

ANALYSE DE LA DIMENSION FRACTALE DES ECHOS DE PRECIPITATIONS : CAS DES INONDATIONS D'ALGER

B. HADDAD⁽¹⁾, L. SADOUKI⁽¹⁾, R. NAII⁽²⁾, A. ADANE⁽¹⁾
ET H. SAUVAGEOT⁽³⁾

*Université des Sciences et de la Technologie d'Alger (U.S.T.H.B.),
Faculté d'Electronique et d'Informatique, B.P. N° 32, El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie.*

E-mail : hboualem@hotmail.com

*²⁾ Office National de la Météorologie, Centre National Technique et du Matériel,
Bd Khemisti, Dar El Beida, Alger, Algérie.*

*³⁾ Université Paul Sabatier, Observatoire Midi Pyrénées, Laboratoire d'Aérodynamique,
14 Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France.*

Résumé

Ce papier porte sur l'analyse de la dimension fractale des précipitations pour le nord algérien. Les données utilisées sont des images de la région de Setif obtenues grâce à un radar météorologique puisé non cohérent travaillant dans la bande S (avec $\lambda = 5,3$ cm). Deux situations météorologiques ont été considérées. Il s'agit d'un événement de pluie extrême, observé le 09 et 10 novembre 2001, qui a été à l'origine d'une catastrophe nationale et d'une situation météorologique fréquente pour la rive sud de la mer Méditerranée. En traitant les images, on constate que les deux techniques de calcul appliquées, à savoir aire/périmètre et Box Counting, donnent une dimension fractale des échos de précipitations identique et égale à 1,38 quelle que soit la situation météorologique analysée. En outre, les surfaces des échos de précipitations n'influent pas sur la valeur de la dimension fractale. De même, nous avons constaté que la dimension fractale reste quasiment inchangée pour des seuils de taux de précipitations inférieurs ou égaux à 5 mm/h.

Abstract

This paper deals with the analysis of the fractal dimension of the precipitation fields for the northern Algeria. The data used in the study are images recorded in the region of Setif, by means of S-band meteorological radar (with $\lambda = 5,3$ cm). Two meteorological situations have been considered. The first one is an extreme rain event observed on November 09 and 10, 2001, which was at the origin of a national catastrophe. The second one is a meteorological situation frequently observed in the southern Mediterranean area. Two techniques of image processing are used, namely perimeter/area and Box Counting. Both methods yield a fractal dimension of precipitation equaling 1,38 for any meteorological situation. Besides, the surfaces of the precipitation echoes do not influence the value of fractal dimension. In addition, the fractal dimension remains nearly constant for thresholds of rain rate lower than or equal to 5mm/h.

Mots-clés : radar météorologique ; précipitations ; dimension fractale ; Algérie.

Keywords : meteorological radar ; precipitation ; fractal dimension ; Algeria.

Introduction

Au cours de la décennie passée, on s'est beaucoup intéressé à la paramétrisation des champs d'intensités de pluie. En général, les modèles hydrologiques les plus performants sont ceux qui associent les variations spatio-temporelles des précipitations. Des études ont montré que la structure des précipitations possède divers types d'organisation et dépend des processus atmosphériques responsables du développement des nuages [Chisholm et Renick, 1972 ; Browning *et al.*, 1973]. En outre, plusieurs auteurs ont mis en évidence l'influence de la taille et de la structure des nuages sur leurs propriétés radiatives [Aida, 1977 ; Davies, 1978 ; McKee et Klehr, 1978 ; Reynolds *et al.*, 1978 ; Joseph,

