

QUANTIFICATION DES PRECIPITATIONS : APPLICATION AU NORD OUEST DE L'ALGERIE – LA METHODE PLUVIA

H. Meddi¹, M. Meddi¹, N. Mahr² et J. Humbert²

RESUME

Toute modélisation hydrologique est fortement conditionnée par la qualité de l'estimation spatiale de la pluviométrie. Egalement la compréhension des modalités de la reconstitution de la ressource en eau suppose une bonne connaissance de la structuration des champs de précipitations dans l'espace étudié (Humbert J. et al., 1993). Les gradients altimétriques, les effets des crêtes ainsi que l'influence du site constituent des facteurs majeurs pour rendre compte de la non adéquation de l'application des méthodes classiques d'interpolation pour estimer la pluie moyenne au niveau d'un bassin donné. Dans cette optique, nous avons entamé un travail sur la cartographie automatique des précipitations dans le Nord-Ouest de l'Algérie. La région d'étude est connue par une variabilité spatiale des pluies. La zone étudiée s'étend sur 89 420 km² environ, elle est située entre 2°10'10'' ouest et 3°10'11'' est de longitude et entre 34°18'54'' et 36°48'12'' de latitude Nord. La région étudiée s'allonge sur 250 km du Sud au Nord et sur environ 500 km de l'Ouest à l'Est.

Cette approche appartient à la famille statistique (combinée à un krigeage des résidus) est exploitée, grâce à l'utilisation d'un modèle numérique de terrain (M.N.T.), les relations existant entre les précipitations et certaines caractéristiques topo-morphométriques de la région d'étude. Cette méthode est issue de travaux débutés au CEREG (Université de Strasbourg) à la fin des années 1980, et qui ont abouti en 1995-1996 à un logiciel opérationnel nommé PLUVIA, testé et validé sur le Nord-Est de la France, en Iran par Dumas D. en 1998.

Mots Clés : Variabilité interannuelle des pluies, répartition spatiale des précipitations, variographie, cartographie automatique, Pluvia, Nord—Ouest de l'Algérie

ABSTRACT

Any hydrological modelling is strongly conditioned by the quality of the estimation of the spatial rainfall. Also, understanding of the terms of the of water resources reconstitution requires a good knowledge of the precipitation structuring in the studied area (J. Humbert et al. , 1993). Altimitrics Gradients, the effects of the peaks as well as the influence of the site are major factors to show the non-suitability of the application of the conventional interpolation methods for estimating the average rainfall in a given basin. From this perspective, we carried out a work on automatic rainfall mapping in the north-western Algeria. The study area is known by a great spatial variability of rainfall. The study area covers around 89,420 km², it is located at 2 ° 10'10"west and 3 ° 10'11" is longitude and between 34 ° 18'54"and 36 ° 48'12 "north latitude. The study area has 250 km from the South to the North and about 500 km from the West to the East. This approach is a member of the Statistics family methods (combined with a kriging residue) is operated, through the use of the digital elevation model (M.N.T.), the relationship between precipitation and some morphometrics factors of the study area. This method is the result of work started in CEREG (University of Strasbourg) in the late 1980s, and which have resulted in 1995-1996 to operational software named PLUVIA, tested and validated in the north-eastern of France and in Iran by Dumas D.(1998).

Keywords: Interannual variability of rainfall, spatial distribution of rainfall, variographie, automatic mapping, Pluvia, North-Western, Algeria

¹ Laboratoire Eau, Roche et Plante, Centre Universitaire de Khemis Miliana, Algérie

² C.E.R.E.G. – Université Louis Pasteur – Strasbourg France

1. INTRODUCTION

La robustesse des modèles hydrologiques (relation pluie, débit) et l'estimation du bilan de l'eau sont étroitement liées à une estimation correcte de la pluie qui constitue le paramètre d'entrée dans ces modèles. A partir de là, de nombreux auteurs ont estimé intéressant et utile de trouver de relations liant le paramètre pluie aux facteurs relatif au relief et à la situation géographique pour mieux expliquer la répartition spatiale des précipitations. Ces relations permettent d'estimer au mieux en tout point de l'espace, la pluviométrie, en se basant sur les données fournies par les mesures classiques.

Deux approches sont largement utilisées pour l'estimation spatiale de la pluie :
- l'approche géostatistique (krigeage) après avoir identifier la structure spatiale à partir des valeurs mesurés aux postes pluviométriques (Hevesi et al., 1992).

L'approche basée sur les relations statistiques entre les précipitations et les caractéristiques de relief (l'altitude, l'altitude lissée, l'exposition, les effets de site, la distance à la mer), (Spren 1945), (Laborde 1984), (Bénichou et Le Breton 1987), (Marand et Zumstein 1990), (Daly et al. 1994), (Meddi 1992), (Meddi et al., 1998), (Paul and David 2006).

Cette dernière approche permet d'appréhender le rôle du relief et complète la manque procurer pour l'insuffisance du réseau de mesure.

De nombreux travaux ont été menés pour comparer ces deux approches (Creutin et Obled 1982, Humbert et al. 1997 et Kieffer 1998).

L'approche PLUVIA appartient à la famille statistique (combinée à un krigeage des résidus) est exploitée, grâce à l'utilisation d'un modèle numérique de terrain (M.N.T.), les relations existant entre les précipitations et certaines caractéristiques topomorphométriques de la région d'étude (Humbert J. et al., 1998).

Cette méthode sera appliquée sur le Nord-Ouest de l'Algérie.

2. PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

2.1. Situation géographique

La zone étudiée s'étend sur 89 420 km² environ,. Elle est située entre 2°10'10'' ouest et 3°10'11'' est de longitude et entre 34°18'54'' et 36°48'12'' de latitude Nord (Fig. 1).

La région étudiée s'allonge sur 250 km du Sud au Nord et sur environ 500 km de l'Ouest à l'Est.

