

## Abattement spatial des précipitations en Languedoc-Roussillon

**LUC NEPPEL, CHRISTOPHE BOUVIER**

*UMR HydroSciences, 300 av. Emile Jeanbrau, F-34090 Montpellier Cedex 1, France  
neppel@msem.univ-montp2.fr*

**JACQUES LAVABRE**

*CEMAGREF, BP 31, F-13612 Aix en Provence Cedex 1, France*

**Résumé** Les coefficients d'abattement spatial sont calculés à partir de 109 postes journaliers en service de 1968 à 1997 dans le sud de la France (départements du Gard et de l'Hérault). Les résultats obtenus sur trois sous-zones distinctes (deux zones de relief, un zone de plaine) sont peu différents, et présentent de ce fait une bonne validité régionale. Les coefficients sont en revanche significativement différents de ceux obtenus pour d'autres régions, notamment la région parisienne et Marseille. Sur le plan méthodologique, ces résultats permettent de tester d'autres méthodes d'estimation, en vigueur précédemment, et de résoudre convenablement les problèmes liés à l'instationnarité spatiale des distributions ponctuelles.

**Mots clefs** abattement probabiliste; instationnarité spatiale; Languedoc-Roussillon; régionalisation

**Key words** areal reduction factor probabilities; spatial non-stationarity; Languedoc-Roussillon; regionalization

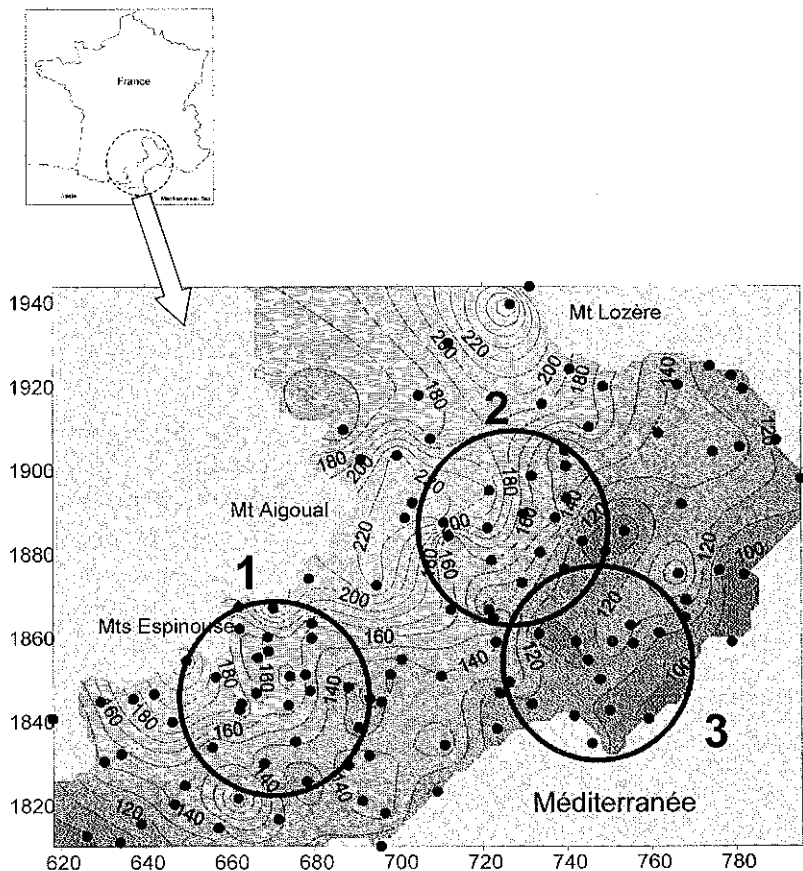
### INTRODUCTION

La variabilité spatiale des pluies introduit une incertitude majeure dans l'évaluation des périodes de retour des crues extrêmes. L'un des problèmes posés consiste à estimer sur une surface (le bassin versant) le cumul de précipitation de période de retour donnée, alors qu'on ne dispose généralement que d'observations pluviométriques limitées en quelques points du bassin. Ce problème peut être appréhendé par la notion probabiliste de coefficient d'abattement spatial, défini comme le rapport de la lame d'eau sur une surface  $S$  de période de retour  $T$  à la pluie ponctuelle de même période de retour  $T$ . Plusieurs études ont été réalisées de par le monde (par exemple Asquith & Famiglietti, 2000; Bacchi & Ranzi, 1996; Sivapalan & Blöschl, 1998), et témoignent de l'intérêt porté au sujet. Ceci étant, le caractère fortement régional de l'abattement spatial et la relative rareté de réseaux de mesures denses dans l'espace et observés pendant une durée suffisamment longue pour fournir des statistiques fiables, notamment en termes d'extrêmes, expliquent que les coefficients d'abattement spatial restent encore mal connus dans de nombreuses régions du monde. En France, les études ont surtout été réalisées à l'échelle de petits bassins, souvent pour des applications en hydrologie urbaine: Lebel & Laborde (1988) pour Nancy, Roux (1995) en Seine-Saint-Denis, Gaume *et al.* (2000) sur la ville de Marseille. Pour des bassins plus grands, des références sont fournies par le Ministère de l'Agriculture (1980) pour la région parisienne. La région Languedoc-Roussillon reste donc jusque là peu étudiée du point

