



ETUDE DE LA VARIABILITE ET DE LA STRUCTURE DE PLUIE ANNUELLE DANS UNE REGION SEMI-ARIDE : CAS DU BASSIN VERSANT DE LA MACTA (NORD-OUEST ALGERIEN)

CHIBANE B.¹, BENTCHAKAL M.², MEDJERAB A.², BENFARES B.³

¹Laboratoire de Géo-Environnement. Université des Sciences et de la Technologie
Houari-Boumediene BP : 32 El – Alia, Bab-Ezzouar, 16111, Alger- Algérie.

²Laboratoire de Recherche et d'Etudes en Aménagement et Urbanisme
(REAU), Université des Sciences et de la Technologie Houari-Boumediene BP : 32 El –
Alia, Bab-Ezzouar, 16111, Alger- Algérie.

³Agence Nationale des Barrages et Transferts., Alger, Algérie

chibanebrahim@hotmail.com

RESUME

L'objectif de cet article est de caractériser la variabilité de la pluie dans le bassin versant de la Macta. D'une superficie de 14390 Km², le bassin versant de la Macta est située au nord-ouest de l'Algérie. Les données sont récoltées sur un réseau de 48 pluviomètres. Cette caractérisation permettra de mieux gérer l'incertitude, liée au caractère aléatoire, des précipitations et de mieux prévoir les risques qui peuvent y être engendrés.

Les fluctuations dans la répartition annuelle des hauteurs de pluie sont considérables et préoccupantes pour le développement et la mise en valeur des terres agricoles.

L'évidence des premiers caractères du régime de la distribution géographique des précipitations en Algérie a été mise, uniquement, par l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Ce travail pose la même problématique, mais en utilisant deux techniques statistiques complémentaires : l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD).

Dans cette étude, la régionalisation de la pluie annuelle est approchée par l'analyse des proximités sur le premier facteur principal (ACP). Les régions obtenues seront validées par la méthode de l'AFD ; plus appropriée. L'étude de la structure de la pluie est effectuée à l'aide du variogramme moyen. L'isotropie du champ pluviométrique est analysée par des variogrammes directionnels. L'optimisation de la carte pluviométrique est dressée par Krigeage en voisinage

© 2015 Chibane et al. Ceci est un article Libre Accès distribué sous les termes de la licence Creative Commons Attribution (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), qui permet l'utilisation sans restriction, la distribution et la reproduction sur tout support, à condition que le travail original soit correctement cité.

glissant, elle sera accompagnée de la carte d'estimation des erreurs d'interpolation.

Mots clés : Bassin versant de la Macta, zone semi-aride, pluies annuelles, méthodes multidimensionnelles, régionalisation.

ABSTRACT

The social and economic role of precipitation is crucial in a region such as the watershed Macta, subjects to influences in turn Mediterranean and Sahara. The rainfall varies from one point to another, and its distribution over the twelve months of the year fluctuates considerably, this excessive concern irregularity anyone interested in the study of precipitation in order to development and enhancement of agricultural land. In this study, we use Principal Component Analysis (PCA) to regionalize the annual rainfall by analyzing on the first principal factor. The regions obtained are validated by a more appropriate method, which is the Factor Analysis (CVA). The study of the structure of the rain is done by using the aver variogram. The isotropy of the rainfall field is analyzed by directional variograms. An optimal map of the rainfall is derived by Kriging neighborhood in rolling; a map to estimate interpolation errors will accompany it.

Keywords: Regionalization, multivariate methods, annual rainfall, the watershed of the Macta, North-West Algerian.

INTRODUCTION

Les précipitations sont des processus variables aussi bien dans l'espace que dans le temps. Lorsque cette variabilité est caractérisée par une certaine cohérence, celle-ci définit leur structure. En hydrométéorologie, dans le cadre de l'interpolation des champs pluviométriques, il a été montré que les méthodes stochastiques, telles que celles utilisées en géostatistique, donnent de meilleurs résultats que les méthodes déterministes ; du fait qu'elles tiennent compte de la structure spatiale des champs considérés (Obled, 1982 ; Lebel, 1984). Cette approche proposée par Matheron en 1965, dans le cadre de la théorie des variables régionalisées, était initialement destinée au domaine minier. Actuellement, son champ d'application s'est élargi à différents domaines, dont celui des sciences de l'eau (Delhomme, 1976).

La pénurie de l'eau constitue un problème essentiel pour les vastes plaines agricoles situées dans la zone d'étude. Les conditions climatiques arides et semi-arides, qui règnent à Mohammedia, Mascara, et Sidi Bel Abbés ont pour conséquence une forte irrégularité spatio-temporelle de la ressource en eau

superficielle. Une analyse des risques culturaux passe donc obligatoirement par une analyse de la variabilité pluviométrique qui en plus de répondre aux besoins essentiels en eau des plantes, régit la réponse aux fertilisants.

