distribution du relief et du système de pente au niveau du bassin versant : Temps de concentration (Tc) ; Coefficient de torrentialité (Ct) ; Rapport du relief (RLb) ; Dénivelée Spécifique (Ds) ; Classe du relief (Ri) ; Relief total (H) ; Densité de drainage (Dd) ; Rapport de finesse (Rfn) ; Constante d'entretien du cours d'eau (Cec) ; fréquence du cours d'eau (Fi) ; Longueur du BV (Lbv) ; Altitude minimale, maximale et moyenne (Hmin, Hmax, Hmoy) ; Relief relatif (Rrl).

Tableau 3 : Descripteurs de volume

SBV	Tc (h)	Ct	Ds	H	Dd Km ⁻¹	Rfn	Cec	Fi	Lbv (km)	Hmoy (m)
1201	14,06	0,03	475,39	1,00	0,44	0,31	2,27	0,07	78	750
1202	14,76	0,08	587,55	0,95	0,62	0,36	1,60	0,12	86	1114
1203	14,44	0,03	480,82	0,99	0,49	0,31	2,05	0,07	71	1131
1204	16,00	0,02	367,02	0,72	0,40	0,28	2,39	0,04	65	814
1205	8,49	0,03	1143,90	1,23	0,45	0,21	2,21	0,07	50	863
0301	5,80	0,18	365,03	1,74	0,71	0,27	1,29	0,25	25	870
0302	6,80	0,13	725,22	2,00	0,73	0,24	1,38	0,17	36	1002
0303	5,50	0,19	735,79	1,50	0,75	0,14	1,34	0,25	21	750
0304	5,84	0,25	511,64	1,96	0,87	0,33	1,15	0,29	50	979
0305	5,42	0,20	376,91	1,50	0,83	0,27	1,20	0,24	25	750
0306	5,65	0,11	541,77	1,00	0,61	0,18	1,63	0,18	25	500
0307	6,64	0,13	1135,56	1,25	0,72	0,26	1,40	0,18	41	625
0308	5,31	0,18	163,22	0,63	0,70	0,15	1,43	0,25	13	313
0309	11,50	0,20	487,07	1,18	0,79	0,28	1,27	0,25	47	592
0310	4,52	0,16	124,40	0,59	0,67	0,31	1,49	0,24	23	296
0311	8,04	0,27	942,15	1,19	0,81	0,20	1,24	0,34	34	615

0312	10,04	0,37	311,52	0,95	0,98	0,30	1,02	0,37	40	481
0313	6,78	0,10	370,44	0,74	0,51	0,17	1,97	0,20	19	379
0314	3,67	0,53	408,45	1,00	0,93	0,26	1,07	0,57	47	500
0315	8,29	0,16	590,37	1,40	0,70	0,23	1,43	0,23	43	707
0316	6,19	0,19	838,21	1,18	0,74	0,21	1,35	0,26	34	599
0317	11,12	0,06	322,13	0,70	0,48	0,20	2,09	0,12	30	291
0318	7,54	0,08	255,43	0,58	0,48	0,22	2,08	0,16	27	291
1401	10,17	0,08	1134,10	0,93	0,67	0,17	1,50	0,12	37	1164
1402	12,09	0,14	444,17	1,17	0,84	0,32	1,19	0,17	60	833
1403	10,86	0,15	504,85	1,00	0,73	0,31	1,38	0,20	51	750
1404	9,80	0,20	394,18	1,30	0,85	0,32	1,17	0,24	41	740
1405	5,59	0,09	679,01	1,17	0,59	0,23	1,69	0,15	31	667
1406	13,98	0,15	285,42	0,97	0,77	0,24	1,30	0,20	43	486
1001	9,36	0,12	643,05	1,43	0,72	0,36	1,39	0,17	56	982
1002	9,50	0,15	656,14	1,29	0,77	0,36	1,30	0,19	57	775
1003	12,53	0,06	450,50	0,55	0,57	0,37	1,76	0,11	56	978
1004	10,59	0,11	562,71	1,30	0,70	0,33	1,44	0,16	60	740
1005	11,27	0,13	1000,57	1,24	0,70	0,28	1,44	0,19	53	1119
1006	11,16	0,20	467,48	1,23	0,83	0,35	1,20	0,24	54	745
1007	10,59	0,17	706,06	1,46	0,87	0,24	1,15	0,20	40	735
0701	9,64	0,05	1068,85	0,88	0,49	0,22	2,06	0,11	46	1313
0702	7,67	0,06	856,34	0,91	0,47	0,20	2,12	0,12	29	1235
0703	11,83	0,10	741,51	1,09	0,56	0,15	1,78	0,17	35	1293
0704	7,82	0,19	550,16	1,36	0,87	0,33	1,15	0,21	45	1556
0705	9,86	0,09	842,23	0,96	0,54	0,24	1,85	0,16	46	1258
0706	8,22	0,10	727,90	0,88	0,71	0,36	1,41	0,14	52	1313
0707	9,57	0,06	2032,09	1,31	0,51	0,24	1,95	0,12	58	1439