de vue de l'abatement spatial, et nécessite une exploration approfondie de ce concept. Les objectifs de cet article visent à proposer une estimation régionale des coefficients d'abatement spatial, à examiner les résultats en fonction de différentes approches méthodologiques (estimation directe à partir des données disponibles ou utilisation d'un modèle de covariance), et à comparer cette estimation par rapport aux références antérieures ou à d'autres régions.

## LES DONNEES ET LA ZONE D'ETUDE

Les données pluviométriques utilisées proviennent du réseau de pluviomètres de Météo-France, en se limitant aux départements du Gard et de l'Hérault, soit environ 12 000 km<sup>2</sup>. Le pas de temps utilisé est journalier, pour optimiser le nombre de postes disponibles: on a finalement retenu 119 postes pluviométriques disposant d'observations pendant au moins 15 ans, entre 1968 et 1997. Les distributions des pluies journalières ont été déterminées pour chacun de ces postes. La loi de Gumbel,



**Fig. 1** Variabilité spatiale des pluies journalières décennales dans la région Languedoc-Roussillon et localisation des zones de référence pour le calcul de l'abatement spatial.

ajustée sur l'échantillon des valeurs maximales journalières (une valeur par année d'observation), donne de bons résultats, et la cartographie des précipitations journalières décennales estimées à partir de cette loi donne une première idée de l'instationnarité spatiale des régimes de précipitations (Fig. 1).

Pour calculer les coefficients d'abattement spatial, nous avons retenu a priori trois zones géographiques disjointes, définies par des superficies circulaires d'environ 1500 km<sup>2</sup> et situées dans les zones de densité optimale de postes pluviométriques (Fig. 1):

- La zone 1 comprend les contreforts sud du Larzac et des Monts de l'Espinouse, zone de relief moyen d'altitude maximum autour de 600 m. Dans cette zone, la pluie journalière décennale varie de 120 à 220 mm.
- La zone 2 est centrée sur les contreforts cévenols, qui présentent des reliefs sévères variant entre 200 et plus de 1500 m, avec notamment le massif de l'Aigoual culminant à 1567 m. Dans cette zone la pluie journalière décennale varie également de 120 à 220 mm.
- La zone 3 comprend principalement la plaine gardoise ou héraultaise, zone peu accidentée autour de 100 à 500 m et moins arrosée que les précédentes. La pluie journalière décennale varie de 90 à 130 mm.

## ESTIMATION DES COEFFICIENTS D'ABATTEMENT SPATIAL

Ces coefficients ont été calculés séparément sur les trois zones géographiques. Par souci de simplicité, les superficies de référence pour les lames précipitées ont été choisies de forme circulaire  $C(x, y)$ . A partir du centre de chacune des zones, plusieurs rayons ont été retenus (de 2, 4, 6 ..., 20 km), correspondant à une gamme de superficies variant de 12.5 à 1500 km<sup>2</sup> environ. Dans ces conditions, le calcul des coefficients d'abattement spatial est réalisé par les étapes suivantes, pour chacune des surfaces.