PRESENTATION DE LA REGION DE L'ETUDE

Situé au Nord de l'Algérie, le bassin versant de la Macta est compris entre la latitude 34° 28' et 35° 87' Nord et la longitude 0° 52' et 1° 2' Ouest (Figure 1). Il est drainé par deux principaux cours d'eau : l'Oued Mebtouh, à l'Ouest, et l'Oued El Hammam à l'Est. Il associe une basse plaine littorale séparée de la mer par un cordon dunaire. Elle présente des altitudes le plus souvent inférieures à 9 m ; ce qui favorise la présence de plans de marais et de steppes plus ou moins humides. Des massifs, orientés SW-NE, qui confèrent à la plus grande partie du bassin versant un caractère montagneux : les monts de Tessala (1061 m) bordent le bassin versant à l'Ouest et au Nord-Ouest. Au Sud-Ouest, ils sont relayés par la partie orientale des monts de Tlemcen (1412 m). Les monts de Beni-Chougrane (932 m) occupent une bonne partie de la zone moyenne du bassin versant. Celui-ci remonte, à l'Est, jusqu'aux monts de Saida (1021 m) et, au sud, jusqu'aux monts de Dhaya (1455). Et enfin, de larges plaines alluviales insérées dans le massif montagneux : celles de Sidi Bel Abbès, de direction S-N, drainés par l'Oued Mekarra.

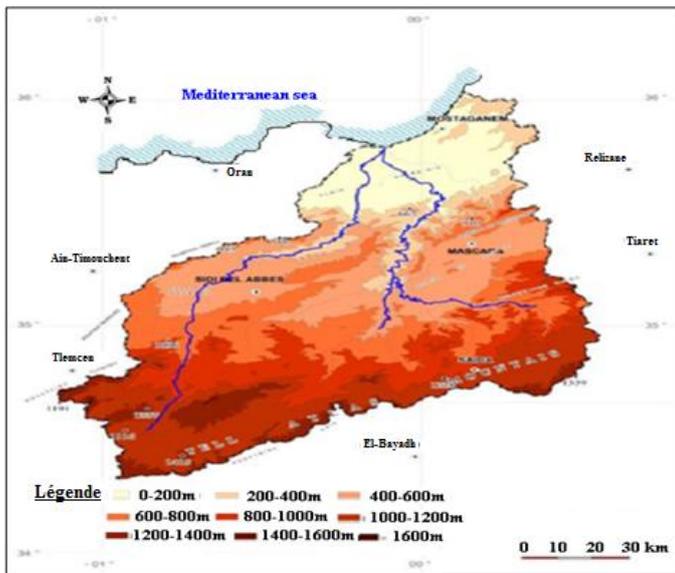


Figure 1 : Carte de situation et de relief du bassin versant de la Macta

Le bassin de l'Oued El Hammam, de son côté, renferme la plaine de Ghriss-Mascara, d'orientation ENE. De par sa situation, immédiatement, à l'abri de la dorsale du moyen Atlas- Rif du Maroc ; le climat est, dans son ensemble, marqué par une aridité où la situation la plus fréquente comporte une crête chaude anticyclonique au-dessus du Maroc et de l'Espagne (Seltzer, 1948). Les vents d'Ouest et du Nord-Ouest, n'arrivent qu'après avoir perdu une partie de leur humidité en Espagne et au Maroc. Une tendance à l'amplification de l'aridité apparaît donc au-delà de la zone d'étude (Figure 2).