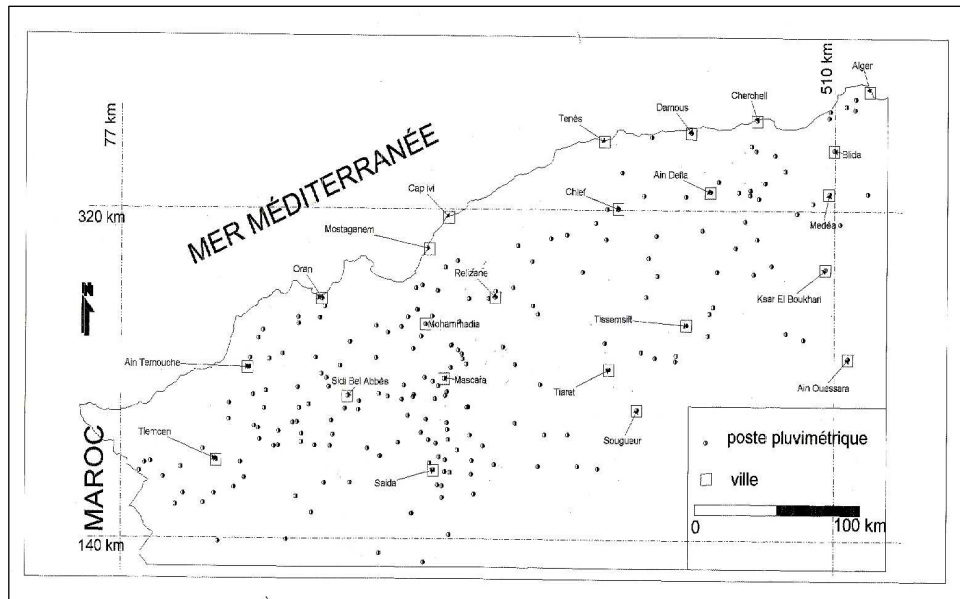


Fig. 1. Situation géographique des stations pluviométriques

3. LES DONNÉES ET LES STATIONS PLUVIOMÉTRIQUES

3.1. Choix des stations et de la période d'étude

La représentativité spatiale et temporelle des stations pluviométriques a une influence majeure sur les cartes finales. Nous possédons 218 stations (Fig. 1) réparties aléatoirement dans l'espace étudié. Les données proviennent des deux organismes responsables du réseau pluviométrique à savoir l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (A.N.R.H.) et l'Office Nationale de Météorologie (O.N.M.). Les postes sélectionnés possèdent une série de mesures suffisantes pour mener à bien cette étude, c'est-à-dire 30 ans tel que préconisé par l'Office Mondiale de Météorologie (O.M.M.). Certaines stations présentent des lacunes qui seront comblées en utilisant la méthode de régression linéaire à l'échelle mensuelle avec des stations de bases (mesure complète et correcte).

Un réseau bien distribué et représentant convenablement la zone étudiée doit traduire, par leur seule altitude, fidèlement la topographie, l'histogramme des fréquences relatives des altitudes de toutes les stations devrait être sensiblement proche de la courbe hypsographique de la région étudiée (Dumas D., 1998).

Deux cent stations ont été utilisées pour l'établissement des relations pluviomorphométrie. Afin de tester et valider les cartes obtenues en utilisant la méthodologie PLUVIA, il serait judicieux de garder un certain nombre de stations représentatives de situation topographiques et géographiques variées. Alors, 18 stations vont être utilisées pour la validation des modèles obtenus. La figure n°3 montre la répartition altitudinale des stations étudiées.

4. METHODOLOGIE A UTILISE

De nombreuses méthodologies en été misent au point et ont utilisé dans différentes parties du monde. Une nouvelle approche, semblable dans sa philosophie aux autres, a été mise au point par le Professeur Humbert de l'université de Strasbourg. Celle-ci est appelée **PLUVIA**. Cette dernière a été testée dans le Nord Est de la France et en Iran. Les résultats trouvés sont très encourageants. Pour la première fois elle sera utilisée en Algérie.

4.1. Méthodologie PLUVIA

4.1.1. Introduction

La méthode permet de déterminer la quantité de pluies en un point d'une zone étudiée à partir de données de pluies mesurées en un certain nombre de postes climatologiques et en tenant compte du relief (MNT à un pas d'espace de 1 km). Le fondement de cette méthode consiste à associer aux postes de mesures, la pluviométrie à des paramètres statistiques appliqués à l'altitude tels que la moyenne, l'écart type, le coefficient de variation, le premier décile, le premier quartile, la médiane, le dernier quartile et le dernier décile. Ces paramètres, dits morphométriques, sont calculés sur des fenêtres de taille allant de 1 à 30 km avec un pas de 1 km et ayant 9 orientations différentes (centrée, nord, sud, est, ouest, excentrée nord, excentrée sud, excentrée est, excentrée ouest), Fig. 4.

Pluvia caractérise ainsi chaque station de mesure par un ensemble de 2160 paramètres morphométriques calculés une fois pour toutes et stockés dans sa banque de données et par le jeu de données de pluies mensuelles mesurées.

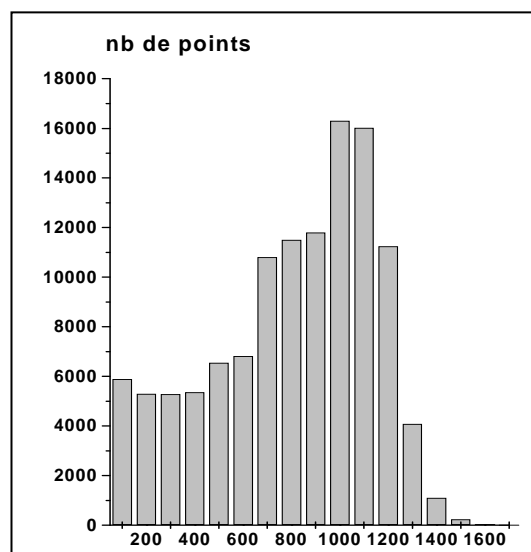


Fig. 2. *Histogramme des altitudes de la région étudiée*

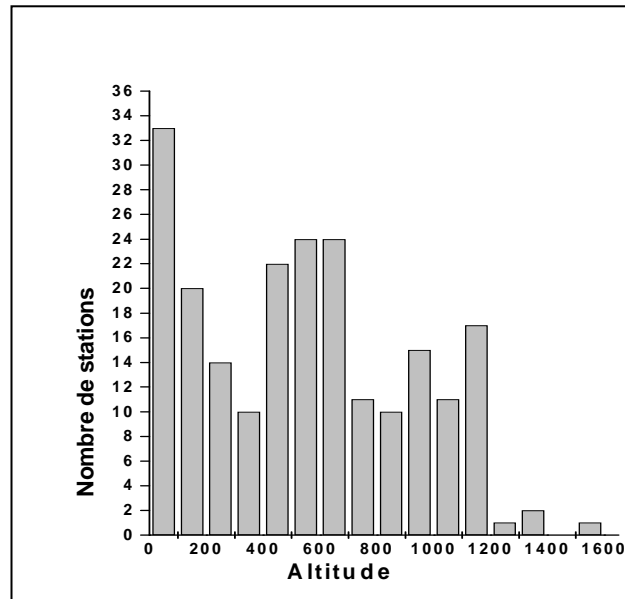


Fig. 3. Répartition altitudinale des 218 stations retenues

Le logiciel contenant la technique Pluvia met en forme les paramètres retenus et les valeurs de pluie mesurées aux postes sélectionnés et autorise le traitement statistique par régression linéaire multiple pas à pas. Ce traitement statistique permet d'obtenir des variables explicatives (généralement, 3 à 4 prédicteurs suffisent pour expliquer 88 à plus de 95% de la variance). Pluvia propose la saisie des meilleurs prédicteurs et détermine la valeur de la pluie selon l'équation :

$$\text{Log P} = a + b.\text{LogX1} + c.\text{LogX2} + \dots + k.\text{LogXn}$$

Pour une date donnée et cela en chaque point d'une zone d'étude définie à un pas d'espace variable. Pluvia enregistre les pluies brutes ainsi calculées et calcule les résidus au niveau des stations retenues. Les résidus obtenus entre les valeurs mesurées et calculées sont ensuite analysés par krigeage, une technique d'interpolation qui permet de corriger les précipitations brutes calculées précédemment. Enfin Pluvia assure le lien avec un logiciel de cartographie pour la réalisation des cartes de niveau de pluies.

