

## CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE DES PRECIPITATIONS : APPLICATION A L'EST ALGERIEN

Reçu le 07/04/2003 – Accepté le 17/06/2003

### Résumé

Les méthodes classiques de cartographie des précipitations laissent place à la cartographie assistée par ordinateur. Les moyens de calcul et les outils actuellement disponibles permettent le traitement de masses de données d'observation considérables ainsi que leur représentation de façon objective et rapide.

C'est dans le cadre de cette nouvelle « ère cartographique » que la représentation du champ pluviométrique algérien a fait l'objet, il y a déjà une décennie, d'application de méthodes d'analyse des données, de géostatistique et de cartographie automatique. Ces techniques que nous utilisons dans l'étude des précipitations annuelles médianes de l'Est algérien, permettent le passage d'une information ponctuelle et brute à une information traitée, interpolée et numérisée.

Développée à l'échelle des « normales » annuelles, la cartographie automatique des pluies algériennes est susceptible d'être étendue à d'autres échelles de temps. Des recherches récentes montrent sa faisabilité tant sur une année particulière que sur un mois d'une année donnée.

Les cartes réalisées constituent à la base des grilles d'information prêtes à être utilisées dans des Systèmes d'Information Géographique (S.I.G.). Elles sont indispensables pour une connaissance continuellement mise à jour du climat et de la ressource en eau.

**Mots-clés:** Précipitations, cartographie automatique, analyse de données, géostatistique, Est algérien.

### Abstract

The traditional methods of rainfall mapping are changing progressively to mapping computer-assisted. The means of calculation and the tools currently available allow the treatment of considerable quantities of observation data and their representation in an objective and fast way. In the context of this new mapping way, analysis methods data, geostatistic and automatic mapping were used, already ten years ago, in the representation of the rainfall field in Algeria. These techniques that we use in this study of median annual rainfall of Eastern Algeria allow the passage from localised and rough data to processed, interpolated and digitized once. Developed on the scale of the annual "normals", the automatic mapping of the Algerian rainfall is likely to be extended to other time scales. Recent research shows its feasibility on a particular year as well as on any one month of a given year.

The information grids which form maps are ready to be used in G.I.S. models. This support is essential in the continuous update of information concerning climate and water resources.

**Keywords:** rainfall, automatic mapping, data analyzes, geostatistic, Eastern Algeria.

### A. MEBARKI

Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire  
Université Mentouri  
Constantine, Algérie

### ملخص

الخريطة التقليدية للتساقط تترك مكانها للخريطة الأتوماتيكية بحيث أصبحت الإمكانيات التي يوفرها الإعلام الآلي حاليا تسمح بمعالجة كميات هائلة من معطيات القياس المناخية وتمثيلها بصفة موضوعية وسريعة.

في إطار هذه التطورات تم إعداد، منذ عشرية خلت، خريطة التساقط للجزائر وذلك بفضل انتهاز طرق تحليل المعطيات، والجيو - إحصاء والخريطة الأتوماتيكية.

ويعتمد موضوع هذا المنشور على التقنيات المذكورة لدراسة معدلات التساقط السنوي في الشرق الجزائري: معالجة المعطيات المتوفرة على مستوى محطات القياس، تعميمها جغرافيا وإعدادها على شكل خريطة رقمية.

وتؤكد البحوث الأخيرة عن إمكانية إنجاز مثل هذه الخرائط ليس على مستوى المتوسطات السنوية فحسب بل حتى على مستوى سنة ما أو شهر من سنة ما.

إن إعداد هذه الخرائط يؤول إلى تكوين قاعدة معطيات مرنة وقابلة للإدماج في منظومة معلوماتية جغرافية وهي جد ضرورية لإحداث المعرفة في المناخ والموارد المائية.

**الكلمات المفتاحية:** تساقط، خريطة أتوماتيكية، تحليل المعطيات، جيو- إحصاء، الشرق الجزائري.

## I. INTRODUCTION : LES METHODES CARTOGRAPHIQUES DES PRECIPITATIONS

En Algérie du Nord où domine un climat de type méditerranéen, les précipitations se caractérisent par une forte variabilité spatio-temporelle. Elles constituent, par ailleurs, le facteur le plus fortement explicatif des régimes hydrologiques des cours d'eau. L'indispensable connaissance spatiale de cet élément, dans toute étude hydro-climatologique, montre l'intérêt d'une cartographie qui soit tout à la fois objective et reproductible.

Les travaux réalisés auparavant se basaient sur l'interpolation manuelle du contour des isohyètes à partir des données mesurées aux stations, en s'appuyant sur un fond hypsométrique :

- la carte pluviométrique de Seltzer P. (1946) a été établie à l'échelle du 1/1000 000, d'après les moyennes brutes de 25 années climatiques, de septembre 1913 à août 1938 [1] ;
- la carte au 1/500 000 de Gausson H. (1948) couvre la période 1913-1947 [2] ;
- enfin, la carte au 1/500 000 de Chaumont M. et Paquin C. (1971) représente les précipitations annuelles moyennes ramenées à une période de 50 ans (1913-1963) [3].

Il est indéniable que ces cartes, faisant largement appel à

l'expérience et à la connaissance des auteurs du domaine géographique étudié, restent des documents de référence pour la pluviométrie algérienne.

Aujourd'hui, la cartographie automatique, outre le gain en objectivité concernant le tracé des isohyètes, offre-t-elle des avantages que ne pouvait permettre la cartographie traditionnelle :

- les cartes informatisées peuvent être mises à jour assez rapidement au vu de la disponibilité de nouvelles séries d'observation ;

- elles sont « maniables » au sein d'un Système d'Information Géographique, car correspondant à des couches d'information numérisées.