1985]. Une des notions de discussion de la structure des précipitations est la notion « fractale ». Rappelons qu'une fractale est en général une forme non régulière qui apparaît inchangée quand on l'examine à différentes résolutions ou échelles. Ce terme a été utilisé la première fois par Mandelbrot (1974) pour décrire le chaos qui règne dans les phénomènes naturels. De nos jours, il est employé dans plusieurs disciplines, notamment en hydrologie et dans les sciences de l'atmosphère. Lovejoy (1983) a examiné les aspects du champ d'intensité de pluie et en a déduit que les variations respectent des lois d'invariance d'échelle, conduisant à une géométrie fractale. Kuo *et al.* (1996) ont utilisé la notion fractale pour caractériser les nuages Cirrus observés à partir d'images satellitaires. Cahalan et Joseph (1996) ont appliqué le même concept pour analyser la couche limite marine. Très récemment, Ferai et Sauvageot (2002) ont identifié les supercellules des nuages convectifs en montrant que leur dimension fractale est nettement inférieure à celle des cellules ordinaires.

Dans ce papier, une série d'images enregistrées lors des inondations d'Alger du 9 et 10 novembre 2001 et au cours du mois de janvier 2001 par le radar de Sétif a été utilisée pour analyser la dimension fractale des échos de précipitations. Pour ce faire, deux techniques de calcul de la dimension fractale ont été appliquées aux images radar. Il s'agit des approches aire/périmètre et Box Counting. Cette étude a aussi trait à l'influence des surfaces des échos de précipitations et du seuil du taux de précipitations sur la valeur de la dimension fractale.

1. Description de la situation météorologique du 09 et 10 novembre 2001

La situation météorologique particulière du 09 et 10 novembre 2001 a engendré des pluies dévastatrices sur les hauteurs de la ville d'Alger. Les pertes en vies humaines et les dégâts matériels enregistrés dans les quartiers de Bab El Oued constituent une catastrophe nationale. Les mesures effectuées dans les stations météorologiques de la zone affectée montrent que les quantités de pluies enregistrées constituent des records. En effet, les relevés existant dans les archives météorologiques indiquent que de telles quantités n'ont jamais été mesurées en ce point depuis plus d'un siècle. Au poste d'observation météorologique de Bouzaréah, situé sur les hauteurs d'Alger à 344 mètres d'altitude, on a enregistré une quantité de pluie égale à 261 mm en une durée de 18 heures (entre 18h00 le 09 novembre et 12h00 le 10 novembre). Notons que plus de la moitié de cette intensité, c'est à dire 132 mm, a été collectée en une durée de 6 heures (06h00 à 12h00).

La situation météorologique du 09 et 10 novembre a été caractérisée par une infiltration d'air froid sur l'Espagne, puis sur le golfe de Gibraltar. Ceci a engendré une baisse généralisée du champ de pression aussi bien en altitude qu'en surface où la valeur de la pression atmosphérique à Alger a chuté de 9,1 hPa en l'espace de 24 heures. La dépression qui s'est créée a évolué du sud ouest algérien vers le nord pour se positionner le 10 novembre à OOOO sur l'Algérois. Sur la côte algéroise, des vents nord et nord - est ont soufflé avec des vitesses dépassant par moments la valeur de 120 km/h et les vagues ont atteint des hauteurs de six à huit mètres. Les pluies dévastatrices qui ont affecté le quartier de Bab El Oued sont probablement dues à la topographie du lieu. Les reliefs de Bouzaréah culminant à plus 400 mètres d'altitude et surplombant le lieu de la catastrophe ont joué un grand rôle dans le déversement de toute cette quantité d'eau en un temps aussi court.

2. Banque de données et technique d'analyse

Les images dont nous disposons, ont été prises dans la région de Setif grâce à un radar puisé non cohérent. Setif est une ville des hauts plateaux algériens entourée des montagnes du Djurdjura, des monts des Bibans et des Babors. Elle se trouve à environ deux cents kilomètres du lieu de la catastrophe. Ses coordonnées géographiques sont 36° 11 ' N pour la latitude et 5° 25' de longitude. Elle est située à 1081 m d'altitude. Le radar est installé à 1300 m d'altitude. Il travaille à 5,6 GHz et délivre une puissance crête de 250 kW. La durée de l'impulsion radar est de 2 (s et sa période de récurrence est de 4 ms. L'antenne est un paraboloïde de 3m de diamètre et de gain égal à 30 dB. Le radar