5. LA CONSTRUCTION DU MNT

La taille des mailles de ce MNT est d'environ 925 m. Cette maille est tout à fait suffisante pour l'utilisation que nous faisons. Nous avons ainsi échantillonné 213675 altitudes. La région d'étude est comprise dans rectangle de 555 km de longueur sur 385 km de largeur

6. LES PARAMETRES MORPHOMETRIQUES

Les pluies mesurées aux postes sont conjuguées aux différents paramètres morphométriques sur des fenêtres de tailles et d'orientation variables. Pour chaque station, nous avons calculé de nombreuses séries d'altitudes moyennes, d'écart types et de coefficients de variation, sur 24 fenêtres carrées, mailles de calcul, à progresser régulière de 1 km (de 1 à 30 km), Humbert et al. (1993) :

- des fenêtres appelées centrées : la station est située au centre de la maille de calcul ;
- des fenêtres appelées excentrées ouest : la station est située sur le côté est de la maille de calcul ;
- des fenêtres appelées excentrées est : la station est située sur le côté ouest de la maille de calcul ;
- des fenêtres appelées excentrées nord : la station est située sur le côté sud de la maille de calcul ;
- des fenêtres appelées excentrées nord-ouest : la station est située dans le coin sud-est de la maille de calcul ;
- des fenêtres appelées excentrées nord-est : la station est située dans le coin sud-ouest de la maille de calcul ;

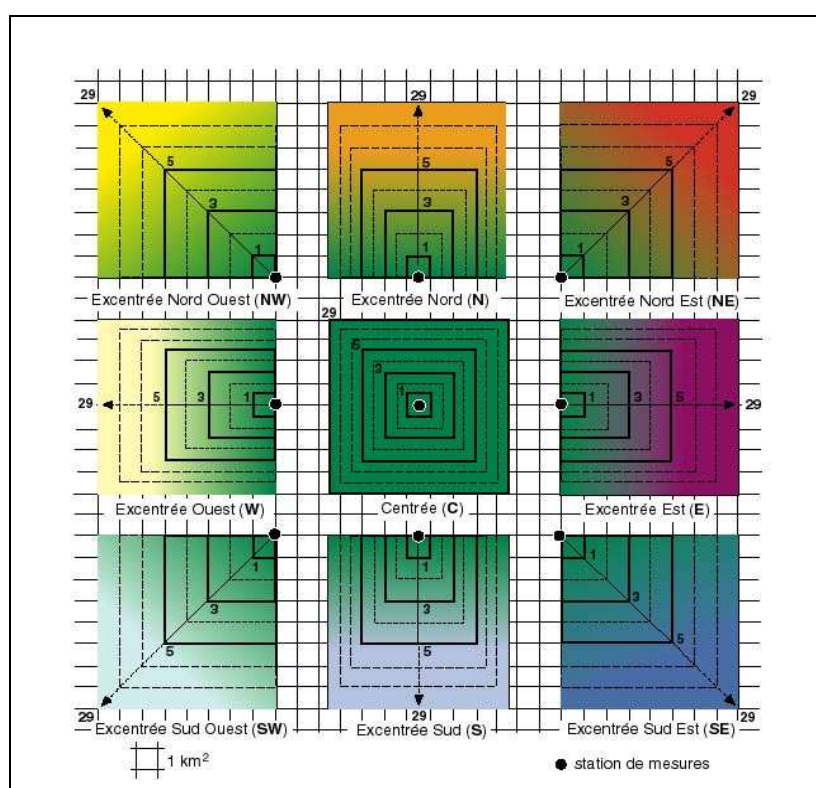


Fig. 4. Schématisation des neuf (09) fenêtres représentation schématique de la paramétrisation omnidirectionnelle

L'altitude moyenne des trois derniers types de fenêtres a été calculée pour tenir compte de la morphométrie positionnée face aux vents dominants.

L'utilisation de ces différents types de fenêtres se justifie par l'hétérogénéité du relief de la région étudiée. Cette méthode présente un inconvénient majeur qui réside dans la production un jeu de paramètres dont la plupart sont fortement autocorrélés. Les redondances d'informations chutent rapidement lorsque l'on compare des fenêtres de tailles différentes et a fortiori lorsque les directions sont divergentes (Humbert et al., 1993). On peut voir sur la figure 12 les différences qui peuvent résulter du choix de la taille et de l'orientation des fenêtres sur le calcul de l'altitude moyenne de la station de Ksar El Boukhari (Fig. n°5). L'écart maximal pour la station de Ksar El Boukhari est enregistré entre la fenêtre excentrée nord et celle excentrée nord-ouest entre lesquelles on enregistre 130 m de différence d'altitude moyenne. Le relief est caractérisé par 8 indices morphométriques différents auxquels on ajoute l'altitude effective du poste pluviométrique (Z) et les coordonnées géographiques des stations, Partant du principe qu'au niveau de deux sites, dont les caractéristiques morphométriques sont les mêmes et s'ils sont situés suivant une direction d'écoulement, il pleuvra sur le site par où les vents arrivent, les masses nuageuses peuvent ne pas atteindre le second site (Laborde J.P., 1984). Les paramètres explicatifs peuvent être regroupés comme suit:

- Les positions géographiques des stations (X, Y, Z);
- Les indices qui mesurent la rugosité du relief avec l'écart type (E) et le coefficient de variation (CV);
- Les indices morphométriques avec l'altitude moyenne (M), l'altitude médiane (D) et les altitudes à signification fréquentielle représentant 10 % des altitudes proches de la station (PD pour le premier décile), puis 25 % (PQ pour le premier quartile), 75 % (DQ pour le dernier quartile) et 90 % (DD pour le dernier décile).

Donc, chaque poste pluviométrique est caractérisé par un jeu de 1443 paramètres.