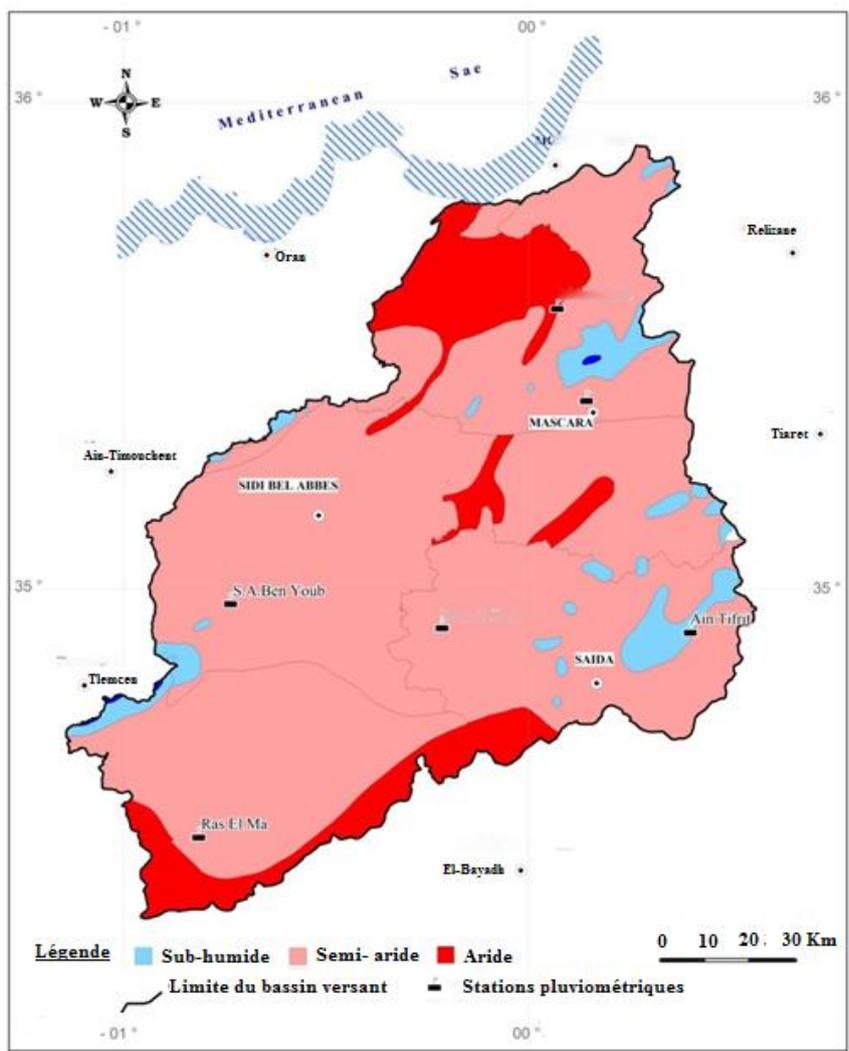


Figure 2 : Carte bioclimatique

DONNEES ET METHODES

Les données utilisées dans cette étude ont été collectées auprès des services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) et l'Office Nationale de la Météorologie (O.N.M). Les stations ont été choisies pour leur disponibilité en longues séries chronologiques (Figure 3). La critique et l'homogénéisation ont été effectuées à l'échelle mensuelle (Medjerab, 2005). Après, l'analyse de la variabilité spatiale de la pluie est abordée par l'Analyse en Composantes Principales (ACP).



Figure 3 : Carte de situation des stations individus

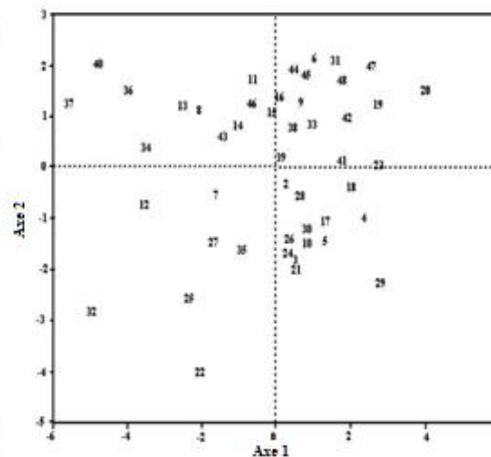


Figure 4 : Coordonnées des ACP

L'application de cette méthode a été réalisée sur un tableau à double entrées : en lignes, ce sont les observations de l'ensemble des postes pluviométriques [individus]. En colonnes, figurent les variables représentées par les coordonnées géographiques (systèmes Lambert) des stations, l'altitude et les moyennes mensuelles des pluies pour la période (1942-2000). Afin de pouvoir confirmer les régions définies par l'A.C.P (Figure 4), nous avons utilisé l'Analyse Factorielle Discriminante (A.F.D), la discrimination (Figure 5) s'effectue sur cinq variables : les coordonnées géographiques, le total de la période humide (Septembre à Février), et le total de la période sèche de Mars à Août (Ben

Aderrahmane, 1994). Pour l'étude de la relation pluies altitudes, nous avons calculé des équations du gradient pluviométrique pour les moyennes annuelles, en pointant sur un graphique les hauteurs de pluies en fonction de l'altitude. Ensuite, guidés par ces points nous avons regroupé les stations par régions naturelles, et tracé les droites d'accroissement des précipitations avec l'altitude. L'approche géostatistique est abordée sous deux phases :

- La première caractérise la structure de la variabilité spatiale de la variable régionalisée étudiée à travers le variogramme.
- La deuxième est l'interpolation optimale de cette variable par le Krigeage.

Pour le Krigeage nous avons utilisé le krigeage en voisinage glissant pour $h < 35$ Km. C'est-à-dire que seules les stations distantes de moins de 35 Km du point d'interpolation ont été utilisées.

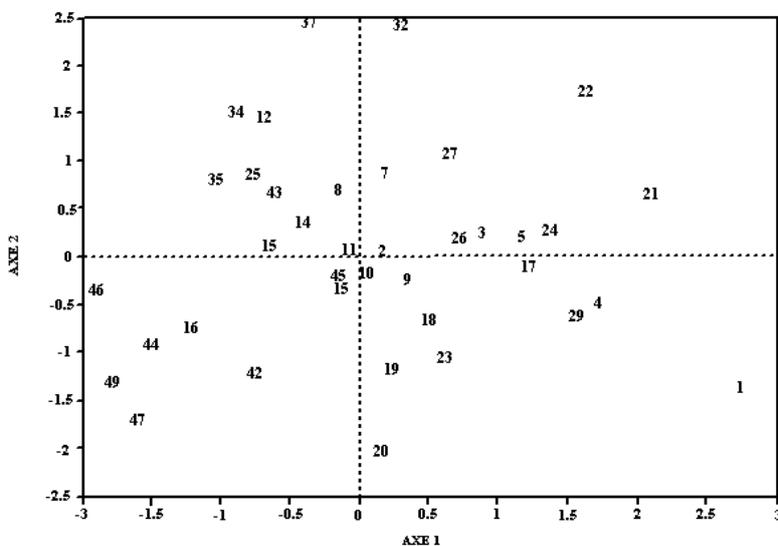


Figure 5 : Coordonnées des individus (AFD)