Pour substituer à l'élaboration manuelle de la carte pluviométrique une méthode automatique et opérationnelle, il était nécessaire de rationaliser les différentes étapes de la cartographie [4] en partant de la prise en compte quantitative du « paysage » topographique environnant chaque point de mesure pour reconstituer l'ensemble du champ pluviométrique [5].

C'est dans le cadre d'une telle démarche qu'a vu le jour, en 1993, la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 (moyennes de 60 ans : du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1968 au 31 août 1989). Cette carte, réalisée par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H.) suivant une méthodologie proposée par J-P. Laborde (Université de Nice-Sophia Antipolis), a constitué le premier jalon d'une cartographie basée sur l'utilisation d'outils modernes à l'effet de répondre aux besoins des projeteurs et différents utilisateurs avec les moyens de notre temps [6, 7].

La carte des précipitations annuelles médianes de l'Est algérien que nous présentons ci-après, procède d'une démarche analogue et s'appuie sur les mêmes techniques utilisées : Analyse en Composantes Principales (A.C.P.), modélisation statistique, Modèle Numérique de Terrain, (M.N.T.), géostatistique, cartographie automatique. Réalisée dans le cadre de nos recherches en hydrologie régionale et aménagement, cette carte est établie pour représenter une période de référence commune à celle des autres éléments des bilans hydrologiques étudiés [8].

Dans la continuité de cette approche, des recherches récentes ont montré la faisabilité de la cartographie automatique des pluies algériennes aussi bien à l'échelle d'une année particulière [9] qu'à l'échelle d'un mois d'une année donnée [10]. Des travaux antérieurs ont, en outre, porté sur la cartographie des pluies journalières extrêmes de la région algéroise [11] et de l'ensemble de l'Algérie du Nord [12].

## II. CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNEES PLUVIOMETRIQUES HOMOGENES

La nécessité d'estimer les lames précipitées dans les bassins de l'Est algérien nous a amené à représenter le champ pluviométrique de cette région, couverte par un réseau de 120 postes pluviométriques, sélectionnés au vu de la qualité des séries disponibles (période moyenne: septembre 1972 - août 1984) (Fig. 1).

Les chroniques de précipitations annuelles étant sensiblement « racines-normales », il a été permis de

procéder au comblement des lacunes à l'aide d'une Analyse en Composantes Principales (A.C.P.) des racines carrées des valeurs de pluies observées.

*D'après les études antérieures, les pluies annuelles en Algérie sont distribuées suivant une loi racine normale. Cette loi statistique a pour fonction de répartition:*

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-u^2/2} du \quad \text{avec } u = \frac{\sqrt{P} - \sqrt{P}}{\sigma\sqrt{p}}$$

où :

- $F(x)$  est la probabilité qu'une valeur quelconque de  $X$  soit inférieure ou égale à  $x$  ;

- $u$  est la variable réduite de Gauss.

*Cette loi est caractérisée par deux paramètres :*

- $\sqrt{P}$  : moyenne des racines carrées de la série de précipitations ;

- $\sigma\sqrt{P}$  : écart-type des racines carrées de la série de précipitations.

*S'agissant d'une distribution symétrique,  $(\sqrt{P})^2$  représente la pluie médiane.*

Nous avons adopté la méthode « Bouche trou » (programme écrit sous forme de macros sur Excel, développé par J-P. Laborde), compte tenu des résultats satisfaisants obtenus lors de son application aux données de 470 postes pluviométriques retenus dans l'étude d'élaboration de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord. Cette technique de comblement des lacunes consiste à établir des régressions multiples successives entre les valeurs observées et les vecteurs régionaux issus d'une A.C.P. [6, 7, 10].

Ainsi, les 18% d'informations pluviométriques annuelles manquantes ont été reconstituées par le biais de cette méthode, ce qui nous a permis de calculer pour chaque station la pluie interannuelle médiane, variant entre 88 mm (Foum El Gherza dans le piémont saharien) et 1633 mm (Zitouna dans le massif de la Kabylie de Collo).

