

# Analyse des Echos Atmosphériques

O.Raaf\* , A.Adane\*

\* *Laboratoire de Traitement d'Images et Rayonnement–  
Faculté d'Electronique et Informatique – USTHB  
BP 32 El Alia, 16111 Alger, Algérie*

**rf\_ouarda@yahoo.fr**

**a.adane@caramail.com**

**Résumé:** Le radar, outil d'investigation des basses couches de l'atmosphère, est capable d'observer des champs de précipitations s'étendant sur plus d'une centaines de km<sup>2</sup>. Ainsi, il apporte à chaque instant, des informations sur l'intensité des précipitations, exprimée en termes de réflectivité, et leur répartition spatiale. Les échos radar dus aux cibles atmosphériques sont étudiés en vue de l'évaluation des champs de précipitations. A cet effet, nous disposons d'une banque de données formée d'images collectées toutes les quinze minutes par un radar AWSR-81 placé dans la région de Setif. Nous disposons aussi de données recueillies par des pluviomètres à une échelle de 6 min. Après élimination des échos du sol, l'étude des variations de surfaces a montré que les phénomènes atmosphériques sont des processus stochastiques très persistants. L'analyse des coefficients d'autocorrection et des coefficients d'autorisation partiels a montré que le phénomène de précipitations, est un processus autorégressif du premier ordre. D'autre part, une étude de la relation existant entre le facteur de réflectivité radar Z et le taux de précipitation R a été effectuée. Les résultats obtenus mettent en évidence l'intérêt d'utiliser le radar pour caractériser les champs de précipitations dans une région donnée et évaluer la quantité de pluie.

**Mots clés:** Facteur de réflectivité, Modélisation, Radar, Surface, Taux de précipitation.

## 1 Introduction

La détection et l'élimination des zones de précipitations sont fondamentale dans l'analyse d'une cible aérienne. Rappelons qu'un radar est constitué d'un émetteur, d'un récepteur, d'une antenne, d'un duplexeur, d'un processeur et d'un système de visualisation. L'antenne radar est généralement une antenne parabolique commutée alternativement à l'émetteur et au récepteur par le duplexeur. L'orientation de cette antenne est assurée par des asservissements dans le sens vertical et le sens horizontal. Au cours de ses mouvements de rotation, l'antenne radar émet un train d'ondes électromagnétiques. Ces ondes sont rétrodiffusées vers le radar lors de leur interception par une cible. En météorologie, lorsque les ondes électromagnétiques rencontrent des hydrométéores telles que des gouttes d'eau, des flocons de neige, du grésil ou de la grêle, elles sont réfléchies avec une intensité proportionnelle au nombre de particules et à leur grosseur. Les zones de précipitations peuvent alors être localisées par le radar à des distances pouvant atteindre 200 à 300 km. Le signal utile recueilli à l'entrée du radar météorologique est le plus souvent accompagné d'échos parasites qui forment, par définition, le clutter.

En effet, en présence d'obstacles et en particulier, à proximité de régions montagneuses, l'utilisation du radar météorologique s'avère délicate à cause du relief qui produit des effets de masque très préjudiciables à la mesure des pluies. Il est alors indispensable de procéder à un filtrage adéquat en vue de supprimer les échos parasites. Les procédés d'élimination des échos du sol dans les images radar, sont surtout basés sur les propriétés naturelles de ces échos à savoir leur forme, leur évolution dans le temps et leur distance par rapport au radar [Darricau, 1993]. Procédons, ci-après, au traitement des images radar prises dans la région de Sétif par un radar météorologique travaillant dans la bande C. Ensuite, nous effectuons une analyse statistique de la surface et du facteur de réflectivité de ces images.

## 2 Données Expérimentales

Notre banque de données est formée d'images collectées toutes les quinze minutes par un radar météorologique AWSR-81 placé dans la région de Setif. Ces images ont été prises durant le mois de janvier et février 2001 selon le format PPI (Plan Position Indicator) avec une résolution de 1 km par pixel. Elles se composent de 512 x 512 pixels

échelonnés suivant seize niveaux de couleurs. Le AWR-81 est un radar pulsé, non cohérent. Sa fréquence de travail est de 5,6 GHz. Son antenne est un paraboloïde de 3 m de diamètre et de gain égal à 30 dB. Son angle de tir est légèrement incliné vers le bas par rapport à l'horizon. Le radar est placé à 1730 m d'altitude à 20 km de la ville de Sétif. Rappelons que l'équation du radar donne l'intensité moyenne du signal reçu en fonction des propriétés de la cible. Elle s'écrit [sauvageot, 1990]:

$$P_r(r, \theta, \varphi) = \frac{P_e G_0^2 \lambda^2 c \tau \theta^2}{1024 \pi^2 \ln 2} L^2 \frac{\eta}{r^2} \quad [1]$$