### Distributions et quantiles des lames précipitées

- Calcul des lames journalières, par krigeage des observations et intégration sur l'ensemble de la superficie. L'interpolation est réalisée à partir d'un variogramme climatologique, auquel on a ajusté un modèle exponentiel pour les trois zones (Fig. 2):

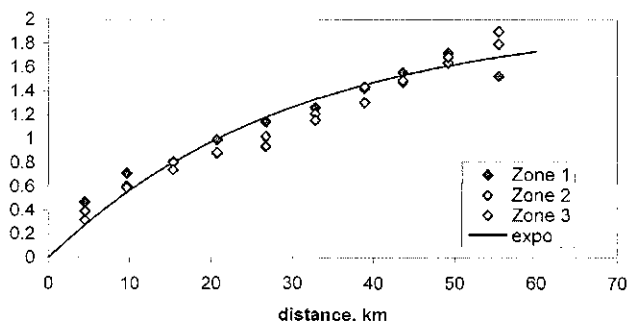


Fig. 2 Variogrammes climatologiques sur les différentes zones.

$$\gamma(h) = \alpha \left( 1 - \exp \left( - \frac{|h|}{\beta} \right) \right) \quad (1)$$

dont les paramètres sont  $\alpha = 2$  et  $\beta = 30$  ( $h$  en km).

- (b) Constitution de l'échantillon des lames précipitées maximales journalières, une valeur par année d'observation.
- (c) Ajustement d'une loi de Gumbel et détermination des différents quantiles de la distribution des lames précipitées sur la surface  $S$ :  $L(S, T)$  pour  $T = 2, 5, 10, 20, 50, 100$  ans.

### Distribution et quantiles des pluies ponctuelles journalières

Les zones géographiques choisies n'étant pas homogènes, le problème consiste ici à définir pour chaque surface une distribution stationnelle représentative de la superficie considérée. Afin de limiter le biais lié à l'instationnarité spatiale, les quantiles ponctuels régionaux  $P^R(T)$  des pluies journalières ont été estimés par pondération (krigeage) des quantiles  $P(T)$  calculés aux différents postes de la zone considérée. Ces quantiles sont calculés pour  $T = 2, 5, 10, 20, 50$  et  $100$  ans.

Les coefficients d'abattement probabiliste,  $k_z(S, T)$ , sont finalement calculés pour chaque zone  $z$  en fonction de la surface et de la période de retour:

$$k_z(S, T) = \frac{L(S, T)}{P^R(T)} \quad (2)$$

Les coefficients d'abattement calculés sur chacune des zones (Fig. 3) montrent une décroissance marquée des coefficients en fonction de la surface, et à un degré moindre en fonction de la période retour (à partir de  $T = 5$  ans, les variations sont inférieures à 0.05 pour toutes les superficies étudiées). On note également une forte similitude des coefficients pour les trois zones-test retenues, malgré la présence des reliefs, ce qui confère aux résultats une forte validité régionale.

## COMPARAISON AVEC D'AUTRES METHODES

### Méthode de Lebel & Laborde

Lebel & Laborde (1988) montrent que les coefficients d'abattement spatial peuvent être déduits directement des moments des distributions stationnelles, sous les hypothèses que: (a) les distributions stationnelles et surfaciques sont du même type, (b) les distributions stationnelles sont stationnaires. Sous ces hypothèses, et dans le cas où les distributions sont de type Gumbel, où le variogramme climatologique est de type exponentiel, les coefficients d'abattement spatial peuvent s'écrire:

$$k(S, T) = 1 - 0.25 \frac{S^{0.5}}{\beta} \frac{0.78Y_T - 0.45}{\frac{1}{CV} + 0.78Y_T - 0.45} \quad (3)$$