Méthodes

Les descripteurs physiques et morphométriques des bassins versants sont utilisés pour classer les bassins versants de l'Est Algérien. La méthode utilisée ici pour la classification repose sur les lois de Horton (1945) modifiées par Strahler (1957). L'objectif en est d'identifier les principaux réseaux de drainages des bassins versants. Les descripteurs sont ensuite séparés en trois groupes : les descripteurs de forme, de réseau et de volume. Une Analyse en Composante Principale (ACP) est ensuite appliquée à ces variables afin de déterminer les affinités entre les descripteurs morphométriques des sous bassins versants, et d'en déduire ceux des trois catégories précédemment qui sont plus caractéristiques avec les débits max des crues et qui peuvent avoir un impact sur le phénomène d'inondation. Les descripteurs morphologiques et hydrologiques des bassins versants constituent ainsi les données du modèle de l'ACP.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) fait partie du groupe des méthodes descriptives multidimensionnelles appelées méthodes multifactorielles (Ababou, 2007), C'est une méthode d'analyse de données qui

consiste à synthétiser l'information contenue dans un tableau croisant des données d'individus et des variables quantitatives (Bouroche et Saporta, 1980), Cette méthode est caractérisée par :

- Une simplicité mathématique « Matrice de (n) individus, (n) variables » ;
- Une puissance car elle peut offrir, en quelques opérations seulement, un résumé et une vue complète des relations existantes entre les variables et les individus ;
- Une flexibilité « Souplesse d'application » qui se traduit par la diversité de ses mises en œuvre, qui touchent plusieurs domaines,

RESULTATS ET DISCUSSION

Classification du réseau hydrographique

La classification selon Strahler a permis la hiérarchisation des réseaux hydrographiques des bassins. Les ordres des cours d'eau les plus élevés :

- Ordre $i = 6$, pour les oueds de Kebir Rhumel ; El Kebir ; Seybousse ; Mafragh et Boulfreiss.
- Ordre $i = 5$ pour les oueds Mellegue ; Djendjen ; Guebli ; Safsaf ; Bounamoussa; Kebir Est ; Bouhamdane ; Maleh ; Endja ; Rhumel amont et aval ; Boumerzoug ; Chemora et Boulhilet (figure 7).

La classification présentée selon la longueur des cours d'eau, où les plus longs sont : Kebir-Rhumel, Seybousse et Mellegue (figure 8). La majorité des cours d'eau est de nature temporaire (figure 9). Une autre classification est donnée d'après la typologie des réseaux hydrographiques selon Deffontaines (1990) : 23 réseaux de drainage de type dendritique; 7 réseaux de drainage de type rectangulaire ; 5 réseaux de drainage de type parallèle ; 4 réseaux de drainage de type treillis ; 4 réseaux de drainage de type multi bassins (figure 10).