RESULTATS ET DISCUSSION

Analyse en Composantes Principales

Principes de la méthode

L'ACP est une technique de représentation des données sous certains critères algébriques et géométriques. Son objectif est d'extraire l'essentiel de l'information contenue dans des tableaux de données et d'en fournir une représentation simple et facile à interpréter compte tenu des corrélations entre

les données (Dagnelie, 1982). L'application de cette méthode donne (Tableau.1) les variances des trois premières composantes, les pourcentages de la variance totale expliqués par chacune des composantes ainsi que les pourcentages cumulés.

Tableau 1 : variances des premières composantes

Variations	% de la variance totale	% cumulé
5,4347	45,3	45,3
2,4530	20,4	65,7
1,4099	11,7	77,4

Régionalisation par ACP (Analyse des proximités)

Nous tenterons d'utiliser la dispersion des stations sur l'axe 1, pour dégager des régions à pluviométries distinctes. L'axe 1, explique à lui tout seul près de 50% de la variance totale. L'examen du graphique (fig.4), montre que cet axe sépare les stations en deux groupes, un du côté positif de l'axe et l'autre du côté négatif. Ces deux groupes peuvent à leur tour être partagés en deux autres groupes. Nous admettons donc, que le bassin comporte quatre régions. Dans le tableau 2, sont reportées les stations appartenant à chacune des régions. Ces régions servent de groupes de départ pour une régionalisation plus rigoureuse avec l'utilisation de l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD).

Tableau 2 : Définition des quatre régions pluviométriques.

Région 1	Région II	Région III	Région IV
37, 40, 36, 34, 12, 32	13, 8, 11, 46, 15, 43, 14,7, 27,35, 25, 22	6, 44, 45, 48, 16, 9, 38, 33, 42, 39, 2, 28, 41, 18, 17, 30, 27, 10, 5, 24, 3, 21	47, 20, 19, 23, 4, 29, 1,

NB / : les noms de stations sont reportés dans le tableau 2.1 suivant.

Tableau 2.1 : Stations retenues dans l'étude

N°	Codes	Noms	N°	Codes	Noms	N°	Codes	Noms
1	110102	S.ABenYoub	17	110502	Telagh	33	111405	Metmour
2	110201	S.A.BenYoub	18	110503	Teghalilite	34	111406	Mascara
3	110202	Moulay Slissen	19	110602	Oued Siffioun	35	111407	Teghanif
4	110203	EL- Hacaiba	20	110603	Ain Fares	36	111408	Khaouila
5	110208	Slissen Centre	21	110701	Touazizine (1)	37	111409	Ain - Fares
6	110305	Sidi.Bel.Abbès	22	110703	Touazizine (2)	38	111413	Tizi
7	110307	Ben Badis	23	110802	DoudYoub	39	111415	Ain Kekane
8	110308	S.Ali.Oussidi	24	111103	Ain El.Hadjar	40	111416	S. Kerroucha
9	110309	HassiDouha	25	111105	Sidi Ammar	41	111424	Ghris
10	110310	Lamtar	26	111126	Saida	42	111503	Bouhanifia
11	110312	M.Ben.Brahim	27	111204	Ain Trifit	43	111508	Sfissef
12	110313	Tessala	28	111208	Sidi Mimoun	44	111509	Hacine
13	110314	Ain- Trid	29	111210	Tamssena	45	111511	Mohamadia
14	110317	HassiZehana	30	111219	Bouchouiki	46	111512	Fergoug
15	110329	S. Hammadouch	31	111402	Ferha	47	111605	Bouhani
16	110402	Cheurfas	32	111404	Aouf	48	111611	F. Blanche

L'Analyse factorielle discriminante

Principe de la méthode

Si un certain nombre de groupes mesurés sur plusieurs variables présentent une différence significative au sens statistique du terme quant à leur centroides ; l'AFD tente de déterminer par ordre d'importance les variables responsables de cette distinction de groupes. Pour atteindre cet objectif, elle considère de nouvelles variables, combinaisons linéaires des précédentes. Géométriquement, ces nouvelles variables sont représentées par des axes sur lesquels, sont projetés les divers points des groupes. Ces axes sont appelés axes des fonctions discriminantes, et on désire que la projection des points donne lieu au minimum

de superposition des divers groupes (Lefevbre, 1981).

Afin de pouvoir confirmer les régions définies par l'ACP, qui n'est pas une méthode de classement, nous utilisons l'AFD. La discrimination s'effectue sur cinq variables : les coordonnées X, Y et Z, le total de la période humide (Total hiver), comprenant les mois de septembre à février, et le total de la période sèche (Total été) le restant des mois. L'analyse de la variance par variable donne les résultats suivants (Tableau 3).