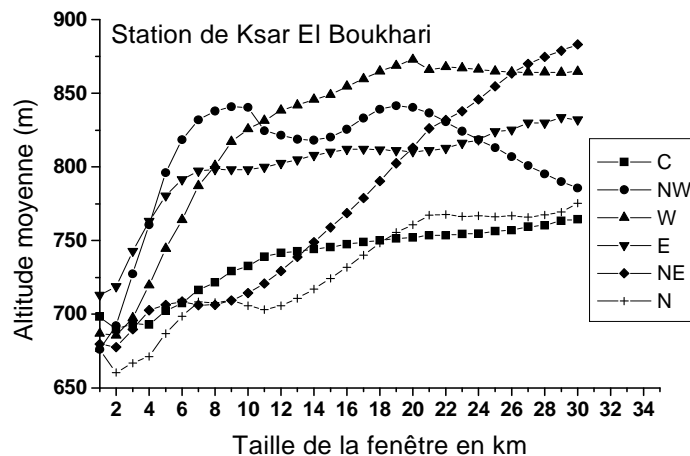


Fig. 5. Exemple de relation entre la dimension de différentes fenêtres et l'altitude moyenne de la station de Ksar El Boukhari

7. LE CALCUL DES PRÉCIPITATIONS

L'estimation des pluies au niveau des points du maillage de la région étudiée est faite par la somme de deux termes. Le premier est issu de la combinaison linéaire des paramètres explicatifs de la pluie. Le second terme représente les résidus (la partie non expliquée des pluies par le relief et les coordonnées géographiques) et il permet d'optimiser le résultat final (Dumas D., 1998 et Mahr N. et al., 2000).

7.1. Corrélation entre les pluies et les paramètres morphométriques et géographiques

Le nombre important de paramètres rend très délicat. Cela, nous a poussé à procéder d'abord à sélectionner les variables explicatives la plus signifiante du point de vue statistique (coefficient de corrélation directe entre la pluie et chaque paramètre). Cette étape, nous a permis de faire une sélection des paramètres les intéressants. Il est pratiquement impossible de mettre ici la matrice de corrélation globale. La figure n°6 montre l'évolution du coefficient de corrélation avec les différentes altitudes calculées sur des fenêtres croissantes pour les pluies annuelles. Ce corrélogramme nous permet de voir une meilleure corrélation entre la pluie annuel et les altitudes moyennes calculées pour des fenêtres de dimensions de 29 km à 30 km d'orientation Nord, Nord-Est et Nord-Ouest. Cette évolution du coefficient de corrélation montre que les pluies annuelles sont influencées par les volumes montagneux de direction nord (centre, est et ouest) et en liaison étroite avec les flux météorologiques dominants de ces directions.

A l'échelle mensuelle, On constate des relations très spécifique (relative à chaque mois), chacune d'elles traduisant des relations spécifiques avec l'orographie en fonction de la répartition fréquentielle des types de temps enregistrés sur la période. Sur la figure n°7 est représentée la relation entre les pluies de quatre mois (un mois par saison) et l'altitude moyenne de direction Nord-Est. En hiver, le maximum de corrélation appartient à des fenêtres de dimensions élevées (29 et 30 km) montrant l'influence régionale dont les perturbations sont de secteurs nord, nord-est et nord-ouest.

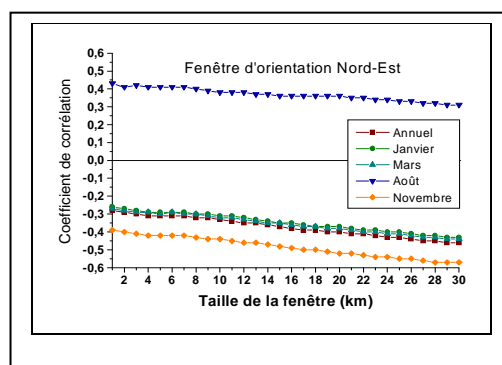


Fig. 7. Exemples de corrélations entre les précipitations annuelles et l'altitude moyenne calculée sur des fenêtres de taille croissantes et d'orientations variées

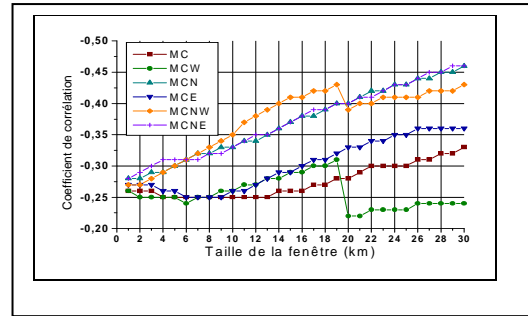


Fig. 6. Exemples de corrélations entre les précipitations annuelles et mensuelles et l'altitude moyenne calculée sur des fenêtres de taille croissantes et d'orientations Nord-Est

7.2. Les pluies calculées

Les précipitations varient rapidement avec le site, plus amplement avec la situation et enfin lentement avec la région. Elles peuvent donc être considérées comme une fonction de trois composantes (Laborde J.P., 1993) :

$$R(X) = f(R_{\text{site}}(X), R_{\text{situation}}(X), R_{\text{région}}(X))$$

Les paramètres caractéristiques de chaque station ont été calculés par le logiciel PLUVIA. Une sélection des paramètres les plus explicatif du phénomène « pluviométrique » a été faite dans une première étape telle que décrite précédemment. L'ensemble des traitements a été faite en utilisant le logiciel HYDROLAB (Laborde J.P., 1998). Cela donne un ensemble d'équations de la forme :

$$\text{Log } P = a + b \text{ Log } X_1 + c \text{ Log } X_2 + \dots + k \text{ Log } X_n$$

Avec :

P = précipitation calculées (pour une période i en un point j)

X1, ..., Xn = variables explicatives

a = constante de régression

b.....k = coefficient de régression.

7.3. Interpolation et cartographie automatique

Avant la cartographie automatique des pluies annuelles et mensuelles, il est indispensable d'effectuer un calcul des pluies aux nœuds du maillage de la région étudiée. Ce calcul se fait par l'intermédiaire des relations pluies - morphométries trouvées précédemment. Afin d'obtenir les grilles finales à cartographier, il est nécessaire d'ajouter aux pluies calculées les résidus de régressions. Ces résidus sont stationnaires d'ordre 2, c'est à dire qu'ils sont nuls en moyenne et de variance constante. Ces résidus se prêtent donc plus facilement à une interpolation (Laborde J.P., 1993).

7.4. Optimisation des précipitations avec les résidus

Certains auteurs ne s'intéressent qu'aux résidus qui, selon eux, reflètent les véritables rugosités spatiales alors que les modèles ne montrent que les grandes tendances lissées du phénomène (Dumas D., 1998). L'intérêt de la prise en compte des résidus dans sur le résultat final de la spatialisation des pluies a été montré par de nombreux auteurs Laborde J.P., 1988 dans le nord-est de la France, Meddi M., 1994 dans le bassin versant de l'Oued Mina (Algérie), Humbert J., 1993 et 1997 dans le massif vosgien (France) etc.

Le calcul final des pluies se fait par la somme des pluies calculées et des résidus. Ces résidus correspondent à une partie des pluies non expliquée directement par le relief mais dont la signification exacte reste néanmoins complexe (Dumas D., 1998). Pour ajouter ces résidus aux pluies calculées, ils sont régionalisés avec une interpolation utilisant un algorithme de krigeage sans effet de pépite. De cette façon, on obtient pour chaque nœud du MNT une valeur des résidus qui permettent la correction des précipitations calculées et d'optimiser ainsi le résultat final sur l'ensemble de la zone étudiée.

