

# PRÉCIPITATIONS ATMOSPHÉRIQUES ET ALTITUDE. PRÉLUDE À UNE CARTOGRAPHIE DES MONTANTS ANNUELS ET MENSUELS EN BELGIQUE

J. ALEXANDRE, M. ERPICUM, G. MABILLE et Y. CORNET <sup>(1)</sup>

*(1) Université de Liège, Département de Géographie physique, Service de Climatologie  
et de Géologie du Quaternaire, allée du 6-août, 4000 Liège, Belgique.  
Tél. 32-(0)4 655 221, Fax 32-(0)4 655 722, E-mail Michel.Erpicum@ulg.ac.be*

## Résumé:

L'évolution dans le temps (mois, année) et dans l'espace (régions) des caractéristiques de la régression entre les précipitations et l'altitude, est étudiée à l'aide des coefficients de régression et de détermination (temps) et des valeurs résiduelles (espace). Même pour les saisons où le coefficient de détermination est assez faible (0,43 en octobre), les résidus se regroupent dans l'espace en zones assez homogènes, au sein desquelles la régression redevient significative. Se fondant sur cette constatation, un modèle simple est présenté. Il associe pour chaque nœud d'un réseau au pas de 500m, d'une part (a) une hauteur précipitée dérivée d'une régression et d'un modèle numérique de terrain et d'autre part (b) un correctif qui n'est autre que le résidu calculé par krigeage à partir des données fournies par les stations. Les valeurs obtenues par ce modèle ont été comparées aux données de stations non utilisées. Dans l'exemple du mois de janvier, les écarts en valeur absolue sont de 2,5 mm en moyenne.

## Abstract:

The regression of precipitations on altitude along time (month, year) and through the space (region) has characteristics that have been studied by the mean of regression and determination coefficients (time) and residual values (space). Even for a season with low determination coefficient (.43 in October), residuals are spatially gathered in areas either homogenous or slightly evolving in a direction. The regression becomes significant in such areas. Based on these findings, a very simple model has been set out which associates for each node of a 500 x 500m grid (a) a precipitation amount derived from a regression and a field numerical model and (b) a correction value equal to the residual calculated by a kriging method using the meteorological data of the stations. Model values are compared with data of unused stations. January mean differences, for instance, have only an absolute value of 2.5mm.

**Mots-clés:** précipitations, cartographie, analyse de données, krigeage, Belgique

**Key-words:** precipitations, mapping, data analysis, kriging, Belgium

---

## Introduction

La question de la relation entre précipitations et altitude est ici abordée par le biais du tracé de cartes mensuelles et annuelles pour la période 1961-1990 qui prendront place dans le nouvel Atlas de Belgique. Jusqu'à présent, le tracé des isohyètes par interpolation entre des données fournies par les stations d'observation s'appuyait vraisemblablement

blement (la méthode n'est pas décrite) sur le calcul d'une moyenne (Poncelet, 1956; Dupriez & Sneyers, 1979), quelquefois automatisé (Boon, 1981).

La faisabilité et le bien-fondé d'une méthode tenant compte des variations topographiques entre les stations sont ici envisagés. Une régression entre les précipitations et l'altitude fournit une formule mathématique assortie de résidus calculés pour chacune des stations. A l'aide d'un modèle numérique de terrain dont la maille peut être assez petite (pas de 500 m au minimum), la régression peut fournir une valeur à laquelle viendra s'ajouter la valeur du résidu évalué ponctuellement par un krigeage à partir des stations.