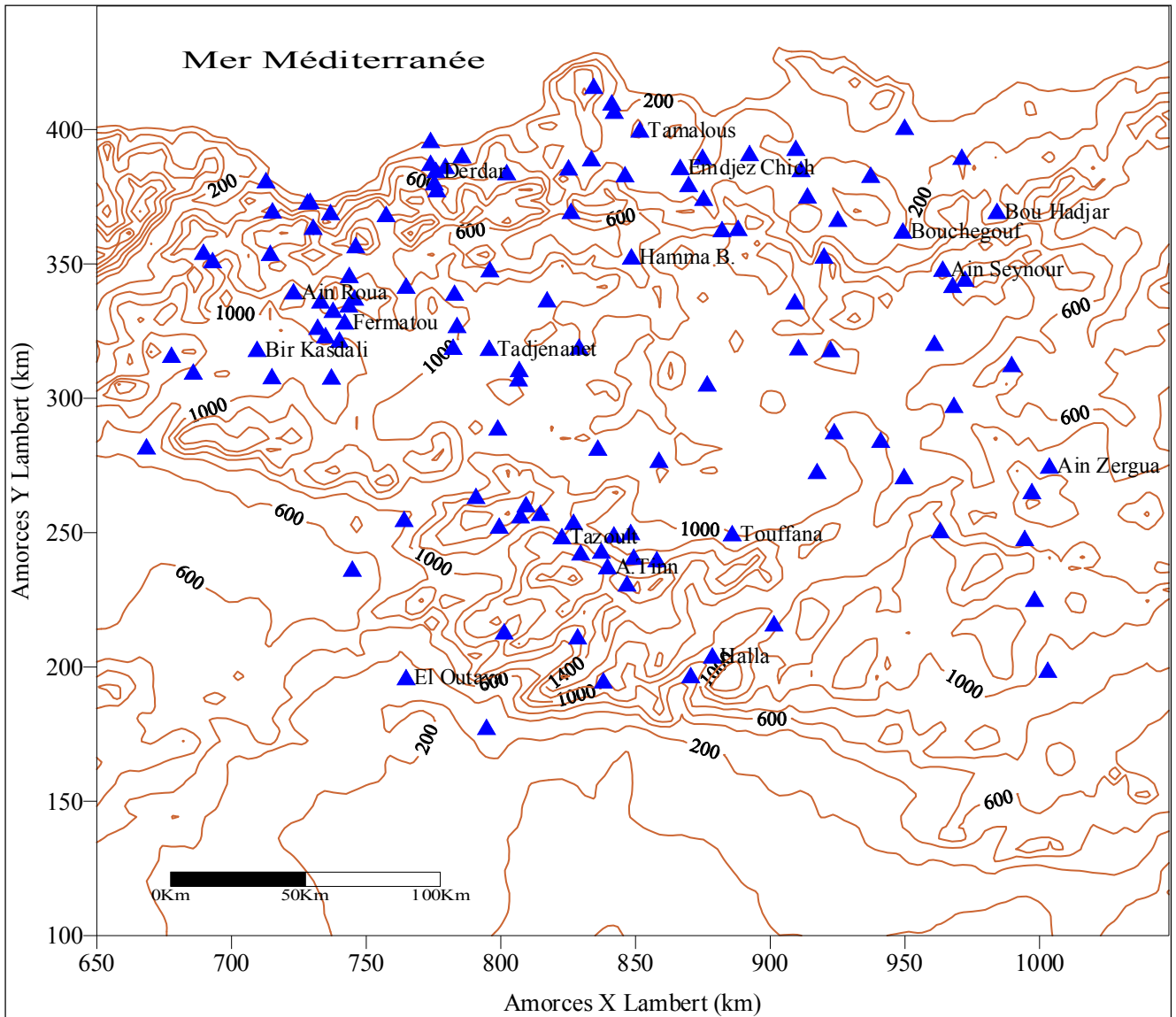
Pour l'échantillon de stations retenu, l'écart type des hauteurs de pluies annuelles est de 290 mm et le coefficient de variation  $C_v$  inter-postes de 0,57. Du point de vue de la variabilité interannuelle des pluies,  $C_v$  est de 0,29 en moyenne, oscillant géographiquement entre les valeurs extrêmes de 0,12 dans le Nord (Oum Toub et Zitouna) et 0,83 dans le Sud (Bordj Sbeikia).

L'intervalle de variation des altitudes réelles des postes pluviométriques est considérable (station de Jijel sur le littoral : 6m ; station d'Ain Tinn dans la chaîne montagneuse des Aurès: 1650m) et 50 % des postes sont localisés à une altitude supérieure à 836,5m (altitude médiane).

## III. CARTOGRAPHIE DES ISOHYETES ANNUELLES MEDIANES

### 1. Le relief pris en compte à travers le M.N.T.

Parallèlement à l'exploitation des données de mesure pluviométrique, la cartographie automatique des isohyètes



**Figure 1:** Présentation de la région d'étude : Modèle Numérique de Terrain et localisation des postes pluviométriques.

s'appuie sur le traitement de l'information topographique, facteur influençant notablement la variation spatiale des pluies.

L'information sur le relief est étudiée à travers un M.N.T. (Digital Elevation Model ou D.E.M.), extrait d'une image satellitaire couvrant l'ensemble du continent africain (diffusion sur Internet par EROS Data Center de l'U.S. Geological Survey). Les coordonnées des nœuds de la grille, établies à l'origine dans un système géographique (30" d'arc en longitude et latitude), ont fait l'objet de conversion en coordonnées Lambert [12, 17].

Compte tenu de la nature du phénomène étudié (les précipitations) et de l'étendue du domaine géographique (l'Algérie orientale), l'altitude estimée en tout point d'une grille deux fois kilométrique (maillage de 2 x 2 km) s'est avérée suffisante pour rendre compte de la relation pluie-relief (Fig. 2).

Le M.N.T. du territoire national, généré à partir des courbes de niveau et d'un semis de points cotés, est aujourd'hui disponible avec un pas de la grille de 200 m

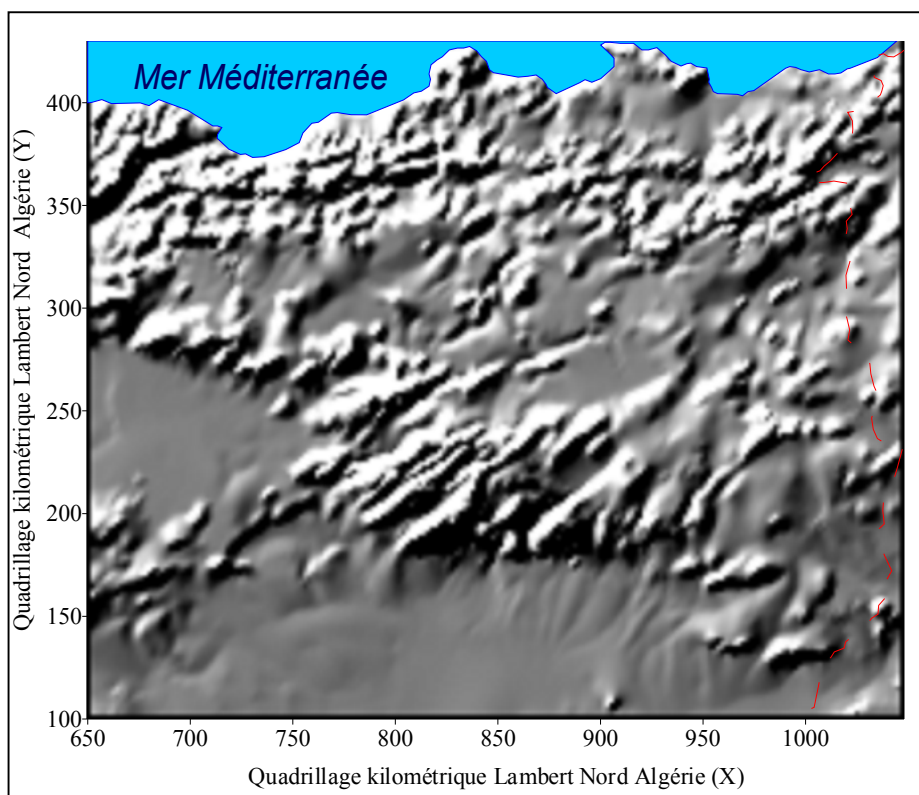
(Institut National de Cartographie et de Télédétection).