Avec :  $P_r$  : puissance reçue par le radar.  
 $P_e$  : puissance émise par celui-ci.  
 $\lambda$  : longueur d'onde d'émission.  
 $\eta$  : réflectivité radar.  
 $L$  : facteur caractérisant l'atténuation de l'onde le long de sa trajectoire dans l'atmosphère.  
 $G_0$  : facteur du gain de l'antenne radar.

Pour une cible de volume de résolution  $V$ , composée d'un grand nombre d'éléments ( $i$ ) de section efficace de rétrodiffusion  $\sigma_i$ , la réflectivité radar, exprimée en  $m^2 m^{-3}$ , s'écrit :

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{V} \quad [2]$$

Nous disposons également de mesures effectuées toutes les six minutes autour du radar par des stations automatiques équipées de pluviomètres durant les mois de janvier, février 2001 et décembre 2002 dans les stations de Beni Ouartilene, Sidi Aich et Tazmalt.

### 3 Analyse et traitement de la surface

De façon générale, les images se composent de divers échos résultant de la rétro diffusion des ondes électromagnétiques par tous les obstacles rencontrés par celles-ci [Boitias, 1983]. Pour étudier les échos atmosphériques, nous devons tout d'abord éliminer dans les images, tous les échos qui proviennent de la surface terrestre. Pour cela, nous avons procédé par masquage [Adane et al, 1999]. La Fig. 1 indique le résultat de l'application du masque puis du filtre médian sur l'une des images de la banque de donnée. On remarque qu'elle ne comporte que des échos de pluie. La série chronologique qui en résulte, se compose de deux mille images de pluie et constitue donc un échantillon représentatif du phénomène de précipitation pour la région de Sétif. La Fig. 2 décrit les variations de surface des échos de précipitations obtenues image par image au cours de deux mois.

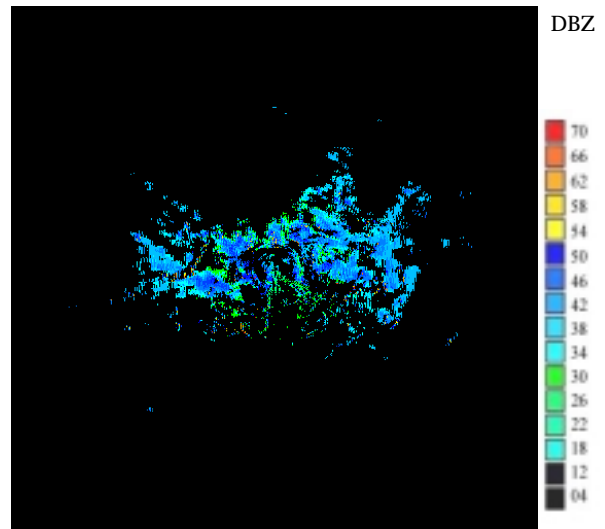


Figure 1. Image radar de la région de Sétif du 20 janvier 2001 à 5h 00, après filtrage.

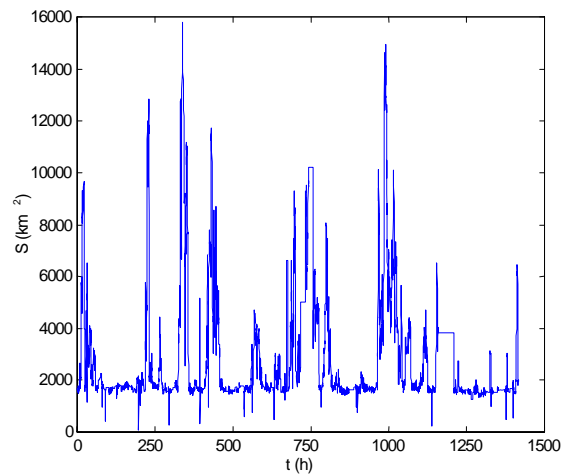


Figure 2. Variations des surfaces à l'échelle temporelle d'un quart d'heure

Sur cette courbe, il apparaît que les phénomènes atmosphériques représentant les champs de précipitation sont des processus stochastiques très persistants. Ce dernier peut alors être décrit par un processus auto régressif. Pour ce faire, considérons une variable aléatoire  $X(t)$  qui est centrée, réduite, à temps discret, stationnaire et ergodique. Soit  $e(t)$ , un bruit blanc de moyenne nulle et de variance  $\sigma$ . Un processus auto régressif d'ordre  $p$  est:

$$X(t) = -\phi_1 X(t-1) - \dots - \phi_p X(t-p) + e(t) \quad [3]$$

L'identification de l'ordre du processus et l'estimation des paramètres  $\phi_p$  intervenant dans l'expression (3) se font en calculant les fonctions d'autocorrélation  $R_{xx}(k)$ . Le bruit blanc  $e(t)$  et la variable aléatoire  $X(t-p)$  étant indépendants, on peut écrire que:

$$R_{XX}(k) = E[X(t)X(t-k)] = -\sum_{j=1}^p \phi_j R_{XX}(k-j) \quad [4]$$

L'ordre du modèle est obtenu lorsque la variance  $\sigma^2$  de l'erreur devient constante. La structure de cet algorithme est la suivante [Haddad , 200]:

Pour  $p \geq 2$ , les coefficients du processus AR sont calculés en écrivant que :

$$\phi_{kk} = \frac{R_{xx}(k) - \sum_{n=1}^{k-1} \phi_{k-1,n}(k-n)}{\sigma_{k-1}^2} \quad [5]$$

Afin de réduire les fluctuations de cette courbe, nous avons calculé la moyenne les surfaces sur un pas de temps de cinq heures. La courbe qui en résulte, est donnée par la Fig. 3. Celle-ci montre que les échos de pluie perdurent sur plusieurs jours et que leur surface évolue progressivement toutes les cinq heures. Donc, les surfaces des échos de pluie se prêtent bien à une modélisation par des processus auto régressifs.

Les statistiques descriptives des variables résultantes sont données par la table 1. Les variations de surface représentées par ce diagramme, ont alors été transformées en une variable aléatoire, centrée et réduite.

Nbre d'échantillon	Moyenne	Ec.Type
283	1179,223	2124,137

Table 1. Statistiques descriptives

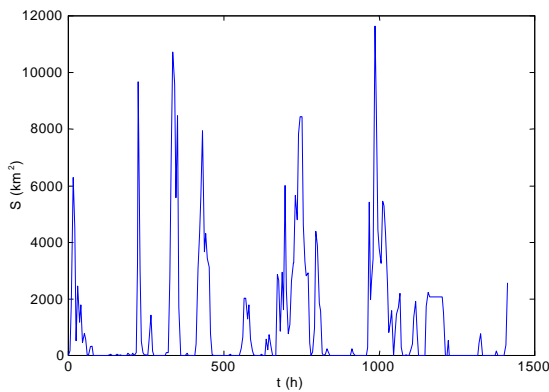


Figure 3. Variation des surfaces.

On en déduit les coefficients d'auto corrélation et les coefficients d'auto corrélation partielles représentatifs du phénomène étudié (voir Figures 4 et 5). D'après la Fig. 4, les coefficients d'auto corrélation décroissent de façon exponentielle. Sur la Fig. 5, l'intervalle de confiance délimité par  $\sigma(\phi_{kk}) = 0,11$ , a été matérialisé par l'espace compris entre les traits pointillés. On constate que tous les coefficients d'auto corrélation partielle d'ordre supérieur à l'unité, se

trouvent à l'intérieur de cet intervalle.

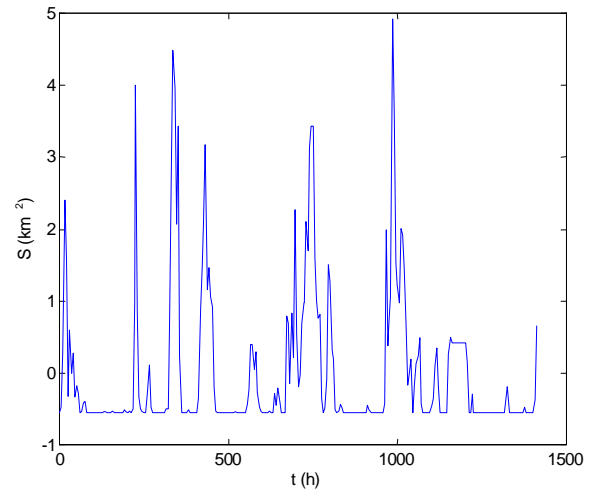


Figure 5. Variation des surfaces avec les variables centrées réduites.