## 1. Le réseau d'observation

Malgré toutes les contraintes auxquelles le maintien d'un réseau d'observations est soumis, le réseau belge se prête assez bien à la présente étude. La répartition spatiale des stations suit un modèle aléatoire (égalité de la variance et de la moyenne dans la méthode des quadrats). L'écartement moyen entre les stations est de 10 km, du même ordre de grandeur que la distance idéale de 4 km calculée en tenant compte des erreurs de mesure (quelque 3,3%). Par tranche d'altitudes, la densité des stations qui oscille autour d'une moyenne de 8,9 stations par 10 000 km<sup>2</sup> (Fig. 1), présente toutefois un creux important aux niveaux 30-40, 50-60 et 150-200 m. La cause principale en est une concentration dans les vallées de la Basse Belgique et la vacuité presque totale de larges zones telles que les confins de l'Ardenne vers la Lorraine (Fig. 6, par exemple)

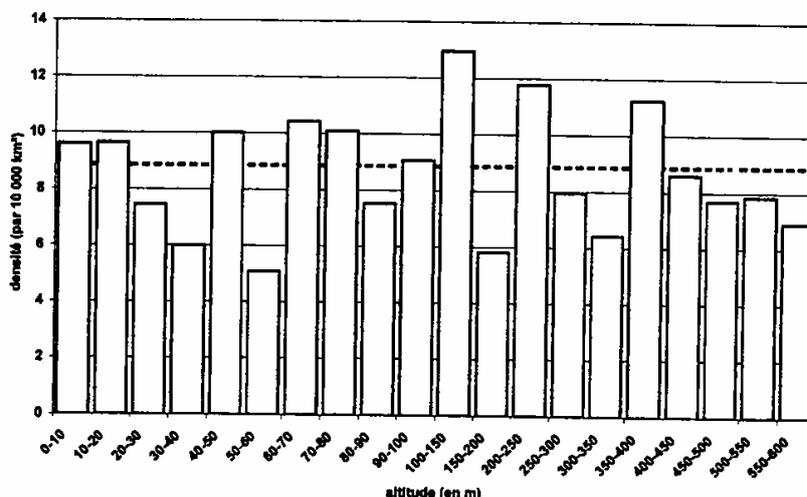


Figure 1: Densité des stations pluviométriques par tranche d'altitude. La moyenne (8.9) est indiquée par un trait gras interrompu.

## 2. La régression par rapport à l'altitude

La régression pour les précipitations annuelles est la suivante :

$$P = 0,838 Z + 745,097 + \varepsilon$$

avec un coefficient de détermination de 0,75 (soit un coefficient de corrélation de

0,87). Toutefois, les régressions mensuelles ne présentent pas toutes un aussi bon coefficient de détermination (Fig.2). Pour les mois d'été et d'automne, ce coefficient est inférieur à 0,60 avec des gradients (coefficients de régression) de la moitié de ceux de l'hiver. Le diagramme de dispersion, celui du mois de janvier (Fig.3) par exemple, montre que si, la corrélation est loin d'être parfaite, les points relatifs aux stations de certaines régions bien différenciées du point de vue de l'altitude, se disposent en lignes presque parallèles à la droite de régression générale et perpendiculaires au gradient. Le phénomène se voit mieux encore sur une carte de répartition des résidus (Fig.6) où apparaissent de larges régions homogènes.

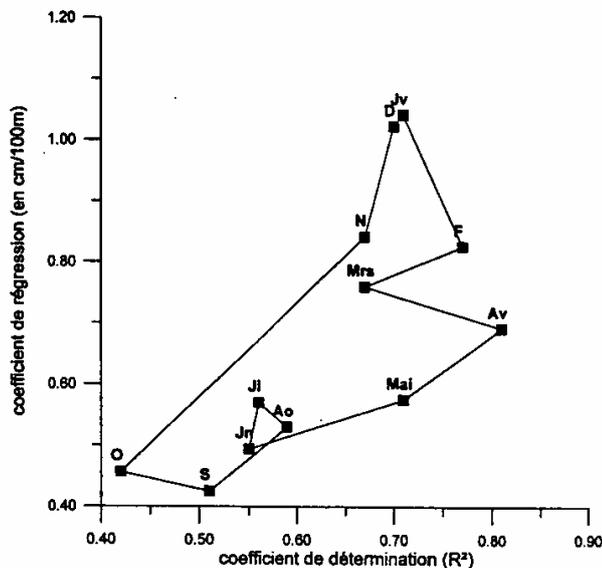


Figure 2: Variation des caractéristiques de la régression entre les précipitations et l'altitude au cours des différents mois de l'année.