Tableau 3: Analyse par variable

Variabes	Fc	Probabilité (%)
X	1,68	18,33
Y	3,13	3,45
Z	0,89	45,52
Période humide	88,94	0,00
Période sèche	9,70	0,01

Il en ressort que la variable la plus significative est le total hiver (la période humide), et à moindre degré le total été (période sèche). Ceci explique, que si l'on veut procéder à une analyse à l'aide d'une seule variable ; le total hiver est la variable recommandée. Pour justifier l'analyse discriminante nous calculons le pseudo-F des différentes variables discriminantes (Tableau 4) :

Tableau 4 : Variance et pseudo-F des variables discriminantes

Axe	Valeur propre	Inertie (%)	Pseudo-F	Probabilité (%)	Coef.Corrél
1	9,454	95	138,66	0,00	0,0043
2	0,407	4,1	9,97	3,55	0,289
3	0,048	0,5	0,71	57,53	0,046

Le pseudo-F de la première variable discriminante est largement plus grand que le plus grand des F du tableau précédent ; une AFD est donc justifiée. D'autre part, la première variable explique 95% de la variance. Nous analyserons uniquement les résultats du premier facteur discriminant. Le tableau 5 donne les coordonnées et qualité de la représentation des variables sur l'axe 1.

Tableau 5 : Coordonnées et qualités de la présentation des variables sur l'axe 1

Variabes	Coordonnées	Qualité de la présentation
X	0,579	0,336
Y	0,89	0,792
Z	-0,141	0,022
Période humide	0,997	0,993
Période sèche	0,945	0,893

De ce tableau, il en ressort que la coordonnée Y, la période humide (total hiver) et la période sèche (total été) sont bien représentées (total hiver ayant le plus fort coefficient de corrélation : 0,99). L'analyse des appartenances des stations a été effectuée par la distance de D^2 de Mahalanobis. Les résultats sont consignés dans tableau 6.

Tableau 6 : Distance de D^2 de Mahalanobis entre les différents groupes.

Groupes	1	2	3	4
1	0,000			
2	2,138	0,000		
3	2,436	1,294	0,000	
4	3,493	2,521	1,427	0,000

De cette matrice des distances, les groupes les plus éloignés sont 1 et 4, et les groupes les plus proches sont 2 et 3. Le groupe 1 est le plus éloigné de tous les groupes. Le tableau 7 donne le nombre de stations, qui ont changé de groupe entre l'ACP et l'AFD.

Tableau 7 : Appartenances des stations

Groupes	1	2	3	4
1	0	1	0	0
2	0	0	3	0
3	0	3	0	2
4	0	0	1	0

L'analyse de ce tableau montre que dix stations ont changé de groupe. Le plus important changement s'est effectué entre les groupes 3 et 2. Ces résultats supposent que ces groupes ont de nombreux traits communs. Les régions définies après AFD sont données par la Figure 5. L'étude de la relation pluies altitudes a montré que la zone d'étude est subdivisée en quatre zones (Figure 6).

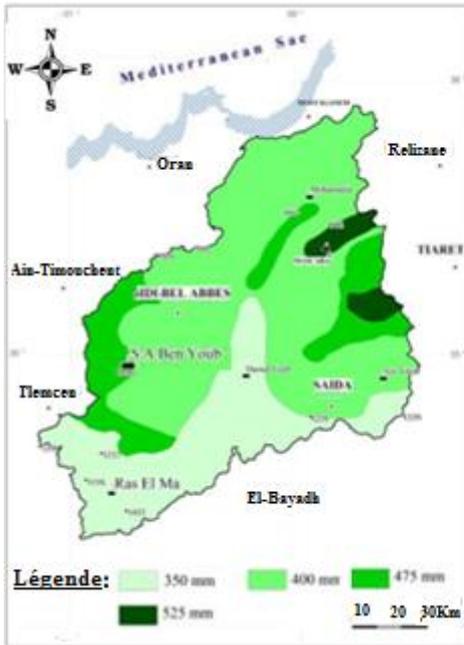


Figure 5 : Régionalisation des pluies par l'AFD.



Figure 6 : Carte de la relation pluies-altitudes.

La première zone est représentée par les hauts plateaux de la région de Saida, Ras El Ma ; la pluviométrie s'accroît de 29 mm tous les 100 m. La faiblesse du gradient pluviométrique, dans ces régions, peut être expliquée par la faible fréquence des situations perturbées et, surtout, par le caractère peu pluvieux des perturbations du Sud-Ouest et du Sud-Est.

La deuxième région englobe le versant Sud de l'Atlas Tellien, où la pluviométrie s'accroît de 26 mm tous les 100 m. La faiblesse du gradient dans ces zones est expliquée par l'effet de foehn au niveau du deuxième alignement des monts de l'Atlas Tellien. Les masses d'air venant du Nord deviennent faibles, leur flux descendant se comprime et s'échauffe, ce qui fait disparaître les condensations et baisser l'humidité relative et qui entraîne une augmentation de la température.