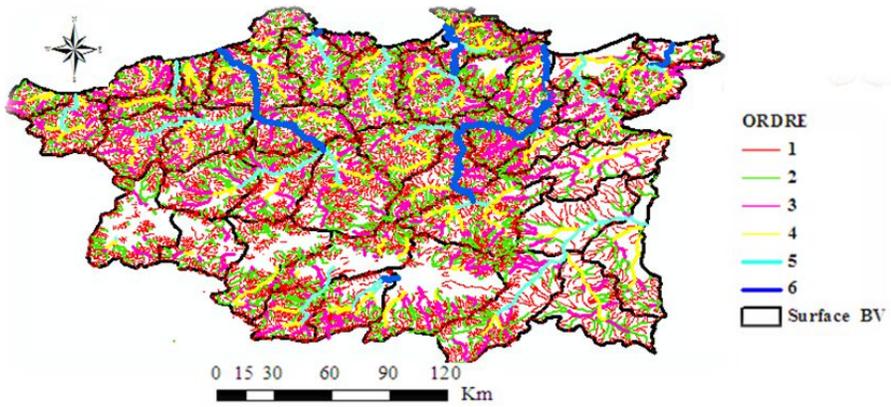


Figure 7 : Classification selon l'ordre du cours d'eau

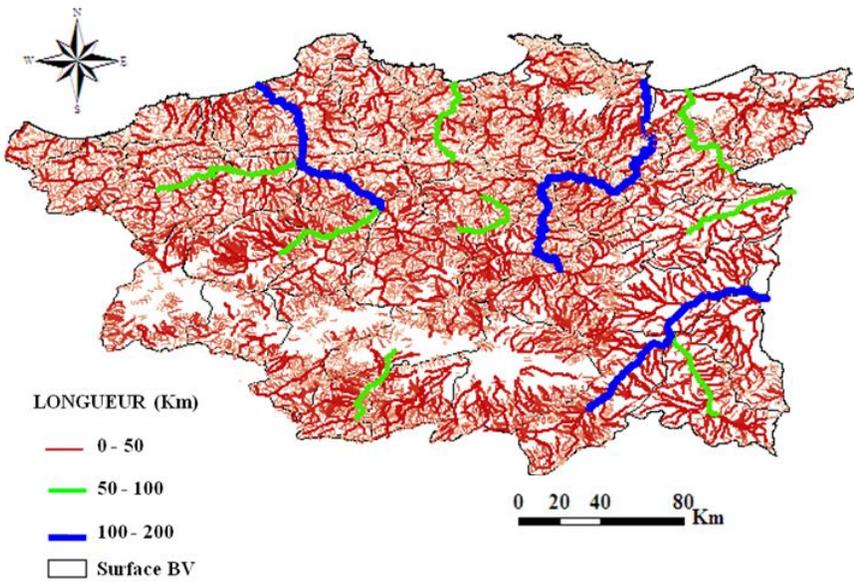


Figure 8 : Classification selon la longueur du cours d'eau

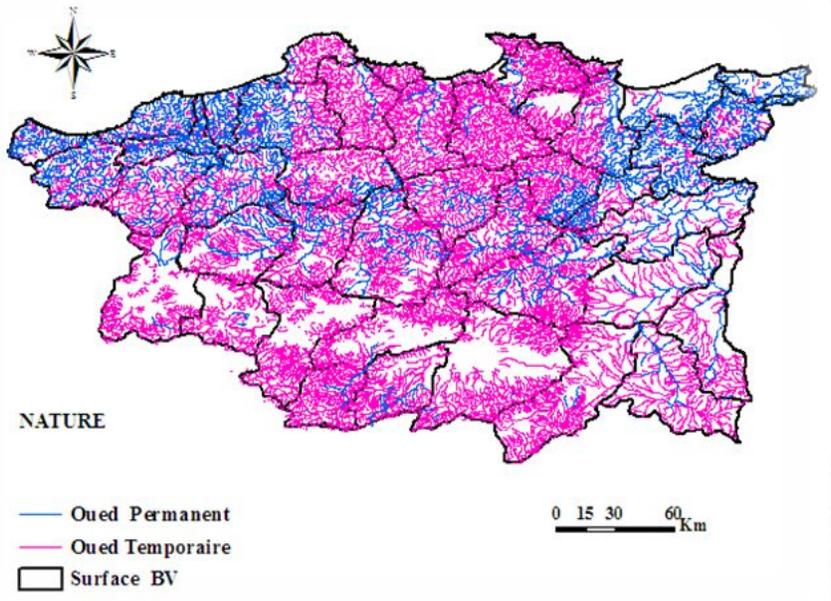


Figure 9 : Classification selon la nature du cours d'eau

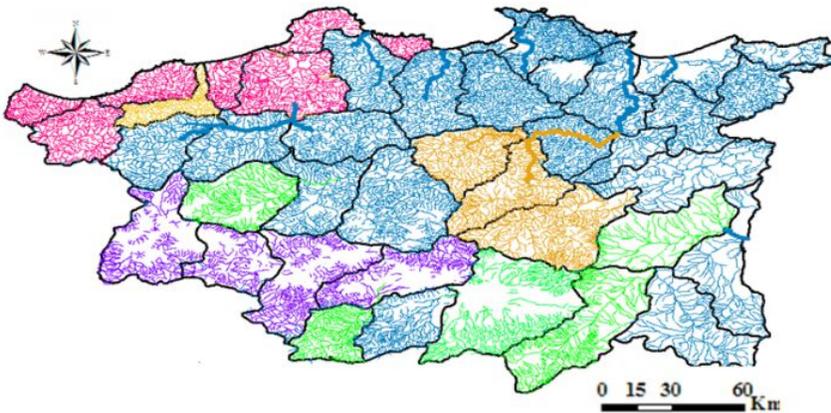


Figure 10 : Classification du réseau hydrographique selon le type de drainage (Réseau dendritique : Bleu; Réseau parallèle : Vert; Réseau treillis : Marron; Réseau rectangulaire : Rose; Réseau Multi bassins : Violet)

Descripteurs de forme

Les trois premiers facteurs (axes) permettent de représenter le maximum d'informations car ils expriment plus 82% de la variance totale avec 38,51% pour le premier facteur ; 26,12% pour le second facteur ; 17,41% pour le troisième facteur (figure 11).