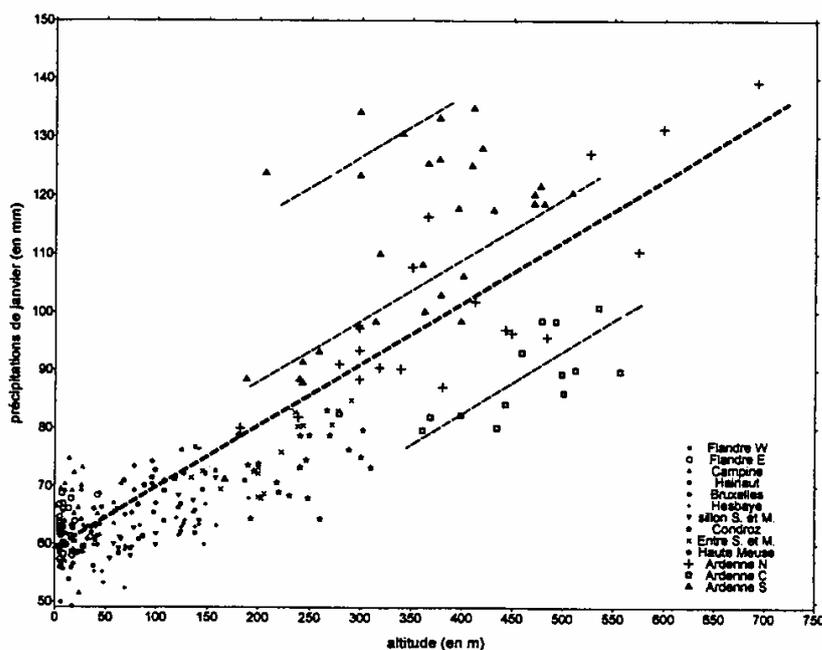


Figure 3: Diagramme de dispersion des cotes pluviométriques de janvier (1961-90) vis-à-vis de l'altitude. Les stations appartenant à une même région sont affectées d'un même signe. La droite de régression apparaît en trait gras interrompu. Des traits interrompus fins suggèrent la disposition de stations suivant des droites parallèles à la régression principale.

D'autre part, les résidus ( $\epsilon$ ) ont une distribution mieux classée et moins asymétrique que les montants précipités (Fig.4). La normalité de la distribution de  $e$  peut être acceptée au niveau 0,05, selon le test de Kolmogorov-Smirnov, tandis que les cotes udométriques ne le sont qu'au niveau 0,01 et sont donc moins significatives. Toutefois, la répartition spatiale de la variance n'est guère modifiée par le passage des montants mensuels aux résidus. Des valeurs de 25 à 50 dans les régions de plaine et de bas plateaux et de 300 en Haute Ardenne ne garantissent pas une homoscedasticité au niveau du pays mais bien à celui de la région.