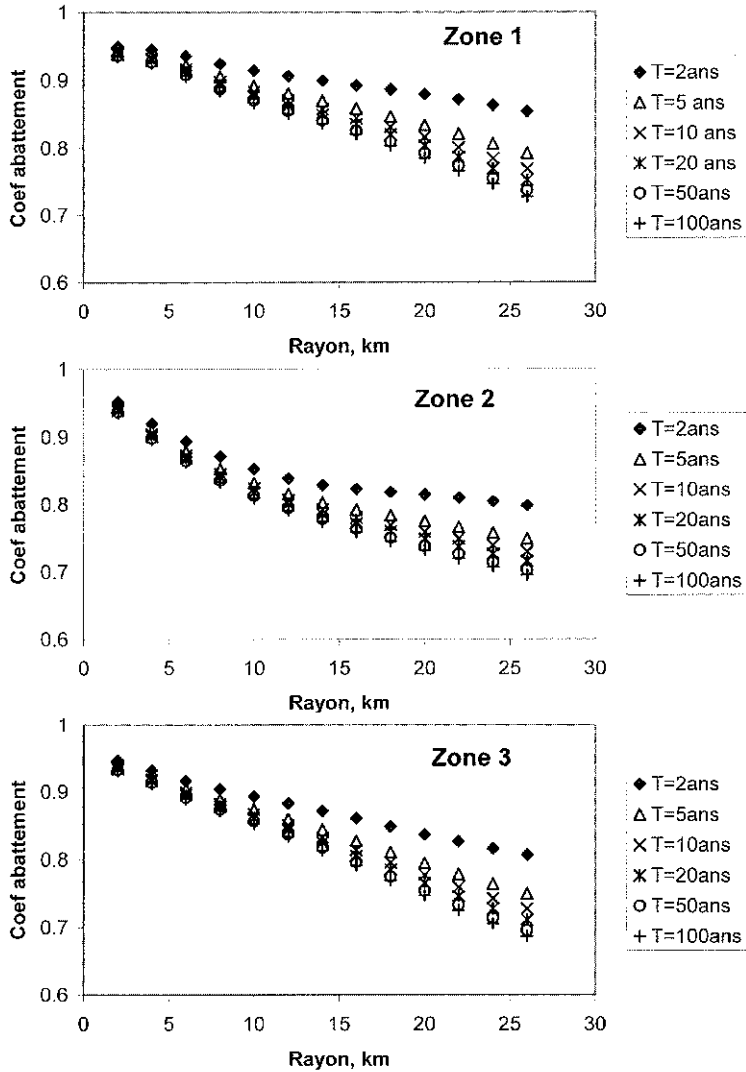


Fig. 3 Evolution des coefficients d'abattement spatial en fonction de la superficie et de la période de retour. Zones 1, 2 et 3.

où  $Cv^{-1} = \sigma(P^R) / \mu(P^R)$ , rapport des deux premiers moments de la distribution "régionale" des pluies maximales journalières en un point;  $Y_T$  variable de Gumbel réduite de période de retour  $T$ :  $Y_T = -\ln(-\ln(1 - 1/T))$ ;  $\beta$  paramètre exponentiel du variogramme climatologique.

Pour le L. R., les coefficients d'abattement spatial fournis par cette méthode sont nettement surestimés (Fig. 4), la courbe représentée ayant été établie pour la zone 3 (les autres zones fournissent des résultats sensiblement équivalents). Les sources d'erreur sont probablement diverses, liées aux différentes approximations numériques de la méthode, ainsi qu'à un biais possible dans l'identification du variogramme, compte tenu de l'instationnarité spatiale des distributions ponctuelles.

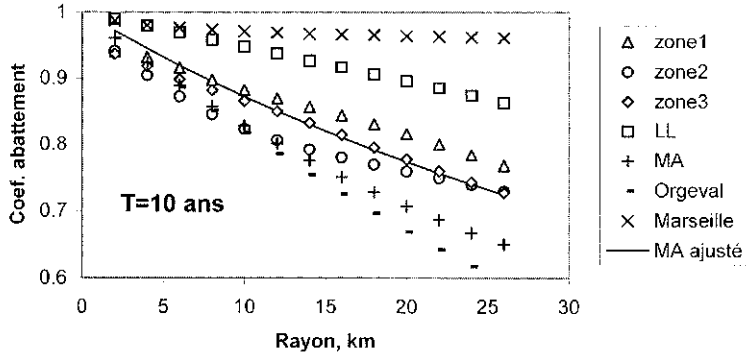


Fig. 4 Comparaison des coefficients d'abatement décennaux sur les trois zones avec différentes méthodes.