enregistre toutes les quinze minutes une image, sous la représentation P.P.I. et un code de seize couleurs. Les images sont collectées sous le format 512x512 pixels, avec une résolution de 1km par pixel. La base de données utilisée comporte 192 images décrivant l'événement extrême et 2424 images correspondant au mois de janvier 2001, représentent une situation météorologique fréquente de la région. Le climat de Setif est du type continental. La majorité des perturbations proviennent du nord-ouest, en hiver et du sud-est en été. L'intensité moyenne annuelle de précipitations est de 400 mm. La région traverse une période de sécheresse depuis une dizaine d'années. Il pleut principalement durant les mois de décembre, janvier, février et avril. Le taux de précipitation moyen pour cette région est 0,5 mm/h. Les échos de précipitations considérés sont ceux dont la surface est supérieure ou égale à 64x64 km². Un prétraitement des images radar a été effectué au préalable. Il consiste à éliminer les échos du sol, considérés par les météorologues comme des échos parasites, en appliquant la méthode de masquage [Adane *et al.*, 2000].

Dans cette étude, deux techniques de calcul sont utilisées pour déterminer la dimension fractale des échos de précipitations. Il s'agit des méthodes aire/périmètre et Box Counting ou méthode des boîtes. Pour appliquer l'approche aire/périmètre, nous avons d'abord segmenté, et ensuite codifié les différentes régions de précipitations contenues dans l'image. Puis, nous avons comptabilisé, pour chaque zone codifiée, le nombre de pixels recouvrant sa surface (A) et le nombre de pixels qui constitue son périmètre (P). L'approche aire/périmètre utilise la relation :

$$P = C \cdot A^{D_p/2} \quad (D)$$

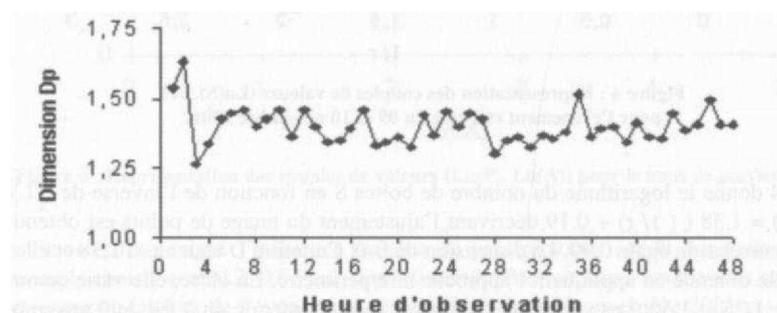
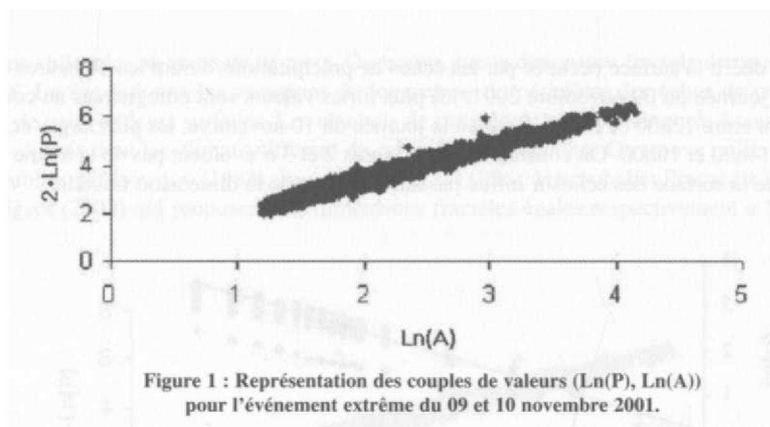
ou P et A désignent respectivement le périmètre et l'aire de l'écho. C est une constante et D_p représente la dimension fractale (valeur supérieure ou égale à 1).

La valeur de D_p caractérise l'irrégularité du contour de l'écho. Théoriquement, elle vaut 1 pour des contours lisses et réguliers tels que le rectangle ou le cercle. La dimension fractale des nuages peut dépasser dans certains cas la valeur 2.