Afin de montrer l'opportunité de la régionalisation des résidus, nous avons entamé une étude variographique des résidus.

7.5. Variogrammes des résidus de régressions

Les variogrammes expérimentaux ont été calculés par tranche de 5 km de distance du fait de la densité du réseau qui est jugé suffisante. Le variogramme expérimental $\gamma(h)$ est la variance des écarts entre les résidus de régression entre deux points distants de h (Laborde J.P., 1993). Nous avons calculé les variogrammes expérimentaux dans deux directions privilégiées à savoir nord-sud et est-ouest (Fig. 8 et 9).

L'étude des variogrammes montre bien l'adaptation du modèle exponentiel :

$$\gamma(h) = \sigma^2 (1 - e^{-\frac{h}{p}})$$

Le palier et la portée p ont été ajustés graphiquement de manière que le modèle théorique passe par le nuage de points (au milieu).

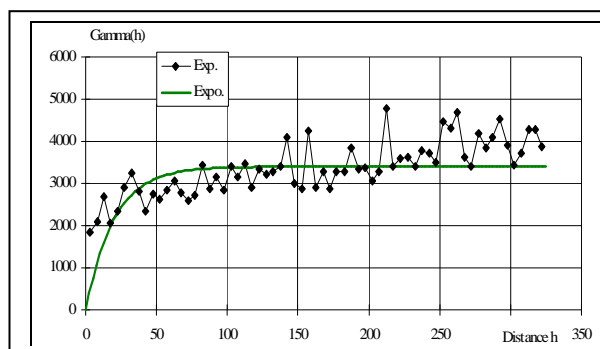


Fig. 8. Variogramme des résidus de régression (annuelle) dans la direction Nord-Sud

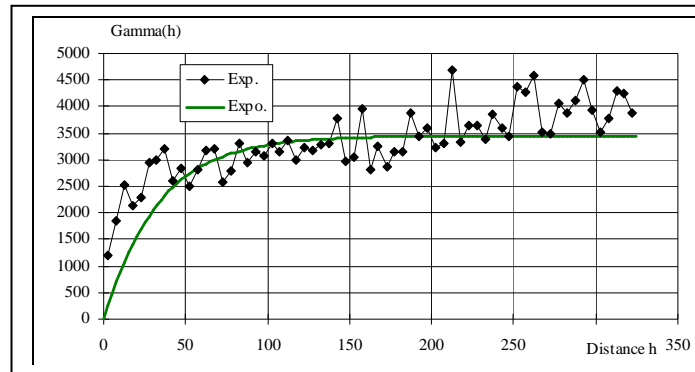


Fig. 9. Variogramme des résidus de régression (annuelle) dans la direction Est-Ouest

7.6. Cartographie des précipitations

L'ajout des résidus interpolés aux valeurs des pluies calculées permet l'obtention d'une grille, à maille carrée d'un km, contenant les précipitations finales à cartographier.

7.7. La validation des modèles

Afin de juger de la robustesse des modèles établis et leurs stabilités, de nombreuses validations ont été effectuées sur les 18 stations écartées du lot initial. Les figures suivantes illustrent les résultats d'une validation appliquée à 18 postes (Fig. 10, 11, 12 et 13). Pour mieux vérifier les hypothèses statistiques, il est préférable de vérifier la normalité des résidus issus de chaque régression. Plus de 80 % des erreurs moyennes sont compris entre -25% et $+25\%$ pour les pluies annuelles et celles des mois de janvier, de mars et de novembre (Tab. 1).

Fourchettes d'erreurs sur les 18 stations tests

Tableau 1

Fourchettes d'erreurs	Annuel %	Janvier %	Mars %	Novembre %
-15 % à +15 %	63	55	56	59
-25 % à +25 %	85	83	85	87