## 2. Mise en œuvre cartographique

Connaissant à la fois les hauteurs de pluies observées aux points de mesure (information connue de façon discrète) et le relief (connu de façon continue), il s'agit de valoriser l'information pluviométrique à l'aide des méthodes statistiques (régression multiple) pour procéder ensuite au krigeage du champ des résidus de la régression. La combinaison de l'équation de régression et du résidu interpolé permet d'obtenir la représentation finale du champ pluviométrique (Fig. 3):

- La moyenne des racines carrées des précipitations annuelles  $\sqrt{P_e}$  est estimée en fonction de l'altitude lissée (Zliss9 en m), de la latitude (Y : coordonnée Lambert en km) et de la longitude (X : coordonnée Lambert en km).

*L'intérêt de l'altitude lissée Z9 est de ne tenir compte que de la topographie qui influence réellement le déplacement des masses d'air et par conséquent des*



**Figure 2:** Topographie de l'Est algérien vue en 3D à travers le M.N.T.

précipitations [10]. Elle est obtenue en remplaçant chaque altitude d'une maille par la moyenne d'altitude de cette maille et de celle des 8 mailles voisines (soit une fenêtre de  $3 \times 3 = 9$  mailles couvrant une surface de  $36 \text{ km}^2$ ).

L'équation mise au point doit être appliquée à n'importe quel point de la grille couvrant la région étudiée. Après plusieurs essais, nous avons retenu les résultats de la meilleure régression (avec un coefficient de corrélation multiple  $R = 0,91$ ) faisant intervenir au total 6 variables explicatives et un terme constant ( $X, Y, Z_{\text{liiss9}}, XZ_{\text{liiss9}}, YZ_{\text{liiss9}}, Z_{\text{liiss9}}/Y-550, 21,32 = \text{constante}$ ).

- Le résidu  $\sqrt{\varepsilon}$  correspondant à la différence entre les précipitations mesurées et les valeurs calculées, c'est à dire la part des précipitations non expliquée par le relief, est interpolé par krigeage, des points de mesure à l'ensemble de la grille. Pour effectuer le krigeage (avec le logiciel SURFER), le variogramme des résidus des moyennes des racines carrées des pluies interannuelles est approché par une fonction de type sphérique [13, 14].

- Enfin, en tout point de la grille, connaissant les variables explicatives, on obtient par application de l'équation, la grille finale des précipitations annuelles médianes:  $P = \left( \sqrt{P_e} + \sqrt{\varepsilon} \right)^2$  permettant de tracer, avec SURFER, les courbes isohyètes. Un fond hypsométrique issu du M.N.T. et différents éléments d'habillage peuvent être ajoutés à la carte réalisée.

Parce qu'elle prend en compte, au départ, en chaque point de mesure, la valeur de pluie observée et l'information géo-topographique associée, la carte obtenue se présente comme la plus réaliste possible (Fig. 4). Ceci

comparativement à celle réalisée par application directe du krigeage sur les valeurs mesurées, c'est-à-dire sans prise en compte de l'information « relief » (Fig. 5).

### 3. Zones pluviométriques et lames d'eau précipitées

L'examen de la carte d'isohyètes de l'Est algérien permet de faire ressortir une répartition des zones pluviométriques, en bandes longitudinales, et de valeur décroissante du Nord vers le Sud (Fig. 4). Le fort gradient latitudinal (le coefficient de corrélation partielle le plus fort est celui qui lie  $\sqrt{P_e}$  à  $Y$  Lambert avec  $R = 0,71$ ) et secondairement l'altitude, commandent, pour une grande part, cette distribution spatiale. Les précipitations varient de plus de 1, voire 1,5 m par an sur les sommets du Tell maritime (Jijel, Collo, Edough) et sur les Monts de la Medjerda, à moins de 100 mm

dans la zone présaharienne, en passant par une zone de 300-500 mm particulièrement développée (Hautes Plaines). Ce schéma de répartition est altéré par l'effet orographique de la chaîne de l'Atlas Saharien (auréoles de plus de 600-700 mm épousant les sommets des Aurès-Nemmemcha). Au-delà, sur la grande dépression du Chott Melrhir les précipitations se raréfient.