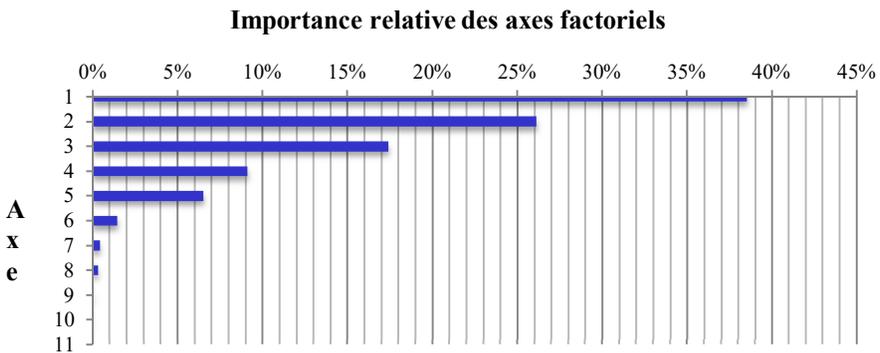


Figure 11 : Courbe des valeurs des variabilités

Tableau 4 : Matrice de corrélation des descripteurs de forme

Variables	Qmax (m ³ /s)	S (Km ²)	P (Km)	Kc	Leq (Km)	Leq (Km)	R cir	Ff	Re	R
Qmax	1	0,243	0,261	-0,123	0,232	0,199	0,042	0,083	0,069	0,248
S	0,243	1	0,848	-0,324	0,709	0,819	0,281	0,006	0,042	0,971
P	0,261	0,848	1	0,142	0,972	0,450	-0,210	-0,112	-0,102	0,838
Kc	-0,123	-0,324	0,142	1	0,327	-0,657	-0,867	-0,231	-0,303	-0,356
Leq	0,232	0,709	0,972	0,327	1	0,228	-0,426	-0,132	-0,134	0,700
Leq	0,199	0,819	0,450	-0,657	0,228	1	0,755	0,039	0,085	0,816
Rcir	0,042	0,281	-0,210	-0,867	-0,426	0,755	1	0,124	0,170	0,302
Ff	0,083	0,006	-0,112	-0,231	-0,132	0,039	0,124	1	0,969	-0,008
Re	0,069	0,042	-0,102	-0,303	-0,134	0,085	0,170	0,969	1	0,070
R	0,248	0,971	0,838	-0,356	0,700	0,816	0,302	-0,008	0,070	1
Ipg	0,261	0,155	0,160	0,088	0,146	0,108	-0,026	0,270	0,232	0,099

L'analyse de la matrice de corrélation, montre que la surface du bassin versant est très bien corrélée positivement avec le périmètre, la longueur et largeur équivalente et le rayon du cercle. Le périmètre est très bien corrélé positivement avec longueur équivalente et le rayon du cercle. Le coefficient de compacité est négativement corrélé avec la largeur équivalente et le rapport de circularité. La longueur équivalente est bien corrélée positivement avec le rayon du cercle. La largeur équivalente est très bien corrélée positivement avec le rayon du cercle et le rapport de circularité. Le facteur de forme est très bien corrélé positivement avec le rapport d'élongation (figure 12-a).

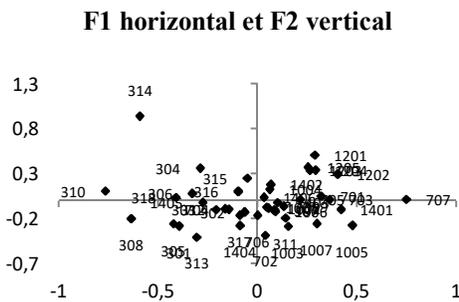


Figure 12-a : Coordonnées des observations

(Axes F1 et F2 : 64,63%)
F1 (38,51%) et F2 (26,12%)

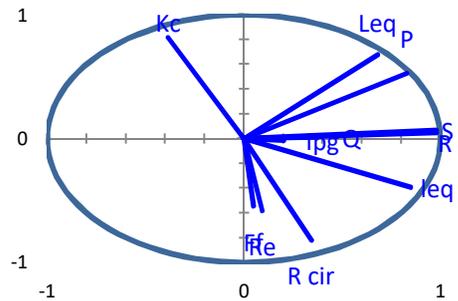


Figure 12-b Corrélation entre les variables et les axes

(F1 et F2 : 64,63%)

Ces résultats montrent que les axes F1 et F2 sont bien corrélés avec les variables descripteurs de forme avec 65% variance expliquée (figure 12-b).

Descripteurs de réseau

Les six premiers facteurs (axes) permettent de représenter le maximum d'informations car ils expriment 84% de la variance totale avec : 24,20% pour le premier facteur ; 20,86% pour le second facteur ; 12,93% pour le troisième facteur ; 10,64% pour le quatrième facteur ; 8,26% pour le cinquième facteur ; 7,13% pour le sixième facteur (figure 13).