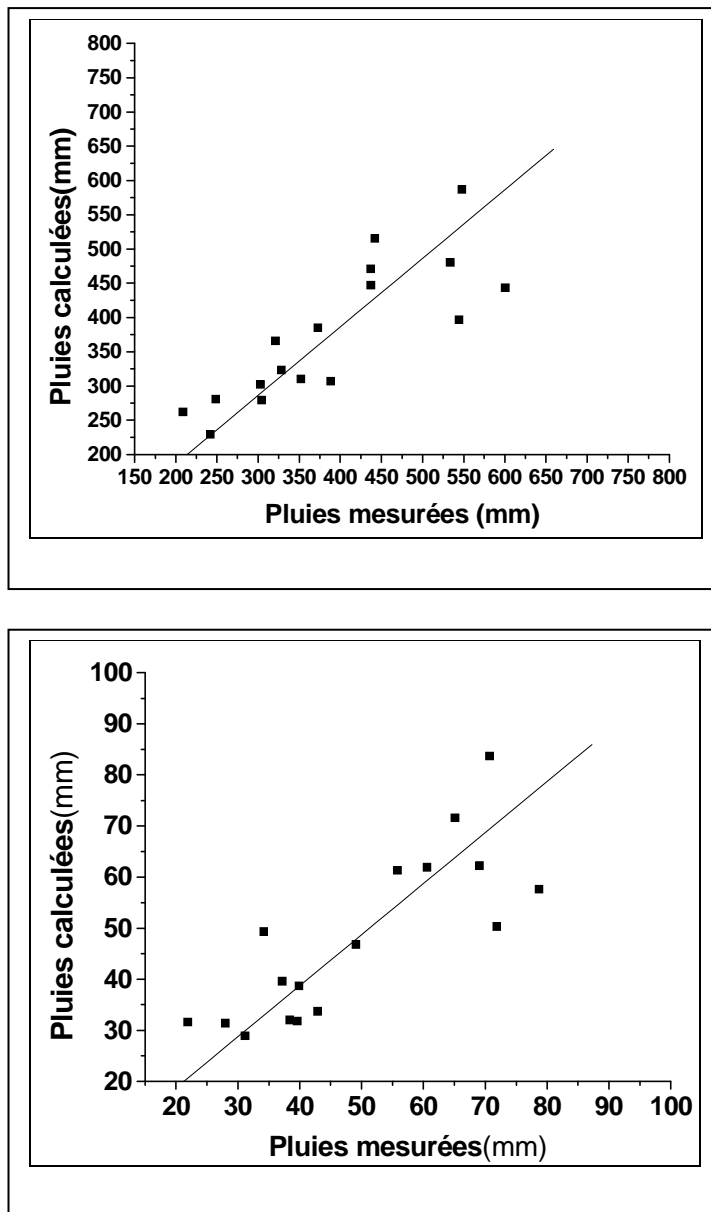


Fig. 11. Validation des régression mensuelles (Janvier) sur 18 stations

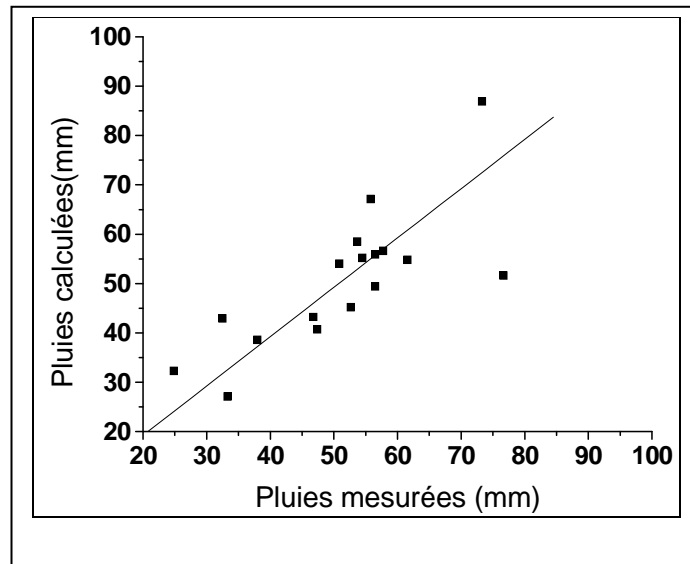


Fig. 12. Validation des régression mensuelles (Mars) sur 18 stations

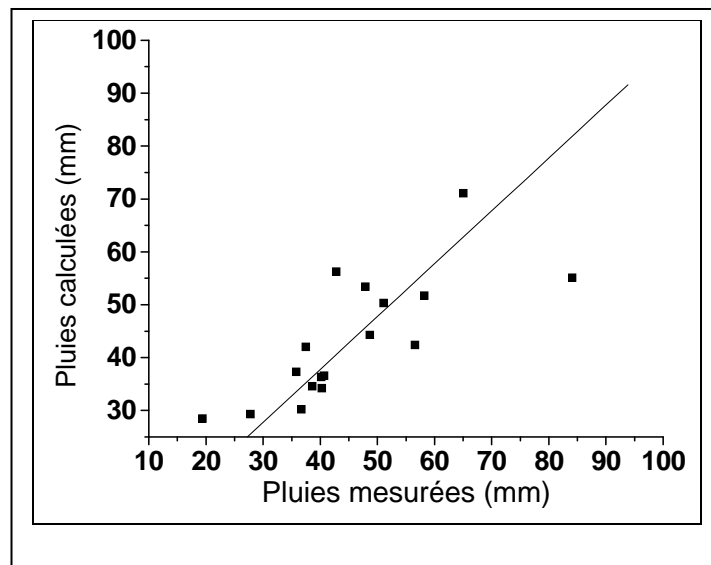


Fig. 13. Validation des régression mensuelles (Novembre) sur 18 stations

7.8. Interprétation des cartes pluviométriques

Les résultats pour le module interannuel, les pluies du mois de janvier, de mars et de novembre sont regroupés dans le tableau n° 2.

Résumé des résultats obtenus et les différentes régressions multiples

Tableau n.2

Paramètre	Annuel		Janvier		Mars		Novembre	
R (coef.Corré) F (Fisher) Constante	0,83 50,93 0,236		0,81 51,15 -0,901		0,80 41,95 -0,145		0,83 50,77 -0,636	
	Coef. Corr. Part.	Coef. Régression	Coef. Corr. Part.	Coef. Régression	Coef. Corr. Part.	Coef. Régression	Coef. Corr. Part.	Coef. Régression
X Lambert	-0,24	-0,172			-0,41	-0,357	-0,25	-0,199
Y Lambert	+0,51	+0,953	+0,57	+0,844	+0,42	+0,874	+0,47	+0,983
Z - altitude	+0,61	+0,198	+0,52	+0,198	+0,57	+0,214	+0,53	0,186
CV-NE-29			+0,35	+0,187	+0,21	+0,098	+0,33	+0,165
CV-NE-30	+0,22	+0,095						
DD-NW-25	-0,33	-0,058	-0,20	-0,042	-0,19	-0,048	-0,28	-0,052
DQ-NE-29					+0,15	+0,038		
E-C-7	+0,30	+0,076	+0,28	+0,098	+0,39	+0,125	+0,19	+0,056
PD-NW-29					-0,18	-0,029		

PD-NE-29							+0,28	+0,064
PQ-NW-29	-0,20	-0,031	-0,28	-0,057			-0,24	-0,045
PQ-NE-29	+0,23	+0,046	+0,32	+0,084				
DQ-E-5								

7. 8. 1. Echelle annuelle (Fig. 10):

La carte montre bien les tendances pluviométriques de la région étudiée. Elle illustre bien l'influence de trois facteurs sur la répartition spatiale des précipitations à savoir: l'altitude, la longitude et la latitude. Les pluies croissent du nord au sud et de l'ouest à l'est. L'augmentation des pluies en altitude, proche du littoral, est liée aux masses d'air humide venues du nord (nord-ouest, nord et nord-est). Sur le nord, à l'est de la région étudiée, les pluies dépassent les 850 mm. Ces pluies diminuent fortement vers le sud où on enregistre des pluies de l'ordre de 100 mm dont le rapport est de l'ordre de 8 fois. Le gradient vertical, à l'est de la région, est d'environ 3 mm/km. On constate une certaine augmentation des pluies sur les massifs d'Oursenis, les monts de Tiaret les monts de Tlemcenet l'Atlas Blédien.

7. 8. 2. Mois de Janvier (Fig. 11):

Les précipitations du mois de janvier sont plutôt sur la partie nord-est de la région étudiée du fait des flux prédominants du nord-est. Avec une diminution dans la partie ouest de la région étudiée du fait de l'effet d'abri vis à vis des vents humide de direction ouest. Les vents de direction nord ouest vident leur humidité proche du littoral et sur les massifs montagneux et elles se vident en allant vers le sud. Egalement, les pluies croissent sur le massif d' Oursenis, les monts de medéa et l'Atlas Blédien.

7. 8. 3. Mois de Mars (Fig. 12):

La situation est sensiblement identique au mois de janvier, néanmoins, les pluies augmentent sensiblement dans les parties intérieures de la région étudiées. La pluviométrie est toujours en étroite relation avec les flux du nord-est prédominant et également les vents de direction nord-ouest telle que indiquée par les paramètres explicatifs des pluies de mars.

7. 8. 4. Mois de Novembre (Fig. 13):

Les pluies du mois de novembre augmentent du sud au nord et de l'ouest à l'est de la zone étudiée. Les vents responsable de ces pluies sont de direction nord, nord-ouest et est

selon les paramètres explicatifs. Les régions qui reçoivent les pluies les plus importantes sont semblables à celles des mois de janvier et du mois de mars.