La troisième zone est constituée par les monts de l'Atlas Tellien : Saida, Beni Chougrane, et une partie des monts de Tessala. Dans ces régions Le gradient pluviométrique est de 37 mm/100 m. Cette augmentation est expliquée par le fait que les chaînes de montagnes de l'Atlas Tellien étant un obstacle devant les masses d'air venant de la méditerranée et oblige celles-ci à s'élever, ce qui rend le plus grand nombre de noyaux de condensation très actifs. Par conséquent les diamètres des gouttelettes grossissent par effet de coalescence.

La quatrième zone est représentée par les plaines littorales d'Arzew et El Mohamadia, où le gradient pluviométrique augmente de 59 mm/100 m. Cette

situation peut être expliquée par le fait que les zones du littoral situées au Nord sont en contact direct avec le bassin occidental de la méditerranée, à proximité des régions génératrices des perturbations et sur la trajectoire des masses d'air humide venant de l'atlantique et de la méditerranée.

Etude des pluies par les méthodes géostatistiques

L'approche géostatistique présente deux phases :

- La première caractérise la structure de la variabilité spatiale de la variable régionalisée étudiée à travers le variogramme
- La deuxième est l'interpolation optimale de cette variable grâce au Krigeage (Delhomme, 1973).

Le variogramme c'est une fonction caractéristique de la régionalisation de la fonction aléatoire. Elle représente la variance des premiers accroissements (hypothèse intrinsèque). Son expression mathématique est la suivante :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{var}[Z(x) - Z(x+h)] \Rightarrow \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$

Où :

$N(h)$: représente le nombre de points distants entre eux d'une longueur h à ce variogramme expérimental, on ajuste l'un des modèles théoriques suivants : linéaire, exponentiel, sphérique, gaussien

Le krigeage : c'est une méthode robuste d'estimation par interpolation. Elle est basée sur l'hypothèse que le champ spatial de la variable étudiée est une réalisation d'une fonction aléatoire. L'estimation en un point s'écrit comme la somme pondérée des valeurs aux points expérimentaux.

$$Z_o^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i \times Z_i$$

λ_i : est le poids associé à la mesure Z_i pour l'estimation de Z_o^* . Cette estimation est non biaisée, l'erreur moyenne est nulle.

$$E[Z_o^* - Z_o] = 0$$

Il est optimal, dans le sens où la variance d'estimation est minimale

$$\text{Var}[Z_o^* - Z_o] = E[Z_o^* - Z_o]^2 = \min$$

Dans le cas d'un gradient (dérive), on peut considérer que $Z(x)$ vérifie l'hypothèse intrinsèque, et on Krige par voisinage glissant. On le fera seulement avec les points qui sont autour, d'un certain voisinage, du point à estimer. Le nombre de points à prendre en compte est fonction de l'importance de la dérive. Le variogramme du bassin est représenté sur la figure 7 c'est un variogramme sphérique dont l'expression est la suivante :

$$\gamma(h) = \bar{\gamma} \left[\frac{2}{3} \times \frac{|h|}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{|h|}{a} \right)^3 \right]$$

$$\gamma(h) = \bar{\gamma}$$

Où :