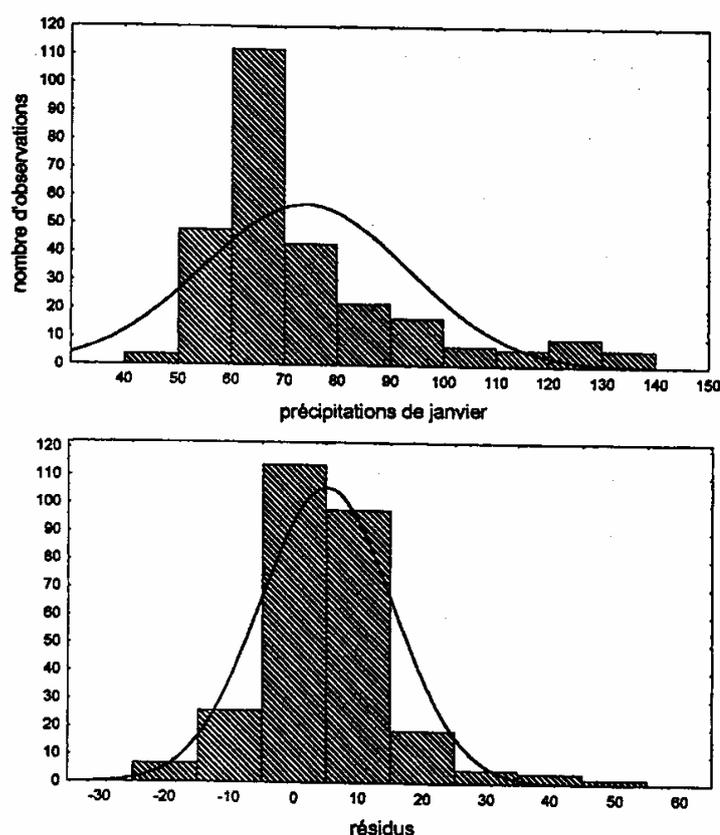


Figure 4: Histogramme des stations pluviométriques selon les montants recueillis en janvier (1961-90) et selon les résidus de la régression avec l'altitude. Le distribution selon une loi normale apparaît en trait continu.

### 3. Le krigeage des valeurs résiduelles

Le krigeage permet de calculer à partir des données fournies par les stations, des valeurs ponctuelles dans un réseau dont la maille doit être décidée auparavant. Compte tenu du fait que d'une part, ces valeurs seront ajoutées à d'autres dérivées d'un modèle numérique de terrain avec un pas de 30 m et que d'autre part, elles dérivent de données espacées en moyenne de 10 km, une maille de 500 m a été choisie.

La dégradation de la covariance en fonction de la distance est illustrée par un variogramme (Fig. 5). Ce dernier fournit les paramètres indispensables suivants: 1) le type de régression qui peut être utilisé (en l'occurrence, une droite), 2) la distance ( $d$ ) entre deux stations pour lesquelles leur covariance ( $k_d$ ) (ou son complément, la variance de la différence de leurs valeurs ( $\gamma_d$ ): ici, les résidus) n'évolue plus, 3) la valeur que prend  $\gamma_d$  lorsque  $d$  est égal à 0 (effet de site), 4) la valeur stabilisée de  $\gamma_d$  qui, en principe, doit être égale à la variance générale de la variable considérée ( $k_0$ ). Dans l'exemple du mois de janvier,  $d=50$  km,  $\gamma_{50}=k_0=83,66$ ,  $\gamma_0=15,89$ ,  $\gamma_{20}=27,10$ ,  $k_{20}=k_0-\gamma_{20}=56,56$ .