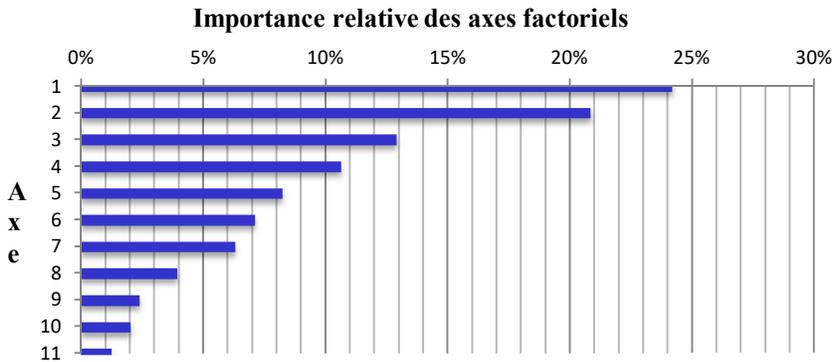


Figure 13 : Courbe des valeurs des variabilités

Tableau 5 : Matrice de corrélation des descripteurs de réseau

Variables	Q (m ³ /s)	Lt (km)	ΣLi (km)	Rc	RL	L ruis (km)	(i)	Cs	Type	Ptce	Cb
Q	1	0,207	0,353	-0,20	0,060	-0,12	0,441	-0,00	0,204	-0,03	0,12
Lt	0,207	1	0,375	-0,08	0,662	-0,17	0,195	-0,47	0,001	-0,10	-0,24
ΣLi	0,353	0,375	1	-0,136	0,059	-0,114	0,617	0,048	0,254	-0,264	-0,56
Rc	-0,204	-0,086	-0,136	1	0,156	0,005	-0,429	0,036	0,110	0,055	0,104
R L	0,060	0,662	0,059	0,156	1	-0,301	-0,084	-0,475	-0,067	0,295	-0,12
L ruis	-0,124	-0,173	-0,114	0,005	-0,301	1	-0,177	0,470	0,000	-0,325	-0,10
(i)	0,441	0,195	0,617	-0,429	-0,084	-0,177	1	0,119	0,090	-0,220	-0,16
Cs	-0,005	-0,471	0,048	0,036	-0,475	0,470	0,119	1	-0,029	-0,174	0,035
Type	0,204	0,001	0,254	0,110	-0,067	0,000	0,090	-0,029	1	-0,082	-0,01
Ptce	-0,032	-0,102	-0,264	0,055	0,295	-0,325	-0,220	-0,174	-0,082	1	0,169
Cb	0,128	-0,247	-0,567	0,104	-0,122	-0,106	-0,162	0,035	-0,018	0,169	1

L'analyse de la matrice de corrélation, montre que la longueur du talweg principal est corrélée positivement avec le rapport des longueurs et la longueur totale du réseau est corrélée positivement avec l'ordre du cours d'eau (figure 14-a).

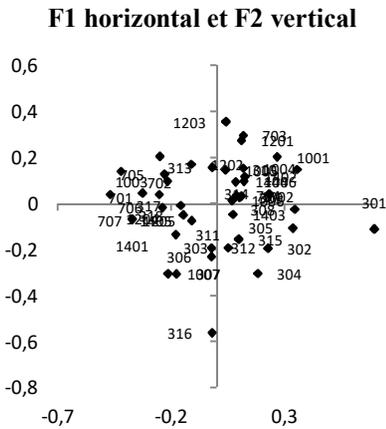


Figure 14-a : Coordonnées des observations

(Axes F1 et F2 : 45,07%)
F1 (24,20%) et F2 (20,86%)

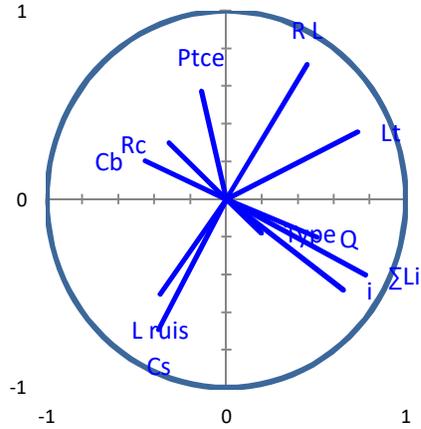


Figure 14-b : Corrélation entre les variables et les axes

(F1 et F2 :45,07%)

On distingue que les axes F1 et F2 sont moyennement corrélés avec les variables descripteurs de réseau avec 45% (figure 14-b).