$\bar{\gamma}$: représente le palier du variogramme

a : représente la portée

$$\gamma(h) = 215.91 \times |h| - 0.037|h|^3$$

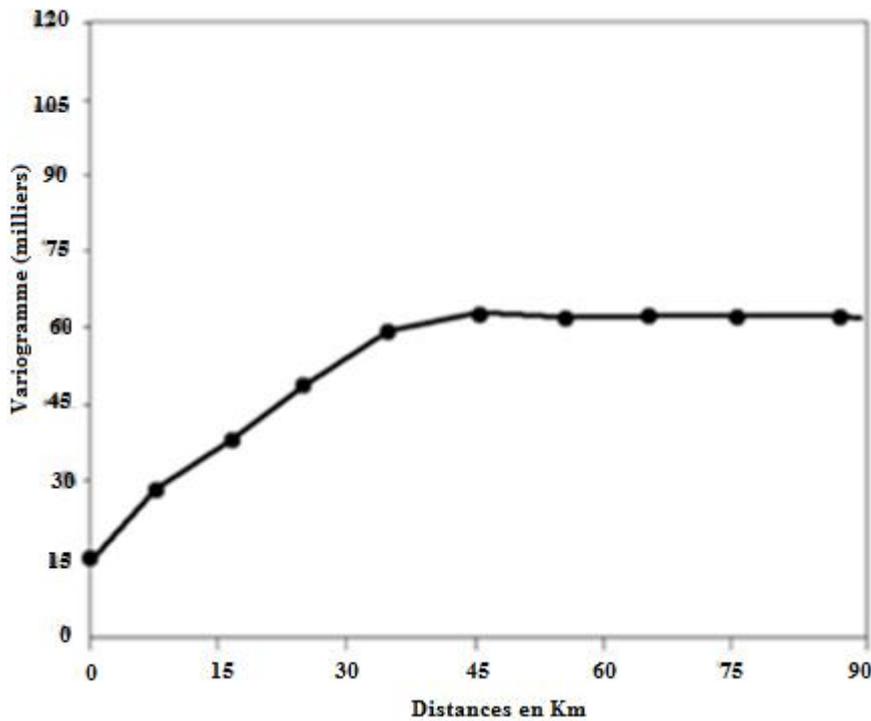


Figure 7 : Variogramme moyen des pluies

Ce variogramme présente un palier de 6333 mm², un effet de pépite de 1555 mm² et une portée de 44 Km. Sur la base de ces données on peut affirmer que la pluie dans la zone d'étude ne présente aucune structure au-delà de 44 Km. D'autre part, le réseau actuel n'est pas suffisant pour représenter les phénomènes à faible échelle d'où la présence d'un effet de pépite. Pour analyser l'isotropie de la pluie, nous avons établi les variogrammes directionnels (Figure 8) selon les quatre directions conventionnelles.

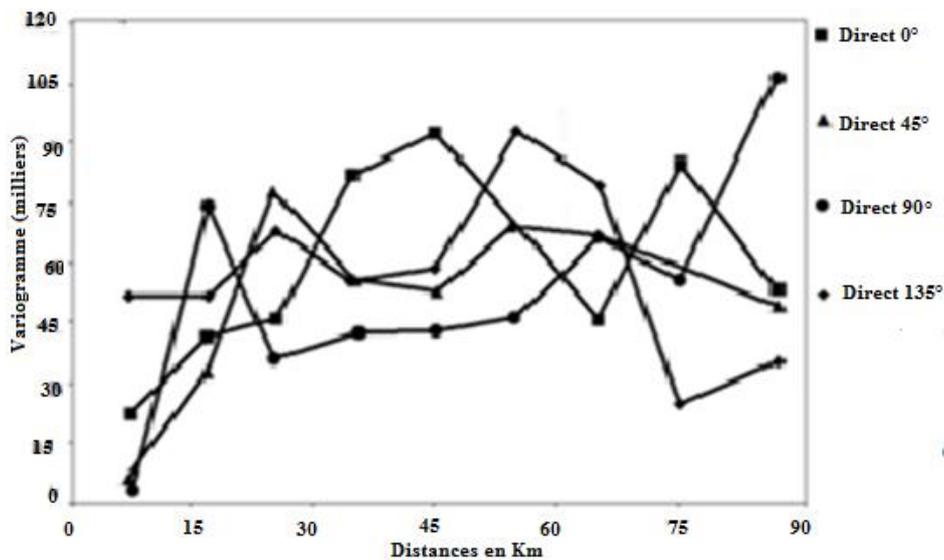


Figure 8 : Variogramme directionnels des pluies

On remarque que la direction 0° (Ouest-est) présente un variogramme différent des autres directions, ce qui indique la présence d’une dérive. Leur examen montre que cette différence n’est significative qu’au-delà d’une distance de 35 Km. La figure 9 présente les pluies moyennes annuelles de la région d’étude, l’estimation des erreurs d’interpolation est représentée par la figure 10

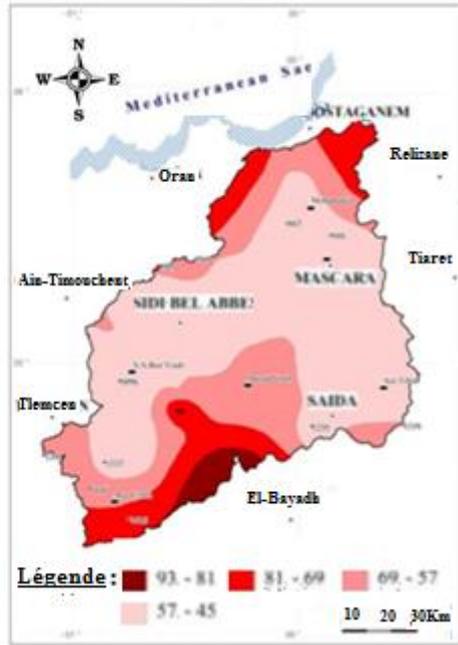
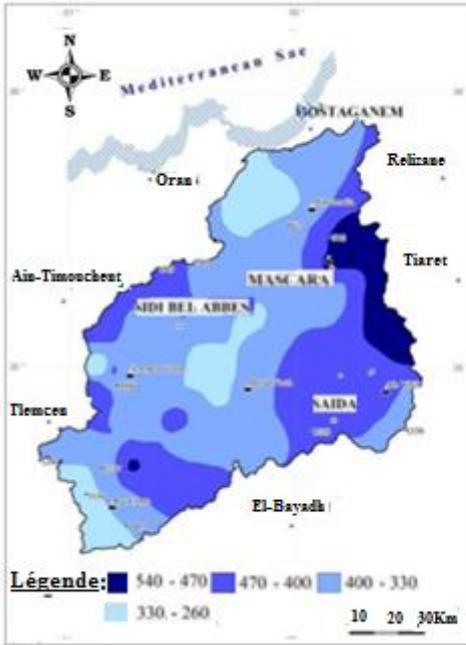


Figure 9 : Carte des pluies moyennes annuelles. **Figure 10 :** Carte d'estimation des erreurs.