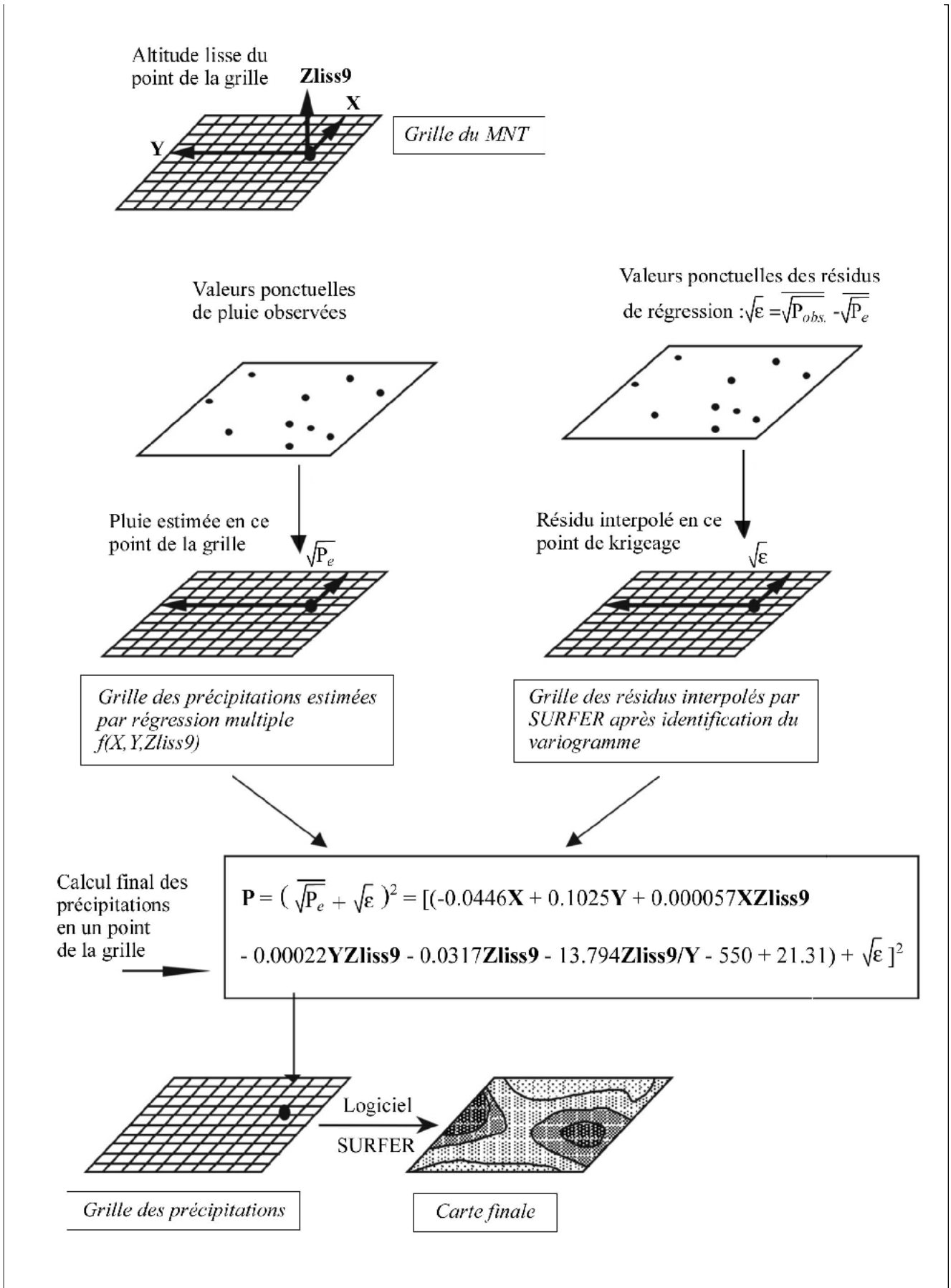
La comparaison de cette carte avec celle de l'A.N.R.H. qui couvre une période longue de 60 ans (1922-60 et 1969-89), montre une bonne concordance sur le plan géographique avec, cependant, un déficit pluviométrique moyen de l'ordre de 8 %. En raison des deux décennies les plus récentes (1969-89), plutôt sèches, la carte de l'A.N.R.H. accuse elle-même un déficit pluviométrique de 10 % par rapport aux données de la série de Chaumont et Paquin (1913-63).

Pour 90 postes pluviométriques concernés par notre étude ( $P_{EST(72-84)}$ ) et communs à ceux étudiés par l'A.N.R.H., la régression linéaire simple établie entre les moyennes des racines carrées des précipitations annuelles des deux périodes montre une très bonne corrélation ( $R = 0,985$ ) (Fig.6) et l'équation s'écrit comme suit :