Descripteurs de volume

Les quatre premiers facteurs (axes) permettent de représenter le maximum d'informations car ils expriment plus 82% de la variance totale avec : 35,35% pour le premier facteur ; 23,83% pour le second facteur ; 15,42% pour le troisième facteur ; 8,35% pour le quatrième facteur (figure 15).

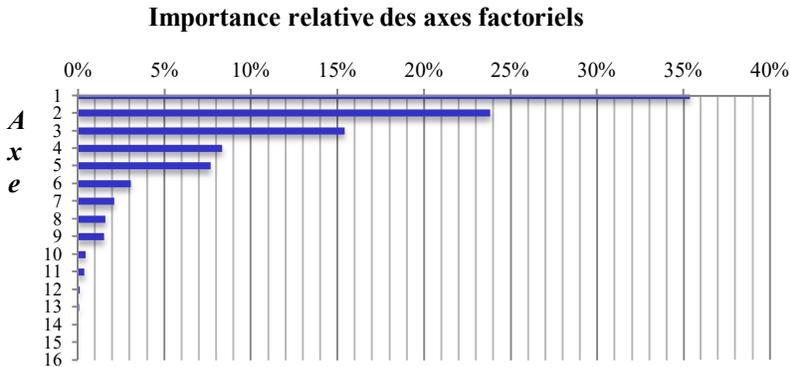


Figure 15 : Courbe des valeurs des variabilités

Dans le tableau 6, nous avons reporté la matrice de corrélation de l'ACP. Vu le nombre important de descripteurs et pour plus de lisibilité du tableau, nous en avons représenté seulement les plus indicatifs.

Tableau 6 : Matrice de corrélation des descripteurs de volume

Variable	Q (m ³ /s)	Tc (h)	Ct	Ds	Dd (Km ⁻¹)	Rfn	Fi	Lb (Km)	Hmoy (m)	Rrl
Q	1	0,14	0,08	0,29	0,18	-0,12	0,05	0,09	0,01	1
Tc	0,14	1	-0,45	-0,01	-0,29	0,35	-0,54	0,73	0,26	0,14
Ct	0,08	-0,45	1	-0,26	0,83	0,07	0,98	-0,23	-0,33	0,08
Ds	0,29	-0,01	-0,26	1	-0,22	-0,22	-0,26	0,17	0,58	0,29
Dd	0,18	-0,29	0,83	-0,22	1	0,29	0,76	-0,12	-0,16	0,18
Rfn	-0,12	0,35	0,07	-0,22	0,29	1	-0,04	0,68	0,22	-0,12
Fi	0,05	-0,54	0,98	-0,26	0,76	-0,04	1	-0,35	-0,38	0,05
Lbv	0,09	0,73	-0,23	0,17	-0,12	0,68	-0,35	1	0,43	0,09
Hmoy	0,01	0,26	-0,33	0,58	-0,16	0,22	-0,38	0,43	1	0,01
Rrl	0,12	-0,66	0,26	-0,06	0,29	-0,46	0,33	-0,71	-0,17	0,12

L'analyse de la matrice de corrélation, montre que le temps de concentration est bien corrélé positivement avec la longueur du bassin versant. Le coefficient de torrentialité est corrélé positivement avec la densité de drainage et la fréquence du cours d'eau, et négativement corrélé avec la constante d'entretien du cours d'eau. La dénivelée spécifique est corrélée positivement avec la classe du relief