Par conséquent, nous pouvons admettre que les échos de précipitations forment bien un modèle auto régressif du premier ordre. L'application de l'algorithme de Levenson Durbin aux données de précipitation, a permis de déterminer les paramètres décrits dans la table 2

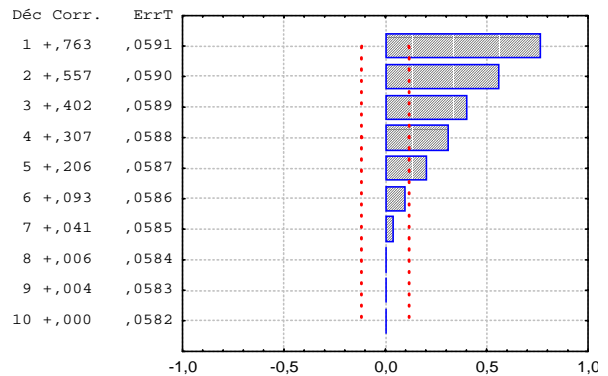


Figure 4. Evolution du coefficient d'autocorrelation en fonction de la durée p.

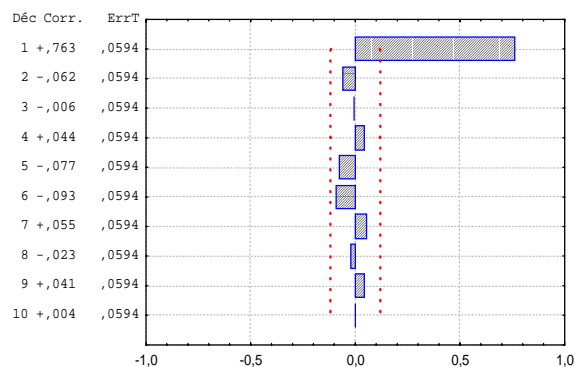


Figure 5. Evolution du coefficient d'autocorrélation partielle en fonction de la durée p

	Para.	Param	Asympt Err- Typ	Inf. IC 95%	Sup. IC 95%
AR(1)	AR(1)	0.8215	0.03422	0.75414	0.8888
AR(2)	AR(1)	0.8481	0.06000	0.73008	0.9663
	AR(2)	-0.0325	0.06000	-0.15063	0.0856
AR(3)	AR(1)	0.8490	0.06012	0.7306	0.9673
	AR(2)	-0.054	0.07876	-0.2095	0.1005
	AR(3)	0.0259	0.06013	-0.0924	0.1443

Table 2. Coefficients du processus AR représentatif des précipitations

L'analyse des coefficients d'autocorrection partielle  $a_{ij}$  montre que le processus décrivant les variations de surfaces des précipitations est stationnaire au premier ordre car  $a_{11}$  est bien compris entre  $-1$  et  $1$  et que les coefficients  $a_{i p}$  restent constants lorsqu'on passe de l'ordre deux ou trois. On remarque aussi que les coefficients  $a_{22}$  et  $a_{33}$  sont négligeables. La vérification de l'adéquation du modèle retenu revient à tester l'indépendance des résidus  $e(t)$  soit :

$$\langle E(t) \rangle = X(t) - a_1 X(t-1) - a_2 X(t-2) - a_3 X(t-3) - \dots - a_p X(t-p) \tag{6}$$

Le test d'adéquation est basé sur le calcul de la fonction d'auto corrélation des résidus. Pour que le modèle soit acceptable, il faut que les estimations des coefficients d'auto corrélation soit proche de zéro afin d'assurer l'indépendance des erreurs. Les figures 6 et 7 représentent respectivement les variations des résidus et de leur auto corrélation. On calcule les  $K$  première valeur  $R_k(e)$ , puis on utilise la distribution statistique de Box et Pierce qui s'écrit :

$$Q_n = n \sum_{k=1}^K R_k^2(e) \tag{7}$$

$K \gg p$

Le modèle que nous avons considéré sera rejeté si  $Q_n > C$ , tel que  $C$  représente le degré de liberté de la table de Khi-deux. Pour un nombre d'estimation  $K=141$ , la valeur  $C$  lue sur la table avec un coefficient de surbriance de 0.05 est de 21.03 et  $Q_n \ll C$ .