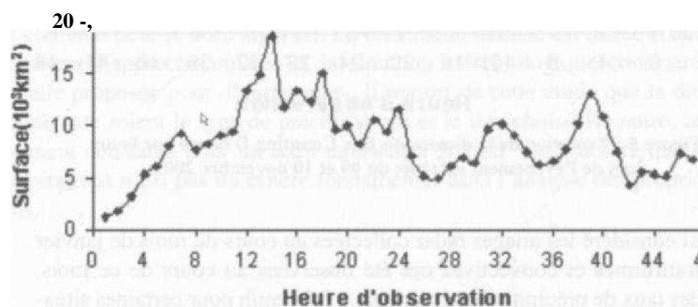
La méthode des boîtes ou Box Counting consiste d'abord en la génération de l'image contour. Puis, on décompose l'image obtenue en des boîtes (S) de tailles [r x r]. Cette opération est répétée pour différentes valeurs de r (r = 2, 4, 8, ..., 512). Le nombre S varie en fonction de r selon la loi $S(r) = C \cdot r^{-D}$ où D désigne la dimension de Box Counting.

3. Résultats et interprétation

Nous nous sommes d'abord intéressés aux images radar collectées durant l'événement exceptionnel du 9 et 10 novembre 2001. La valeur de D_p est obtenue en ajustant le nuage de points décrivant le logarithme du périmètre en fonction du logarithme de la surface par une fonction linéaire. Dans le cas de Setif, nous obtenons une droite d'équation : $\ln(P) = 1,38 \times \ln(A) + 0,61$ (figure 1). En vertu de l'équation (1), la valeur 1,38 désigne la dimension fractale des échos de précipitations observés au cours de cet événement. La valeur du coefficient de corrélation exprimant la qualité de notre ajustement vaut 0,98. De même, nous avons considéré la dimension fractale de chaque écho enregistré au cours des 48 heures d'observation. On trouve qu'en moyenne, D vaut $1,38 \pm 0,04$.



La figure 2 montre les variations de D_p , estimées heure par heure, durant les 48 heures de la catastrophe. On constate que la dimension fractale oscille entre 1,25 et 1,50. Cette figure indique aussi que la dimension fractale reste globalement constante pendant une période pouvant s'étaler sur trois à cinq heures. De plus, les valeurs de D_p sont les plus basses les premières heures (3-4h) et en soirée (18-21 h) pour la première journée et la matinée (4—10h) pour la seconde journée. Globalement, les valeurs ont tendance à augmenter légèrement au cours de la journée du 10. 11.2001 alors qu'elles sont assez fluctuantes au cours de la journée du 09.11.2001.



La figure 3 décrit la surface occupée par les échos de précipitations durant les 48 heures d'observation. Pour la journée du 09 novembre 2001, les plus fortes valeurs sont enregistrées au cours de la période s'étalant entre 12h00 et 18h00. Quant à la journée du 10 novembre, les plus larges échos sont observés entre 14h00 et 16h00. On constate que les figures 2 et 3 n'évoluent pas de la même façon et on en déduit que la surface des échos n'influe pas sur la valeur de la dimension fractale.

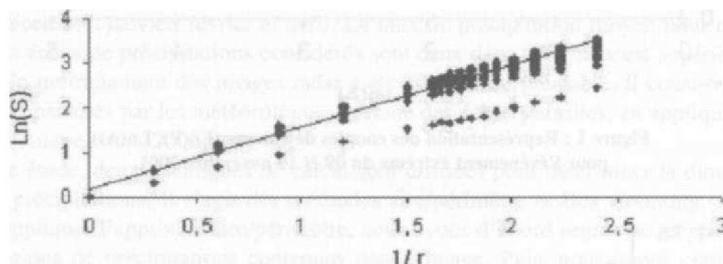


Figure 4 : Représentation des couples de valeurs (Ln(S),1/r) pour l'événement extrême du 09 et 10 novembre 2001.