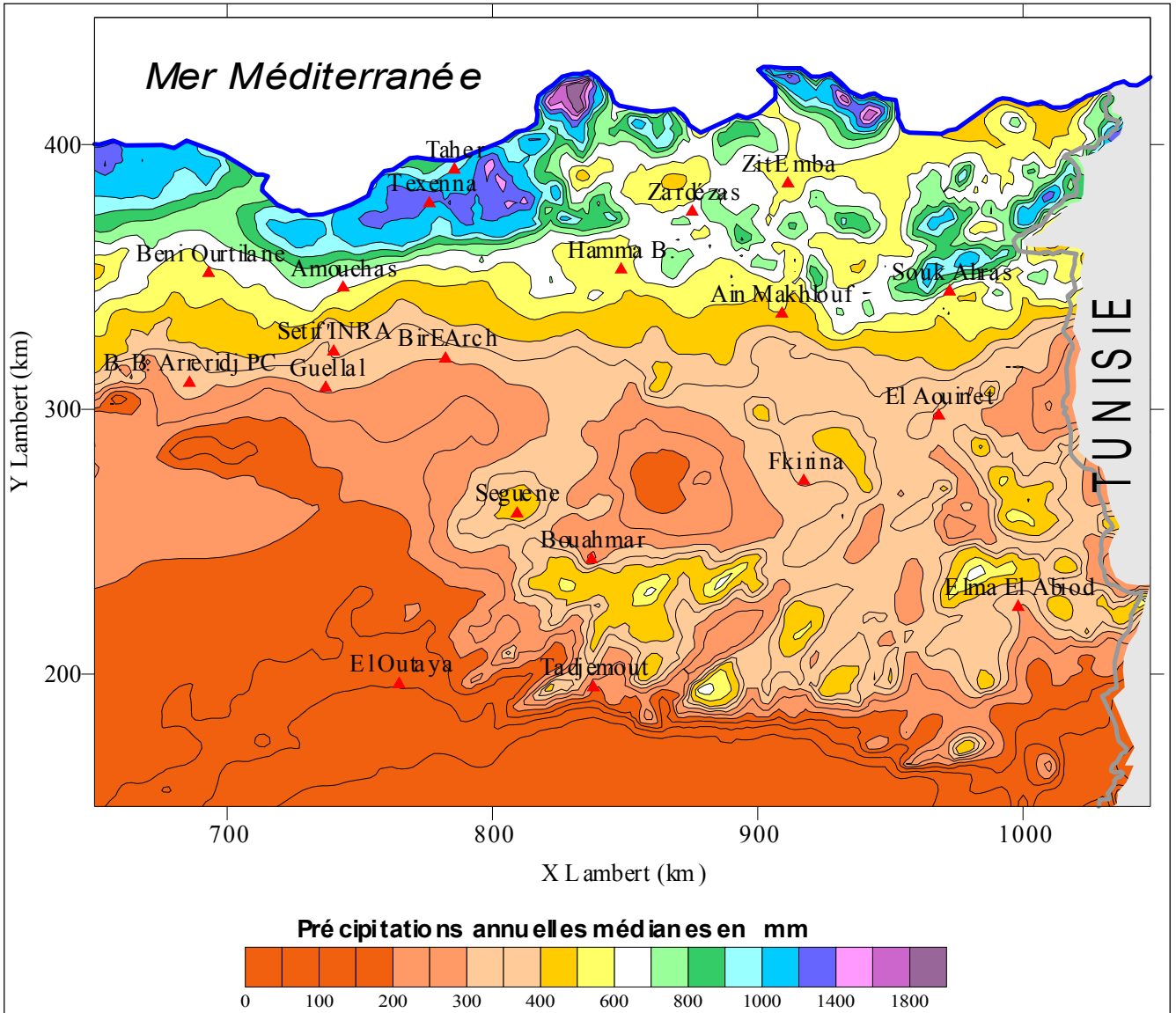
$$\sqrt{P_{EST(72-84)}} = 0,99 \sqrt{P_{ANRH}} - 1,21$$

Par ailleurs, à partir de la carte d'isohyètes réalisée, nous avons calculé (par planimétrie) les lames d'eau moyennes précipitées sur 42 bassins hydrographiques jaugés, répartis à travers l'Est algérien :

- la moyenne arithmétique calculée sur l'échantillon de lames précipitées interannuelles, reçues par les bassins, est de 485,4 mm ; la moyenne pondérée ramenée à l'ensemble des aires observées est de 437,7 mm.



**Figure 3:** Schéma des différentes étapes de réalisation de la cartographie des pluies annuelles médianes de l'Est algérien.



**Figure 4:** Carte des précipitations annuelles médianes de l’Est algérien (Période moyenne : 1972/73- 1983/84).

- les valeurs extrêmes varient entre 200 (bassins du Ksob et Soubella dans le Hodna) et 1200 mm (bassin d’El Agrem dans les Côtiers Est). L’écart type (ET) est de 209,8 mm et le coefficient de variation (CV) de 0,43.

**IV. METHODES D’APPLICATION DE LA CARTOGRAPHIE DES PLUIES A D’AUTRES ECHELLES DE TEMPS**

**1. De l’année moyenne à l’année particulière**

Comment passer de la grille des pluies annuelles moyennes à une grille des pluies pour l’année *i* afin de représenter le champ pluviométrique d’une année particulière observée ?

Pour résoudre ce problème, Touazi M. et Laborde J-P [9] ont construit une démarche qui se résume comme suit : sachant que les pluies annuelles en Algérie s’ajustent à une loi racine normale, l’établissement de la grille des hauteurs des pluies  $\sqrt{P_i}$  de l’année *i* est obtenue en faisant

la combinaison des grilles des racines carrées des pluies moyennes annuelles  $\sqrt{P}$ , des écart-types des racines des pluies  $\sigma\sqrt{P}$  et celle des pluies centrées réduites  $u_i$ . Ceci par application de l’équation de la droite d’ajustement (celle appelée droite de Henry tracée sur papier Gauss) sur laquelle s’alignent les points  $\sqrt{P_i}$  :

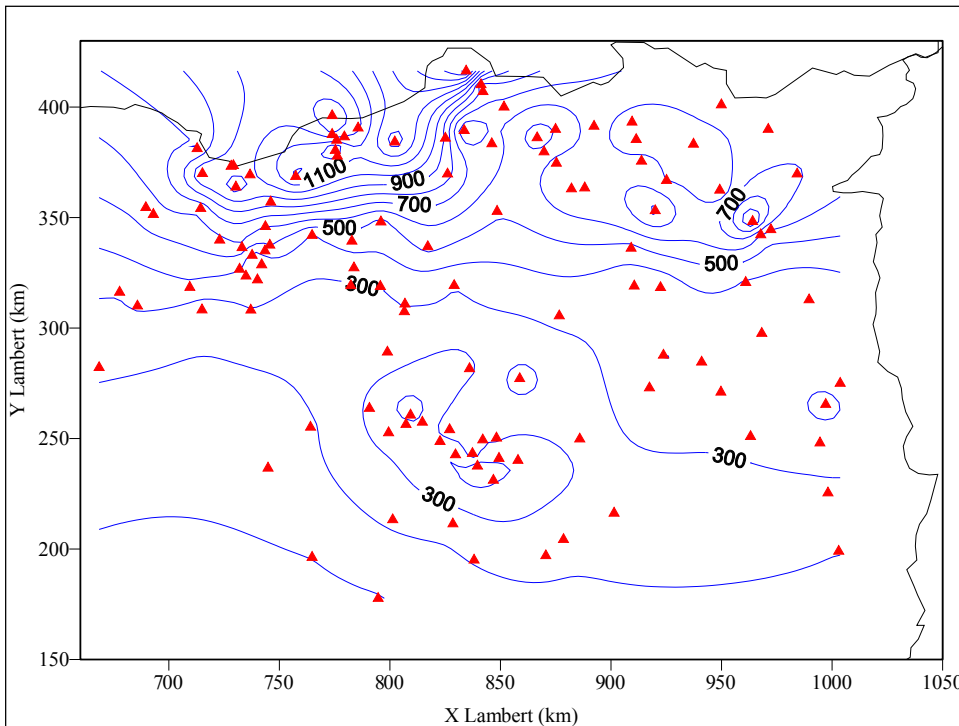
$$\sqrt{P_i} = (\sqrt{P} + u_i * \sigma\sqrt{P}) \text{ et } P_i = (\sqrt{P} + u_i * \sigma\sqrt{P})^2$$