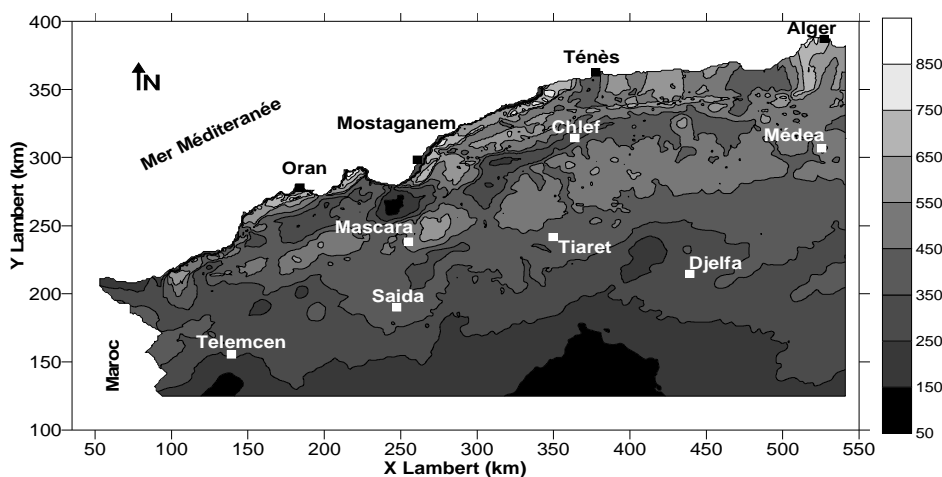


Fig. 14 : Variation Annuelle des précipitations (1968-1998)

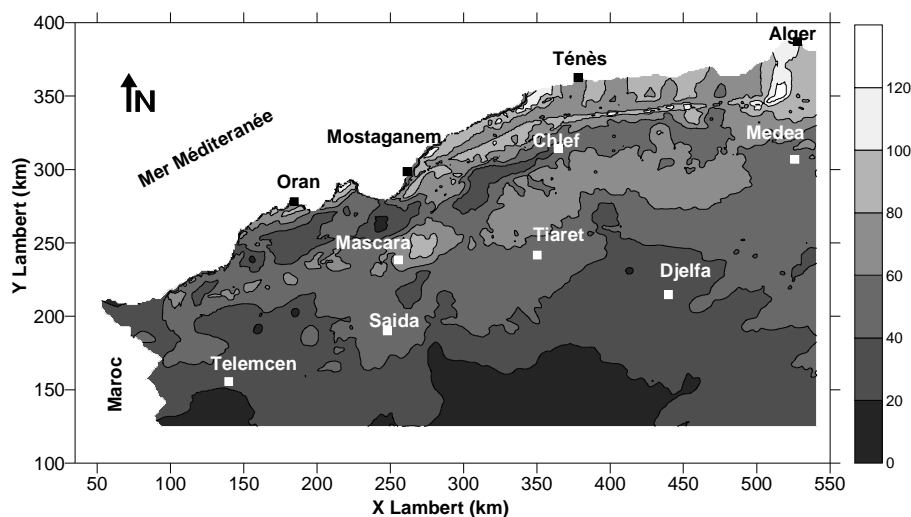


Fig. 15 : Variation des précipitations du mois de Janvier (1968-1998)

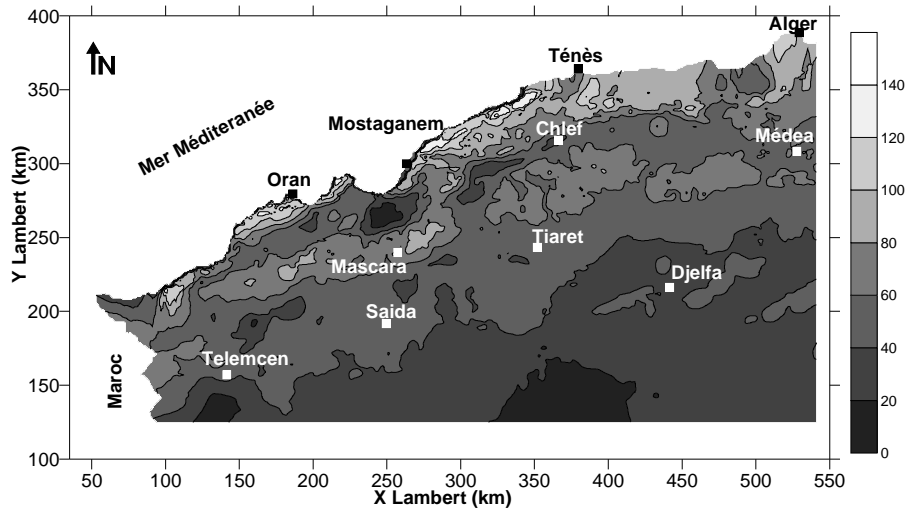


Fig. 16 : Variation des précipitations du mois de Mars (1968-1998)

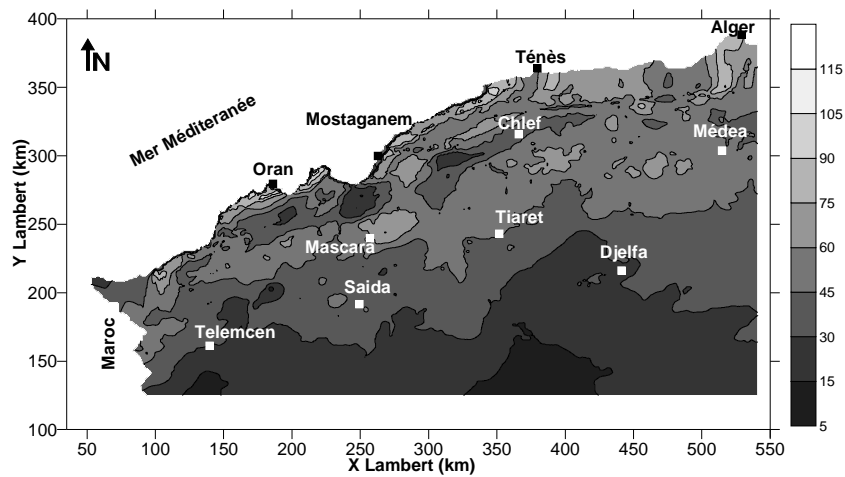


Fig. 17 : Variation Saisonnière des précipitations du mois de Novembre (1968-1998)

8. COMPARAISON AVEC LA CARTE DE L'ANRH (1993)

La carte pluviométrique de l'Algérie du Nord établie par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H.) sous l'autorité scientifique du Professeur Laborde en 1993 s'appuyait sur 470 postes de l'Algérie du Nord (1922-60, 1969-89). On remarque une bonne adéquation entre les racines carrées des moyennes pluviométriques selon l'ANRH et celles calculées par Pluvia (Fig. 18) avec un coefficient de corrélation égal à 0.96. La relation est :

$$P_{68-03} = (0.92\sqrt{P_{ANRH-Laborde}} + 0.25)^2$$

Seules 5 stations sur les 116 stations communes sortent de l'intervalle de confiance à 95%. Donc, dans l'ensemble les estimations faites et la carte établit sont tout à fait cohérentes avec celle de l'ANRH. Mais, nous avons trouvé une baisse, en moyenne, de l'ordre de 13 % par rapport aux pluies moyennes issues de la carte de l'ANRH.