La figure 4 donne le logarithme du nombre de boîtes S en fonction de l'inverse de r. L'équation du type $\ln(S) = 1.38 \left(\frac{1}{r} \right) + 0.19$ décrivant l'ajustement du nuage de points est obtenu avec un coefficient de corrélation égale 0,99. La dimension de Box Counting D vaut aussi 1,38 et elle est donc identique à celle obtenue en appliquant l'approche aire/périmètre. En outre, elle varie comme précédemment entre 1,25 et 1,50. Les valeurs de D tendent à augmenter de 4h à 19h le 9 novembre puis à diminuer à partir de cette heure jusqu'à 4h le lendemain. A partir de cet instant, les valeurs de D croissent jusqu'à 19h pour décroître à nouveau. Bien que les figures 2 et 5 montrent en général des tendances divergentes, la dimension fractale reste la même pour les deux approches ainsi appliquées.



Figure 5 : Evolution de la dimension Box Counting D heure par heure lors de l'événement extrême du 09 et 10 novembre 2001.

Nous avons aussi considéré les images radar collectées au cours du mois de janvier 2001. Des pluies stratiformes et convectives ont été observées au cours de ce mois. Nous avons trouvé des taux de précipitations inférieurs à 0,2 mm/h pour certaines situations et dépassant 1,7 mm/h pour d'autres. Les deux techniques de calcul présentées dans cette étude ont été appliquées pour calculer la dimension fractale des échos de pré-

cipitations collectées au cours de ce mois. On trouve que la dimension fractale demeure inchangée et vaut 1,38. La fig. 6 donne les variations du logarithme du périmètre des échos de précipitations en fonction de celui de leurs surfaces. Les résultats de cette étude ont été comparés à ceux obtenus pour d'autres régions dont les climats diffèrent de celui du nord algérien. On trouve qu'ils sont similaires à ceux publiés par Lovejoy (1983), Rys et Waldvogel (1986), Heuschel et Procaccia (1984) ou Ferai et Sauvageot (2002) qui proposent des dimensions fractales égales respectivement à 1.35, 1.36, 1.35 et 1.35.

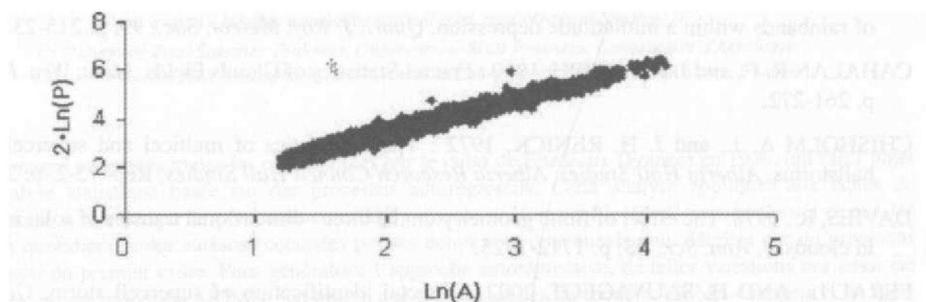


Figure 6 : Représentation des couples de valeurs ($\text{Ln}(P)$, $\text{Ln}(A)$) pour le mois de janvier 2001.

Nous avons enfin analysé l'influence du taux de précipitations sur la dimension fractale. Les différents seuils choisis sont 0.2, 0.5, 1, 2, 5 et 10 mm/h. Pour ce faire, nous avons considéré toutes les images enregistrées lors de l'événement exceptionnel du 9-10 novembre 2001 et un millier pour le mois de janvier 2001. On trouve que la dimension fractale demeure relativement inchangée jusqu'à la valeur de 5 mm/h. Au-delà de cette valeur, le nombre d'échos décroît sensiblement, les surfaces des échos diminuent considérablement et deviennent pratiquement égales aux périmètres. Des contours plus irréguliers sont alors observés. D'où des valeurs de la dimension fractale qui oscillent entre 1,41 et 2, 1.