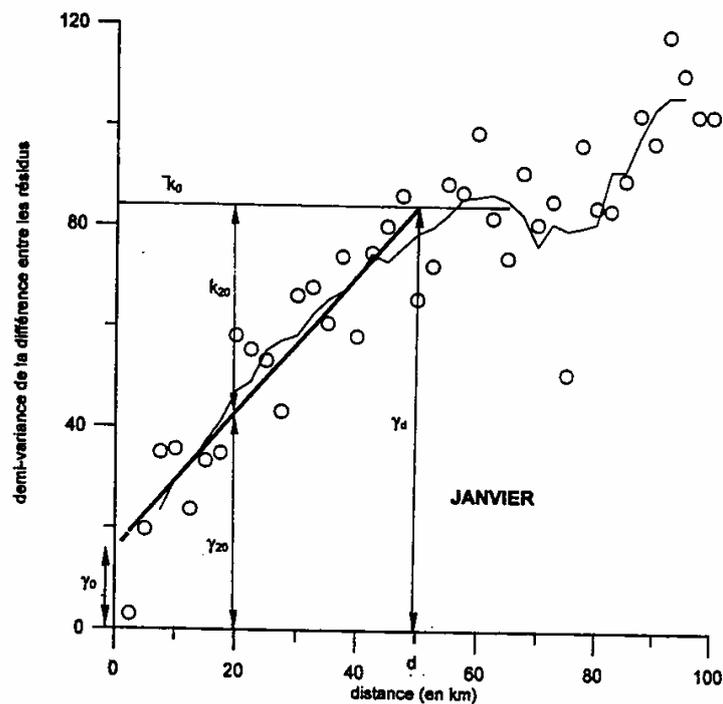
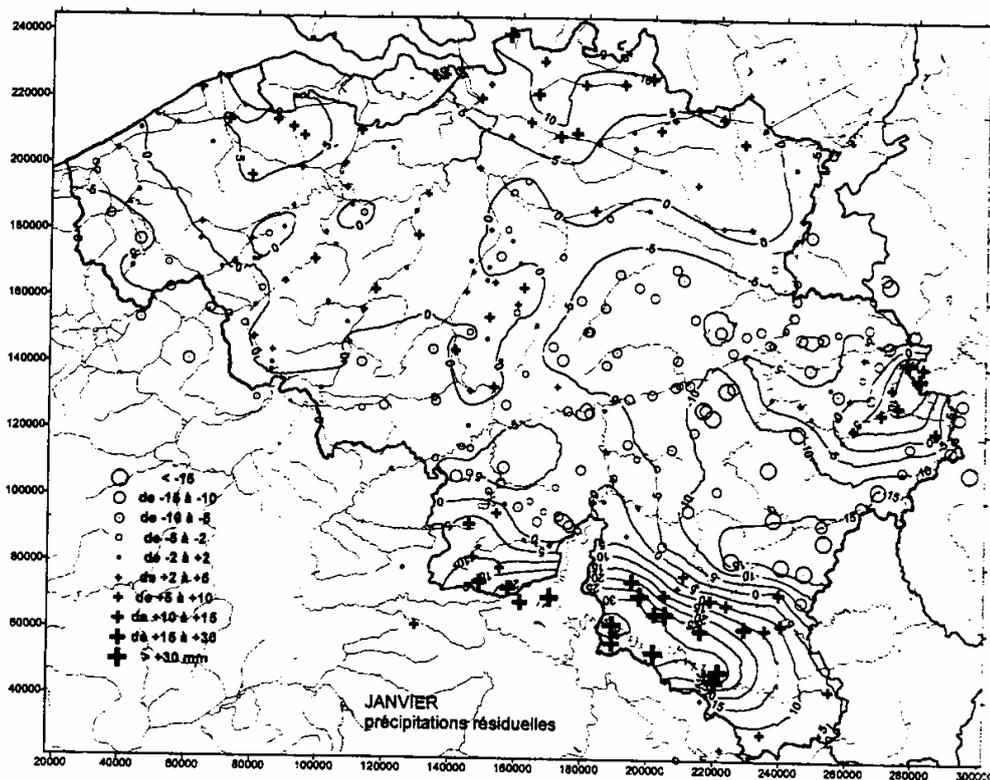


Figure 5: Variogramme des résidus de la régression entre les précipitations et l'altitude. Exemple de janvier;  $\gamma$  est la demi-variance entre les cotes udométriques de tous les couples de stations distantes d'une certaine distance  $d$ ;  $k$  est la covariance de ces cotes pour la distance considérée;  $k_0$  est la variance totale. Par exemple avec  $d=20$ ,  $\gamma_{20}=44,49$  et  $k_{20}=39,17$  tandis que avec  $d_{max}$ ,  $\gamma_d=k_0=83,66$ .