CONCLUSION

Les méthodes d'analyse multidimensionnelle sont un puissant outil pour la mise en évidence de régions pluviométriques homogènes. Ces méthodes deviennent plus efficaces lorsqu'elles sont utilisées de façon complémentaire. C'est ainsi, que quatre régions ont pu être dégagées dans la région d'étude. Une région à pluviométrie forte située principalement dans les monts de Beni-Chougranes et de Saida s'opposant à une région à pluviométrie faible, localisée presque en totalité, au niveau des hauts plateaux Oranais. Les autres régions occupent le reste de la zone d'étude et leurs pluviométries sont assez importantes et sensiblement voisines. Le variogramme montre que la corrélation entre stations n'est effective qu'à une distance inférieure à 35 Km.

Ces résultats pourraient également être intégrés dans un modèle de prédiction ou de simulation des pluies. De ce fait, les valeurs prédites ou simulées auraient les mêmes caractéristiques statistiques que les données pluviométriques de la zone d'étude.

La caractérisation de la pluie effectuée au sein de ce travail se limite essentiellement à l'analyse de la structure spatiale des précipitations. Il faudrait également analyser la variabilité temporelle de la pluviométrie afin d'arriver à une caractérisation spatio-temporelle plus complète de la pluie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AISSANI B. (1983). Cartographie automatique de champs pluviométriques : exemple de la région Algéroise, Rev. Sci. Terre, série informatique géologie. Annales de l'école nationale supérieure de géologie appliquée et de prospection minière, 291p.
- BEN FARES B. (1994). Etude de la variabilité et de la structure de la pluie annuelle du bassin versant de la Macta, Note technique, Agence Nationale des barrages (ANB), 15p.
- BEN FARES B. & al. (1999). Analyse des champs pluviométriques du bassin versant de la Macta par l'analyse multivariée et la géostatistique, colloque méditerranéen sur l'eau et l'hydrologie, université de Badji Mokhtar, Annaba.
- BEN ABDERRAHMANE Z., BENFARES. B, MOKRANE. B. (1994). Régionalisation des pluies de la région Constantinoise, Compte rendu des journées de statistique appliquée, 69-78.
- DAGNELIE A. (1982).: Analyse statistique multivariée, Edition de Gembloux, 320p
- DELHOMME J.P., DELFINER P. (1973).: Application du Krigeage à l'optimisation d'une campagne pluviométrique en zone aride, Colloque UNESCO-OMM-AIHS.
- DELHOMME J. (1976). Application de la théorie des variables généralisées dans les sciences de l'eau, Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, France.
- DJELLOULI Y. & al. (1990). interpolation des données climatiques et sa cartographie automatique en Algérie du Nord, Publication de l'Association internationale de Climatologie, Vol 3, 391-400.
- GUEDJETAL A. et al. (1995). Application de trois modèles linéaires pour l'étude du régime des pluies du bassin versant de la Macta, 2^{ème} colloque national climat-environnement, université de Blida, Algérie, 1-5.
- LEBEL T. (1984). Moyenne spatiale de la pluie sur un bassin versant : estimation optimale, génération stochastique et gradex des valeurs extrêmes. Thèse de Doctorat, Université Scientifique et Médicale et Institut National Polytechnique de Grenoble, France.
- LEFEVBRE P. (1981). Introduction aux analyses statistiques multidimensionnelles, Ed. Masson, Paris, France, 320p.
- MATHERON G. (1965). Les variables régionalisées et leur estimation, Ed. Masson et Cie. Paris, France, 305p.
- MEDDI M., AMEL T., CLAUDE M. (2009). Evolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie), Rev. Études géogr. Phys., N° XXXVI, 25-46.
- MEDJERAB A. (1998). Régionalisation des pluies annuelles dans l'Algérie nord-occidentale, eau et environnement en Tunisie et en milieu méditerranéen, Colloque de Hammamet (Tunisie), 14-15 novembre, 228

*Etude de la variabilité et de la structure de pluie annuelle dans une région semi aride :
Cas du bassin versant de la Macta (Nord Ouest algérien)*

Publication de l'université de Tunis I, et de Paris Sorbonne, 69 -78.

- MEDJERAB A. (2005). Etude pluviométrique de l'Algérie nord-occidentale « approche statistique et cartographie automatique, Thèse de Doctorat d'Etat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire, 750 p.
- MEDJERAB A. (1993). La tendance des pluies annuelles dans l'Ouest Algérien, Texte réuni par Henia L., la variabilité du climat et l'homme en Tunisie, publication de l'université de Tunis I, série colloque 7^{ème}, vol. III, 81-105.
- OBLED C. (2000). Cours d'initiation à la géostatistique, Cours de DEA MMGE, Version révisée, UJF Grenoble, France.
- SELTZER P. (1948). Le climat de l'Algérie, Travaux de l'Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie, Université d'Alger, 215p.