Conclusion

Les propriétés structurales de la pluie ont été étudiées en analysant la dimension fractale des échos de précipitations. Deux techniques de calcul ont été appliquées pour estimer ce paramètre. Elles donnent des valeurs identiques et sont donc aussi performantes l'une que l'autre pour examiner la structure des précipitations à différentes échelles.

Aussi, nous avons analysé un événement pluvieux extrême et une situation météorologique fréquente et courante pour le nord algérien. La dimension fractale est restée constante et égale à 1,38 quelles que soient l'approche utilisée et la situation météorologique considérée. Cette valeur est identique à celle proposée pour d'autres sites. Il ressort de cette étude que la dimension fractale est invariante quels que soient le type de précipitations et le lieu choisi. En outre, la dimension fractale reste relativement constante pour un seuil inférieur à 5mm/h. Ceci montre que le choix du seuil du taux de précipitations n'est pas un critère fondamental dans l'analyse des propriétés structurales des précipitations.

Références

- AD ANE Y., A. HAD JEM, B. HADDAD, R. NAILI et A. AD ANE, 2000 : Elimination des échos fixes dans les images radar utilisées pour l'observation météorologique. *Sem. sur les Tech. Et Arch, des Syst. de Detec, Proc. DAT2000*, Reghaia, Algérie, p. 149-152.
- AIDA, M., 1977 : Scattering of solar radiation as a function of cloud dimensions and orientation. *J. Quant. Spectrosc. Radiât. Transfer*, **17**, 303-310.
- BROWNING K. A., M. E. HARDMAN, T.W. HARROLD, and C. W. PARDOE, 1973 : The structure of rainbands within a midlatitude depression. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **99**, p. 215-231.
- CAHALAN R. F., and J. H. JOSEPH, 1989 : Fractal Statistics of Clouds Fields. *Mont. Wea. Rev.*, **117**, p. 261-272.
- CHISHOLM A. J., and J. H. RENICK, 1972 : The kinematics of multicell and supercell Alberta hailstorms. *Alberta Hail Studies, Alberta Research Council Hail Studies*, Rep. 72-2, p. 24-31.
- DA VIE S, R., 1978: The effect of finite geometry on the three -dimensional transfer of solar irradiance in clouds. *J. Atm. Sci.*, **35**, p. 1712-1725.
- FERAL L., AND H. SAUVAGEOT, 2002 : Fractal identification of supercell storm. *Geop. Res. Let.*, **29**, sous presse.
- HENTSCHER H. G. E., AND I. PROCACCIA, 1984 : Relative diffusion in turbulent media : The fractal dimension of clouds. *Phys. Rev. A.*, **29**, p. 1461-1470.
- JOSEPH J. H., 1985: The role of cloud field morphology in weather and climate studies. *Ist. J. Earth Sci.*, **34**, p. 96-106.
- KUO K.S., R. M. WELCH, AND S. K. SENGUPTA, 1996 : Structural and Textural Characteristics of Cirrus Clouds Observed Using High Spatial Resolution. *J. App. Meteor.*, **27**, p. 1242-1260
- LOVEJOY S., 1983 : La géométrie fractale des nuages et des régions de pluie et les simulations aléatoires. *Houille Blanche*, **1**, 461-436.
- MANDELBROT, B. B., 1974 : Intermittent turbulence in self-similar cascades: divergence of high moments and dimension of the carrier. *J. Fluid. Mech.*, **62**, 331-350
- MCKEE, T. B., and J.T. KLEHR, 1978 : Effects of cloud shape on scattered solar radiation. *Mon. Wea. Rev.*, **106**, p. 399-404.
- REYNOLDS, P. D., T. B. MCKEE and K. L. DANIELSON, 1978 : Effects of cloud size and cloud particles on satellite-observed reflected brightness. *J. Atm. Sci.*, **35**, p. 160-164.
- RYS, F. S., and A. WALDVOGEL, 1986 : Fractal shape of hail clouds. *Phys. Rev. Letter.*, **56**, p. 784-787.