La dégradation de la covariance peut être différente suivant la direction. L'orientation des reliefs vis-à-vis des vents associés aux pluies aurait pu être une source d'anisotropie. Comme les dispositions à prendre pour en tenir compte doivent être générales et que par ailleurs, elles ne sont souhaitées que pour une partie du territoire, elles n'ont pas été prises en considération.

Enfin, comme le krigeage utilise les observations faites dans un rayon de l'ordre de 50 km, les données des stations étrangères proches de la frontière belge ont été prises en considération pour le calcul des points du réseau situés en Belgique, mais sans que le réseau des points de calcul ne dépasse la frontière.

Sur la figure 6 figurent non seulement les résidus calculés en chaque station, mais aussi des isoplèthes relatives aux résidus, isoplèthes qui sont l'expression d'un réseau de points (maille de 500 m!) pour lesquels le résidu calculé par krigeage est connu. Ce calcul a pu être effectué sur un PC, grâce à un logiciel simple (SURFER 3.2). Les écarts entre les résidus calculés et observés dans chacune des stations atteignent exceptionnellement une valeur supérieure à 0,5 mm (moyenne: 0,004 mm). Par contre, la valeur de l'écart-type sur l'estimation du résidu au centre d'une région dépourvue de station peut atteindre les 10 mm.



**Figure 6:** Carte des résidus de la régression vis-à-vis de l'altitude pour le mois de janvier. Les résidus calculés d'après les observations faites dans les stations sont figurés par un sigle tandis que les valeurs obtenues par krigeage dans un réseau de maille 500x500m apparaissent sous forme d'isoplèthes.

#### 4. L'observation de la carte des résidus

Outre qu'elle précise l'importance de l'altitude, la carte des résidus fait mieux apparaître d'autres facteurs de l'importance des précipitations, entre autres :

- a) L'exposition ou l'abri vis-à-vis des circulations atmosphériques pluvieuses (Fig.6). Au cours de l'hiver, les versants de l'Ardenne méridionale sont nettement mieux arrosés que l'Ardenne centrale et même que le plateau des Hautes Fagnes. Pendant cette même saison, la Meuse de Dinant connaît un léger excédent alors que le sillon Sambre et Meuse subit le même sort que les régions qui l'encadrent.

- b) Les conditions favorables aux précipitations d'instabilité soit par la nature du sol (Campine anversoise), soit par un relief révélant une instabilité conditionnelle (Hautes Fagnes).
- c) La proximité d'une mer dont la température de surface est momentanément élevée comme c'est le cas pour la Flandre aux mois de septembre et octobre.

## 5. La carte des précipitations

Comme il a été indiqué plus haut, les isohyètes ont été tracées d'après un réseau dont la maille est de 500m et dont la cote de chaque point est le résultat de l'addition

- a) de la valeur de la régression en tenant compte de l'altitude du point (fournie par le modèle numérique de terrain) et
- b) du résidu évalué par krigeage. Compte tenu de l'erreur de mesure (3,3% pour les mois d'hiver, Sneyers 1973) qui varie entre 2 et 5 mm, de l'erreur due à l'effet de site ( $\sqrt{\gamma_0}$ ) qui est de l'ordre de 4 mm et enfin de l'erreur due au krigeage des résidus qui, entre deux stations d'observation, peut osciller entre 0 et 10 mm; une équidistance inférieure à 10mm serait imprudente. Cette valeur est également recommandée par Dupriez et Sneyers (1978) en se fondant sur la plus petite différence significative entre deux stations contiguës du réseau, dont l'écart moyen est, rappelons-le, de 10 km.

La carte a été soumise à un test de comparaison entre la valeur prédite par la carte et une valeur "observée" pour un endroit déterminé. Les stations disponibles pour la carte de la période 1961-1990 ne pouvaient convenir. En effet, soit elles étaient retirées de zones où les données étaient pléthoriques et il fallait à ce moment craindre une trop grande corrélation avec les observations restantes, soit elles étaient choisies dans des zones de carence où elles étaient par ailleurs bien précieuses pour l'élaboration de la carte.