C’est une démarche en quatre temps :

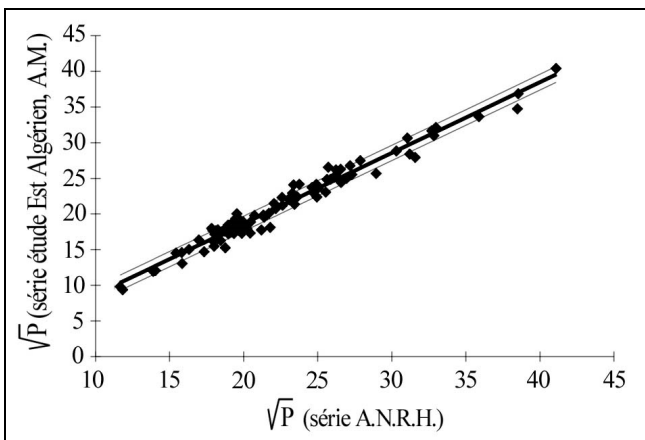
- il s’agit de calculer au préalable le champ des variables réduites  $u_i$  calculées ponctuellement pour l’année *i* à partir des grilles  $\sqrt{P}$  et  $\sigma\sqrt{P}$  et du champ des pluies  $\sqrt{P_i}$  de l’année observée *i* :

$$u_i = (\sqrt{P_i} - \sqrt{P}) / \sigma\sqrt{P}$$

- l’on procède à l’établissement de la grille des pluies centrées réduites par interpolation, par la méthode du



**Figure 5:** Interpolation (gridding with kriging) des précipitations annuelles médianes, observées dans l'Est algérien, sans prise en compte du relief.



**Figure 6:** Régression linéaire entre les racines carrées des moyennes pluviométriques annuelles observées en 90 postes de l'Est algérien, selon 2 séries différentes (série A. Mébarki en Y et série ANRH en X).

krigeage, du champ des variables réduites  $u_i$  de l'année  $i$  (variables aléatoires gaussiennes de moyenne nulle et de variance l'unité) ;

- le passage des variables réduites  $u_i$ , interpolées en tout point de la grille, à celles des pluies pour l'année  $i$  s'effectue en utilisant l'équation précitée :

$$P_i = (\sqrt{P} + u_i \times \sigma \sqrt{P})^2 ;$$

- enfin, le tracé de la carte finale des pluies de l'année  $i$  est réalisé avec SURFER à partir de la grille des  $P_i$  élaborée précédemment.

Il faut noter qu'au delà de la représentation du champ pluviométrique de l'année considérée, cette façon de

procéder offre l'avantage de connaître en tout point de la carte, connaissant les valeurs de  $u$  interpolées, la fréquence théorique au dépassement  $F$  (cf.  $F(u)$  données par les tables de la fonction de Gauss) et la période de retour  $T$  ( $T=1/F$ ) des pluies annuelles.

Si par exemple, pour l'année  $i$  et au point de la grille  $X_i$  et  $Y_i$ ,  $u$  est interpolé à 1.28, la fréquence de la pluie annuelle considérée en ce point de coordonnées est  $F=0.1$ , soit une période de retour (en année humide) de cette pluie :  $T=10$  ans.

## 2. Approche cartographique au pas de temps mensuel

La répartition spatiale des pluies mensuelles moyennes obéit-elle à la loi pluie – relief tout comme les pluies

annuelles moyennes ? Si c'est le cas, comment passer d'une information ponctuelle à une représentation spatiale de la pluie observée d'un mois d'une année donnée ?

La solution préconisée par Assaba M. et Laborde J-P [10] réside dans la réalisation d'une succession d'opérations :

- tout d'abord, le choix d'un modèle de distribution statistique des pluies mensuelles (loi racine normale) permettant de déduire les valeurs moyennes ou médianes  $\sqrt{P_m}$  et le coefficient de variation (CV) ;

- la recherche ensuite d'une relation (régression multiple) liant les  $\sqrt{P_m}$  et les paramètres géographiques explicatifs (7 paramètres au total dans le cas de la Corse) permet d'envisager une cartographie des pluies mensuelles médianes. L'interpolation des résidus entre valeurs observées et estimées des pluies mensuelles médianes conduit au tracé des isohyètes, par combinaison de la grille des résidus avec les autres grilles des coordonnées Lambert ( $X, Y$ ) et de l'altitude lissée ( $Z_{liss}$ ) ;

- dans une troisième étape, il est proposé de cartographier le rapport de la pluie d'un mois donné à sa médiane soit :  $V = \sqrt{P_i} / \sqrt{P_m}$ , paramètre relativement constant et peu influencé par le relief. Son interpolation aux nœuds d'une grille est effectuée par la méthode Spline ;

- enfin, la cartographie de la pluie d'un mois donné de l'année considérée  $P_i = (\sqrt{P_m})^2$  est obtenue par la simple combinaison des deux grilles élaborées précédemment (grille des moyennes des racines carrées des pluies mensuelles et grille du rapport  $V$ ) selon la formule suivante :  $P_i = (V * \sqrt{P_m})^2$ .