9. CONCLUSION

La méthode Pluvia a permis de tracer les cartes pluviométriques en fonction de la topographie des pluies annuelles, du mois de janvier, du mois de mars et du mois de novembre.

L'étude de validation des modèles a montré une certaine logique dans le tracé de ces cartes. L'étude statistique, concernant cette validation, a montré que les erreurs sur l'estimation des précipitations restent acceptables.

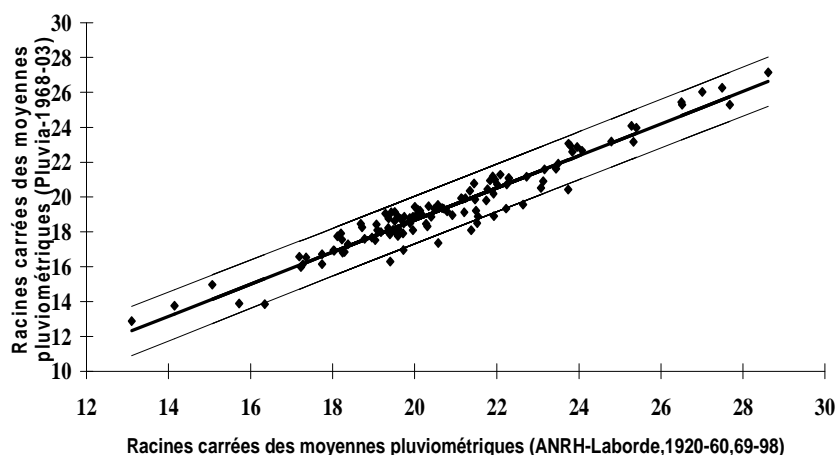


Fig. 18 Relation entre les pluies de la carte ANRH Laborde (1920-60, 69-98) et la carte Pluvia (1968-03)

Après avoir effectué ce travail, nous pouvons dire que cette méthodologie peut être envisagée pour l'étude de l'évolution pluviométrique dans l'espace, néanmoins, il est indispensable de compléter les fonctionnalités de ce logiciel par l'introduction, par exemple, de la distance à la mer selon les différentes directions.

Les pluies annuelles et celles des mois de janvier, mars et de novembre, augmentent du sud au nord et de l'ouest à l'est. La partie littorale et les sommets qui lui sont proche reçoivent les pluies les plus importantes. Les régions intérieures reçoivent moins de pluies du fait de l'appauvrissement des masses nuageuses de leurs humidités au fur et à mesure qu'elle se dirige vers l'intérieur.

Les facteurs physiographiques et météorologiques interviennent implicitement dans les équations de régressions par (Drogue G. et al., 2002):

- La taille et la morphologie des secteurs montagneux au alentour des stations pluviométriques;
 - La distance des postes pluviométriques des crêtes secondaires (influence locale) et principales (influence régionale);
 - L'origine et la direction des masses d'air humide;
- Nous avons trouvé une cohérence acceptable avec la carte de l'ANRH réalisée en 1993 avec une baisse de 13 % sur les pluies moyennes annuelles.

BIBLIOGRAPHIE

1. **Bénichou, P., Lebreton, O., 1987.** 'Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques', La Météorologie, (19), pp.23-34.
2. **Creutin J.D., Obled C., 1982.** Objective analysis and mapping techniques for rainfall fields : an objective comparaison. Water Res. Res., 18 (2), pp. 413-431.
3. **Daly C., Neilson R.P., Philips D.L., 1994.** A stational-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. J. Appl. Meteorol., 33, pp. 140-158.
4. **Drogue G., Humbert J., Deraisme J., Mahr N. et Freslon N., 2002** (A apparaît). A statistical topographic model using an omnidirectional parameterization of the relief for mapping orographic rainfall.
5. **Dumas D., 1998.** Karsts du Zagros (Iran) : Bilans hydrologiques et évolution géomorphologique. Thèse de doctorat, Université de Starsbourg,
6. **Hevesi J.A., Istok J.D., Flint A.L., 1992.** Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. J. Appl. Meteorol., 31, pp. 661-688.
7. **Humbert, J., Perrin, J.L., 1993.** Précipitation et relief : la cas du versant oriental des Hautes Vosges. 'L'Eau, la Terre et les Hommes', Ouvrages en hommage à R. Frecaut. Press Universitaire de Nancy, Septembre 1993, p. 147-154
8. **Humbert, J., Perron, L., Perrin, J.L. (1997)** : Precipitation mapping in mountainous area. Comparison of two statistical models', in *Proceedings, Developments in Hydrology of Mountainous Areas*, 12-16 sept. 1994, High Tatras, Slovakia, UNESCO Publications, pp. 70-75.
9. **Humbert, J., Drogue, G., Mahr, N., 1998.** 'Cartographie des précipitations par paramétrisation omnidirectionnelle du relief : la méthode Pluvia', *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*, Lille, 2-5/9/98, vol. 11, pp. 259-266.
10. **Laborde J.P., 1984.** Analyse des données et cartographie automatique en hydrologie ; éléments d'hydrologie lorraine. Thèse de doctorat Sciences, Université de Nancy, 484 p.
11. **Laborde J.P., 1993.** Carte pluviométrique de l'Algérie du nord à l'échelle du 1/500 000 – notice explicative. A.N.R.H. Janvier 1993.
12. **Laborde J.P., 1998.** Notice d'installation du logiciel HYDROLAB. Version 98.2.
13. **Mahr, N., Humbert, J., 2000.** Quantification spatiale des précipitations du bassin Rhin-Meuse. Présentation du logiciel PLUVIA- Centre d'Etudes et Recherches Eco-Géographiques. Université Louis Pasteur de Strasbourg. Avril 2000. P. 25
14. **Marand C., Zumstein J.F., 1990.** La modélisation des précipitations moyennes annuelles appliquée au Massif vosgien. Hydro. Continent., 5(1), pp. 29-39.
15. **Meddi M. (1992)** Hydrologie et transport solide dans le bassin versant de l'Oued Mina (Algérie). Thèse Unique - Université Louis Pasteur, Strasbourg 320 p.
16. **Meddi M. et Meddi H., 1998.** Etude des pluies journalières et annuelles dans le Sahara Algérien. *Revue Sécheresse Volume 9, Numéro 3 Septembre 1998. pp. 193-199 (Lieu d'édition : France).*
17. **Paul, P., David, B.S., 2006,** *Analysis of the historical precipitation sums of Sulina Station by means of power spectra in relation to Sibiu Station and NAO and SOI Indexes*, Geographia Technica Nr.2/2006, pp.99-104, ISSN 1842-5135
18. **Spreen W.C., 1947.** A determination of the effect of topography upon precipitation. Trans. Am. Geophys. Union, 28, pp. 285-290.