Malgré certains inconvénients, il a donc été fait appel aux stations dont les données ont été traitées par Dupriez et Sneyers (1978) pour l'intervalle 1951-75, puis intégrées dans un calcul des normales 1833-1975. Ce processus se justifie par l'absence de tendance mais entraîne toutefois les sources d'erreur suivantes: un "lissage" des valeurs mensuelles par l'analyse harmonique et l'existence d'une variance résiduelle de la régression utilisée pour transposer les montants précipités (mensuels et annuel) dans la période 1961-90. Le coefficient de détermination de ces régressions est toutefois assez élevé et varie entre 0,88 (juillet) et 0,95 (janvier), limitant ainsi l'importance de cette variance résiduelle.

86 stations ont ainsi été utilisées pour ce test. Pour le mois de janvier choisi comme exemple, les différences entre les valeurs tirées de Dupriez et Sneyers (1978) et les valeurs calculées par la méthode utilisée dans le présent article sont résumées ci-dessous:

- ♦ moyenne: 0,5 mm
- ♦ écart type: 7,1 mm
- ♦ moyenne en valeur absolue: 2,5 mm

Les différences sont donc presque centrées sur une valeur 0 et de faible importance malgré des valeurs de +33,5 et -18, 3. Les valeurs élevées sont relatives à des stations proches d'une frontière ou situées dans de larges zones laissées sans observations utilisables pour la période 1961-90 (telle le plateau des Tailles culminant à 652m). Pour ces dernières, il est nécessaire de combler les lacunes en faisant appel à des données antérieures.

### Conclusion

L'utilisation de la régression des précipitations vis-à-vis de l'altitude conduit à une méthodologie qui présente de nombreux avantages. Non seulement elle permet une cartographie plus précise des précipitations, mais l'analyse des données qui l'accompagne passe par un examen critique des observations et une évaluation des erreurs. En outre, l'analyse des résidus facilite le commentaire raisonné de la carte des précipitations.

### Bibliographie

- ALEXANDRE, J., ERPICUM, M. et VERNEMMEN, C., 1992: Le climat. In : J. Denis (éd.) *Géographie de la Belgique*. pp. 87-128.
- BOON, W., 1981: Nieuwe temperatuur- en neerslagkaarten van België, bekomen door automatische interpolatie. *Bull. Soc. d'Et. Géog.*, **50**, 1, pp. 97-116.
- CRESSIE, N. et HAWKINS, D.M., 1980: Robust estimation of the variogram: I. *Journal of Int. Ass. For Math. Geology*, **12**, 2, pp. 115-125.
- DUPRIEZ, G. et SNEYERS, R., 1978: *Les normales du réseau pluviométrique belge*. I.R.M., Publ., série A, **101**, 69 p.
- DUPRIEZ, G. et SNEYERS, R., 1979: *Les nouvelles cartes pluviométriques de la Belgique*. I.R.M., Publ., série A, **103**, 17 p.
- ISAAKS, E. H. et MOHAN SRIVASTAVA, R., 1989: *An introduction to applied geostatistics*. Oxford Univ. Press, 561 p.
- KECKLER, D., 1995: *Surfer for Windows. User's guide*. Golden Software, Inc., Golden, Colorado, 484 p.
- PONCELET, L., 1956: *Climat de la Belgique*. Planches 12, 13, 14 et commentaires (42 p.). Atlas de Belgique, Comité National de Géographie.
- SNEYERS, R., 1973: Sur la densité optimale des réseaux météorologiques. *Archiv Met. Geoph. Bioklim.*, série B, **21**, 1, pp. 17-24.
- SNEYERS, R., 1975: Sur l'analyse statistique des séries d'observations. *O.M.M. note technique*, **143**, 192 p.