**Méthode du Ministère de l'Agriculture (1980)**

A partir de l'expression générale:

$$K = \frac{1}{1 + \frac{a \cdot S^\alpha}{(1 - F)^\beta \cdot t^\gamma}} \tag{4}$$

(*t* est la durée de la pluie en heures, *F* la fréquence au non-dépassement, et *S* la surface du BV en km<sup>2</sup>). Les coefficients *a*, *α*, *β*, *γ* ont été ajustés pour la région parisienne, pour une période de retour décennale:

$$\alpha = 0.5, \frac{a}{0.1^\beta} = \frac{1}{30}, \gamma = 0.33 \tag{5}$$

Pour des pluies journalières, cette formule conduit à une sous-estimation des coefficients d'abatement spatial estimés directement (Fig. 4).

$$K = \exp\left(-\frac{\sqrt{S}}{7.6(1 - F)^{0.4}t + 7.7(1 - F) + 14.8}\right) \tag{6}$$

Fin 1982, le Ministère de l'Agriculture a proposé une nouvelle formule obtenue à partir des observations sur les bassins de l'Orgeval, en région parisienne (Galéa *et al.*, 1982): (*S* en km<sup>2</sup>, 1 ≤ *S* ≤ 200 km<sup>2</sup>; *t* en h, 1 ≤ *t* ≤ 24 h; *F* ≤ 0.96). Cette formule conduit à des résultats équivalents à la précédente (Fig. 4), pour des pluies journalières de période de retour décennale.

**Marseille (Gaume *et al.*, 2000)**

La formulation proposée, indépendante de la fréquence de la pluie, s'écrit:

$$K = S^{-0.056 + 0.016 \ln(t)} \tag{7}$$

(*S* en km<sup>2</sup>; *t* en h, *t* ≤ 24 h). Elle a été établie à partir d'un réseau de 25 pluviographes

couvrant une superficie d'environ 230 km<sup>2</sup>, sur la période 1996–1999. Pour les pluies journalières, cette expression fournit dans le Languedoc-Roussillon des coefficients d'abattement spatial largement surestimés (Fig. 4). A noter que cette formule est assez semblable à la formule établie par Roux (1995) à partir des données de Seine-St Denis, avec des unités et un domaine de validité toutefois différents:

$$K = S^{-0.056+0.013\ln(t)} \quad (8)$$

( $S$  en ha,  $S < 3000$  ha;  $t$  en min,  $5 \leq t \leq 60$  min). On vérifie que dans ce domaine de validité, les résultats obtenus pour Marseille et la Seine-St Denis sont sensiblement différents.

### Formulation pour le Languedoc-Roussillon

Aucune des formules précédentes ne convient réellement au cas du Languedoc-Roussillon:

- (a) LL et Marseille surestiment les coefficients;
- (b) MA et Orgeval fournissent des estimations relativement plus proches, mais sous-estimées.

L'origine de ces différences est à la fois géographique et méthodologique, et peut-être également liée au fait que le pas de temps journalier se trouve en limite d'application de certaines de ces formules (MA, Orgeval et Marseille). Pour synthétiser cette étude, nous proposons pour le Languedoc-Roussillon une formulation ajustée de l'expression générale de MA dans laquelle on conserve arbitrairement les valeurs  $\alpha = 0.5$  et  $\gamma = 0.33$  de la formule établie pour la région parisienne. On obtient finalement (Fig. 4):

$$K = \frac{1}{1 + \frac{0.02S^{0.5}}{(1-F)^{0.07} t^{0.33}}} \quad (9)$$

Cette formule est validée pour les pluies journalières et pour des superficies limitées à 2000 km<sup>2</sup>. Pour des pluies de durée inférieures à 24 h, cette formule n'a actuellement reçu aucune validation, compte tenu des données disponibles, et n'est citée qu'à titre indicatif.

### CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cet article présente une première caractérisation des coefficient d'abattement dans la région Languedoc-Roussillon, pour les pluies journalières. Le choix de plusieurs sous-zones distinctes conduit à des résultats assez semblables, qui présentent de ce fait une bonne validité régionale. Les coefficients calculés apparaissent cependant assez différents de ceux proposés pour d'autres régions françaises, notamment la région parisienne et Marseille.

Du point de vue méthodologique, le calcul des coefficients d'abattement spatial suppose un grand nombre de précautions, pour éliminer de nombreux biais numériques susceptibles d'être confondus avec des différences régionales. Bien que le traitement

présenté puisse encore être affiné, on peut cependant considérer que les résultats proposés sont bien représentatifs de la région étudiée:

- (a) L'instationnarité des distributions ponctuelles des pluies journalières a été prise en compte en adoptant une distribution ponctuelle moyenne, krigée sur chacune des superficies considérées;
- (b) Compte tenu de la densité irrégulière de postes pluviométriques, les zones géographiques de référence ont naturellement été choisies dans des espaces de densité maximale; il conviendrait d'étudier la sensibilité des coefficients d'abattement spatial à des densités différentes (ne pas prendre en compte une partie des postes, et au contraire, utiliser un générateur de champs journaliers pour densifier les données);
- (c) Les durées d'observations inégales peuvent induire de grandes incertitudes sur l'estimation des distributions ponctuelles, alors que la distribution des lames surfaciques est relativement moins affectée. Nous avons limité cette incertitude en ne retenant que les postes comptant plus de 15 années d'observations, entre 1968 et 1997.

Pour approfondir, cette étude doit maintenant se poursuivre et:

- (a) En premier lieu, prendre en compte l'anisotropie du milieu. La cartographie des pluies extrêmes journalières dans la région a montré une forte tendance à une organisation des champs de pluie suivant une forme elliptique de grand axe 30°N;
- (b) Ensuite, utiliser un générateur de champs pluvieux pour mieux évaluer le poids des événements extrêmes;
- (c) Enfin, l'information disponible n'a pas permis de valider les coefficients d'abattement spatial à des pas de temps inférieurs à 24 h. On essaiera de remédier à cette lacune, en exploitant l'imagerie radar ainsi que les données sols provenant des bassins expérimentaux de la région.

## REFERENCES

- Asquith, W. H. & Famiglietti, J. S. (2000) Precipitation areal reduction factor estimation using an annual-maxima centered approach. *J. Hydrol.* **230**, 55–69.
- Bacchi, B. & Ranzi, R. (1996) On the derivation of the areal reduction factor of storms. *Atmos. Res.* **42**(1–4), 123–136.
- Galéa, G., Michel, C. & Oberlin, G. (1982) Pluies de bassins. Abattement sur une surface des averses de 1 à 24 h. Etude no 54, CEMAGREF, France.
- Gaume, E., Mouhou, M. & Thauvin, V. (2000) Coefficient d'abattement spatial des pluies en région méditerranéenne adaptés aux petits bassins versants. Rapport de Synthèse no. 48/2000, CERÈVE.
- Lebel, T. & Laborde, J. P. (1988) A geostatistical approach for areal rainfall statistics assessment. *Stochast. Hydrol. Hydraul.* **2**, 245–261.
- Ministère de l'Agriculture (1980) Synthèse nationale sur les crues de petits bassins versants. Fascicule 1: éléments de pluviométrie, France.
- Roux, C. (1995) Analyse des précipitations en hydrologie urbaine. Exemple de la Seine-Saint-Denis. Thèse de doctorat. Université Montpellier II, France.
- Sivapalan, M. & Blöschl, G. (1998) Transformation of point rainfall to areal rainfall: intensity–duration–frequency curves. *J. Hydrol.* **204**(1–4), 150–167.