Testée en Corse, cette méthodologie est en cours d'application à l'Algérie du Nord pour le calcul des pluies mensuelles sur une série de 30 ans (1965-1994).

### CONCLUSION

L'Est algérien, connu pour être la région la plus arrosée du pays mais où les contrastes géographiques sont des plus forts, se présente comme un intéressant terrain d'application de la cartographie automatique du champ pluviométrique. Au-delà du long travail de traitement des données de base, il apparaissait nécessaire de quantifier les variables géo-topographiques, induisant les variations dans les trois dimensions de l'espace du phénomène étudié que la seule densité du réseau de mesures ne pouvait appréhender. Aussi, fallait-il appliquer des interpolations purement spatiales aux seuls paramètres (résidus) physiquement non expliqués.

Conjuguée à l'essor de l'outil informatique, la multiplication, depuis quelques années, des approches conduit aujourd'hui à des cartes d'isohyètes qui gagnent en objectivité, facilement reproductibles et réalisables à d'autres pas de temps que celui de l'année moyenne. Ces bases d'information, à référence spatio-temporelle, sont susceptibles d'être utilisées dans des Systèmes d'Information Géographique (S.I.G.) [15], outils devenus indispensables dans divers domaines d'étude et d'aide à la décision (eau, agriculture, aménagement du territoire, environnement...).

Il s'avère que d'autres paramètres climatiques, comme la température de l'air, l'insolation ou l'évapotranspiration, se prêtent aisément à l'interpolation et par conséquent à la cartographie automatique [16], comme le montre la confection toute récente de la carte au 1/500 000 des évapotranspirations potentielles (E.T.P.) du Nord algérien [17].

Il reste à rappeler que quelle que soit la performance des modèles et des outils utilisés, la validité de la cartographie des éléments du climat est subordonnée à la qualité des mesures sur le terrain, à leur continuité dans le temps et également à leur plus grande représentativité géographique. L'optimisation des réseaux de mesures est une opération hautement souhaitable dans une région où les fortes nuances géographiques sont déterminantes.

### REFERENCES

- [1]- Seltzer P., "Le climat de l'Algérie. Alger, Institut de Météorologie et de Physique du Globe", Carbonnel, (1946), 219 p., 2 cartes hors-texte.
- [2]- Gaussen H., "Carte des précipitations de l'Algérie (moyenne 1913-47), échelle 1/500 000" (4 feuilles). I.G.N., Paris, (1948).
- [3]- Chaumont et Paquin C., "Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, échelle 1/500 000" (4 feuilles et notice). Société de l'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, Alger, (1971).
- [4]- Atlas climatique du Fossé Rhénan Méridional (Klimaatlant Oberrhein Mitte-Süd). REKLIP, IFG - VDF, éd. COPRUR, Strasbourg.
- [5]- Benichou P. et Lebreton O., "Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques", *La Météorologie*, 7<sup>e</sup> série, n°19, (1987), pp. 23-44.
- [6]- ANRH, "Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500000" (2 feuilles, une notice de 49 p.). Ministère de l'Équipement, éd. I.N.C., Alger, (1993).
- [7]- Laborde J-P., "Les différentes étapes d'une cartographie automatique : exemple de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord". *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 8, (1995), pp. 37-46.
- [8]- A. Mebarki, "Apports des cours d'eau et bilans hydrologiques des bassins de l'Est algérien", *Bulletin des Sciences Géographiques*, Alger, I.N.C.T., n°10, (2002), pp. 45-54.
- [9]- Touazi M. et Laborde J-P., "Cartographie des pluies annuelles en Algérie du Nord", *Publications de l'Association internationale de Climatologie*, vol.13, (2000), pp. 191-199.
- [10]- Assaba M. et Laborde J-P., "La prise en compte du relief dans l'estimation des pluies mensuelles : le cas de la Corse", *Publications de l'Association internationale de Climatologie*, vol.13, (2000), pp. 149-157.
- [11]- Aissani B. et Laborde J-P., "Les pluies extrêmes et leur cartographie automatique dans la région algéroise. Document préliminaire", Conférence sur le Climat méditerranéen et les ressources en eau « Eau verte – Eau bleue », Marseille, 6-8 septembre, (1983), 8 p.
- [12]- Mouhous N., "Etude des précipitations extrêmes journalières en Algérie du Nord", Mémoire de D.E.A. « Milieux physiques méditerranéens », Université de Nice-Sophia Antipolis, (1997), 100 p.
- [13]- Laborde J-P., "Méthodes d'interpolation et géostatistiques pour la cartographie automatique à l'usage des géographes", (cours photocopié), Université de Nice, (1991), 29 p.
- [14]- Meylan P., "Régionalisation de données entachées d'erreurs de mesure par krigeage. Application à la pluviométrie", Paris, Hydrologie continentale, vol. 1, n°1, (1986), pp. 25-34.
- [15]- Touazi M., "Evaluation des ressources en eau et acquisition de bases de données à références spatiale et temporelle en Algérie du Nord", Thèse doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, (2001), 300 p.
- [16]- Davtian G., "Analyse des données et cartographie automatique : application aux principales variables climatiques du versant méditerranée du Maghreb", Thèse doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, (1998), 328 p. et annexes.
- [17]- ANRH, "Carte des évapotranspirations potentielles du Nord de l'Algérie au 1/500 000" (2 feuilles, notice de 42 pages). Ministère des Ressources en Eau, éd. I.N.C.T., Alger, (2002). □