les articulations à angles droits, caractérisées par des altitudes moyennes à élevées, des pentes abruptes, un sol constitué essentiellement par des calcaires, Gneiss et Granite, et des précipitations élevées. Le troisième type des réseaux hydrographiques est le treillis qui se situe dans les bassins dominés par des altitudes et des pentes moyennes, un sol de formations calcaires et marnes, et des précipitations moyennes (Hauts plateaux Constantinois). Le quatrième type dit multi-bassins se développe dans les endroits dominés par des altitudes relativement élevées et des pentes moyennes, un sol constitué par des calcaires et alluvions et des précipitations moyennes. Ce type est situé généralement au niveau des bassins (Hauts plateaux Constantinois et Medjerda) où se multiplient les hautes plaines formant plusieurs exutoires qui sont des plans d'eau (lac, garâet, sebkha. Quant au cinquième et dernier type, réseau parallèle, celui-ci se localise au niveau des bassins caractérisés par des altitudes élevées, des pentes fortes et accentuées, et une pluviométrie moyenne.

Le débit le plus important est constaté au niveau des sous bassins versants côtiers Ouest et Est où se développent respectivement des réseaux hydrographiques de type rectangulaire et dendritique. Pour les sous bassins versants de la partie médiane, les débits sont favorisés par les réseaux de type treillis. Quant à la partie Sud, le débit est relativement important où se développent des réseaux de type parallèle.

La mise en œuvre de la méthode ACP, sur les différents descripteurs morphométriques (de forme, de réseau et de volume), a permis de traduire les résultats obtenus et de conclure que le débit est en bonne corrélation avec les descripteurs de forme (65%) et de volume (60%). Mais on constate une faible corrélation aux descripteurs de réseau (45%). Pour mieux comprendre l'impact des descripteurs sur le risque hydrologique, on doit se focaliser sur les descripteurs ayant une forte corrélation avec le débit.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABABOU R., 2007, Hydrologie statistique Thèse de Doctorat. Département de formation Hydraulique et Mécanique des fluides, Inp-Enseeiht. Toulouse, France, A.N.R.H. (Agence Nationale des Ressources Hydriques). 1951-1952,1976-1977,1986-1987,1991-1992. Annales hydrologiques de l'Algérie. 152p, 261p, 257p, 254 p
- ARGIALAS D.P., LYON J.G., MINTZER O.W. 1988. Quantitative description and classification of drainage patterns. Photogramm, Eng, Remote Sens, 54, pp 505-509,

- BOUROCHE J, M., SAPORTA G., 1980. L'analyse des données. Paris: Presses Universitaire de France, 127 p.
- DEFFONTAINES B., 1990. Développement d'une méthodologie morpho-tectonique et morphostructurale; analyse des surfaces enveloppes, du réseau hydrographique et des modèles numériques de terrains; Application au Nord- Est de la France. Thèse Univ Paris VI. France. 230 p
- HAUCHARD E., 2001. De la dynamique non linéaire à la dynamique du relief en géomorphologie – Application aux bassins versants de la marge Nord-occidentale du Bassin de Paris. Thèse de Doctorat. Université de Rouen. 3 Volume 2001, 730 p.
- HORTON R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America 56. pp 275-370
- ICHOKU C., CHOROWICZ, J., 1994. A numerical approach to the analysis and classification of channel network patterns. Water Resources Research-30 (2), pp 161-174
- JUNG K., OUARDA T.B.M.J., GHEDIRA H., 2015. Classification of drainage network types in arid and semi- arid regions. Internal Report. Masdar Institute of Science and Technology.
- JUNG K., MARPU P.R., OUARDA T.B.M.J., 2015. Improved classification of drainage networks using junction angles and secondary tributary lengths. Geomorphology. 239, pp 41-47,
- KIM J.C., JUNG K., 2015. Fractal Tree Analysis of Drainage Patterns. Water Resources Management 29 (4), pp 1217-1230
- MEJIA A, I., NIEMANN J.D., 2008. Identification and characterization of dendritic, parallel, pinnate, rectangular, and trellis networks based on deviations from planform self-similarity. Journal of Geophys Res. 113
- STRAHLER A. N., 1957. Quantitative analysis of watershed Geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union 38 (6) pp 913–920