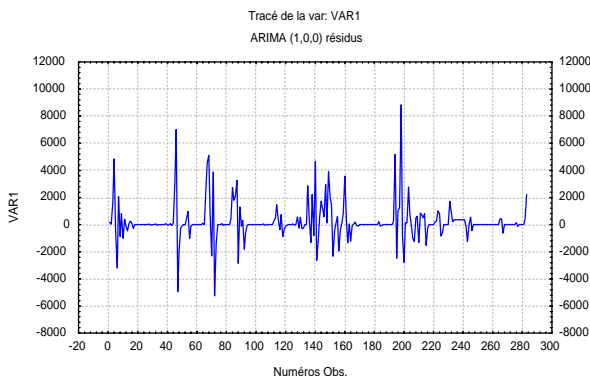


Figure 6. Distribution des résidus .

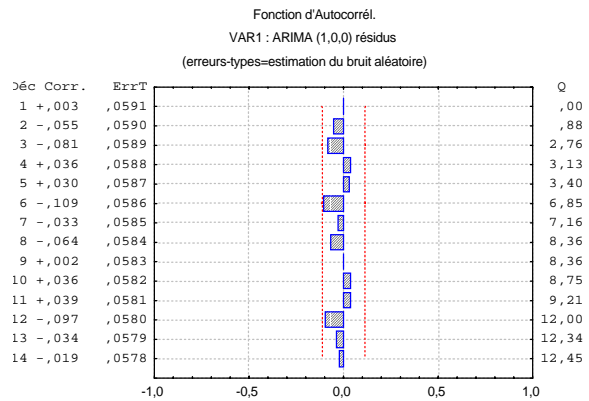


Figure 7. Autocorrection des résidus

#### 4 Analyse et traitement de la réflectivité

L'intensité ( $R$ ) dépend de la vitesse  $V(D)$  des gouttes d'eau au cours de leur chute et de la loi de répartition de leur diamètre. Supposons que les gouttes d'eau soient de forme sphérique et qu'il y ait absence de courant ascendant, le taux de précipitations s'écrit :

$$R = \frac{\pi}{6} \int_{D_{min}}^{D_{max}} D^3 V(D) N(D) dD \tag{8}$$

Rappelons que  $R$  est exprimé en  $mm.h^{-1}$ ,  $D$  est le diamètre des gouttes, en  $mm$  et  $N(D)$  est la distribution des diamètres des gouttes d'eau.

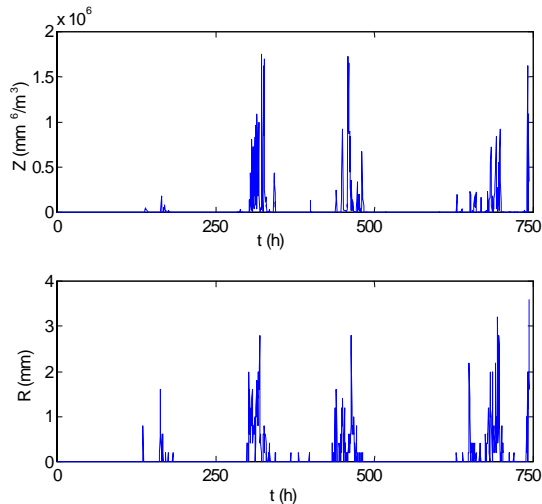
L'expression de  $Z$  fait intervenir les diamètres des gouttelettes d'eau en  $D_6$ , alors que celle de  $R$  est en  $D_3$ . Marshall et Palmer ont montré expérimentalement que la répartition des gouttes d'eau en fonction de leur diamètre est de la forme  $N(D) = N_0 e^{-\Lambda D}$ , où  $\Lambda$  et  $N_0$  sont des fonctions de l'intensité de pluie. On en déduit que [Sauvageot, 1990]:

$$Z = a R^b \tag{9}$$

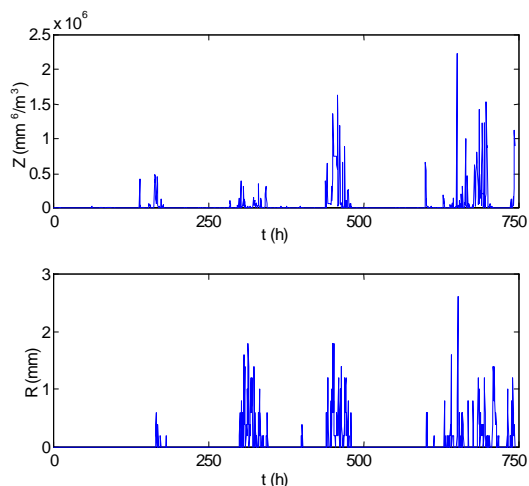
Les constantes  $a$  et  $b$  dépendent de la géographie de la région considérée et de son climat, ainsi que de la nature et des caractéristiques granulométriques des précipitations. Cela fait plus d'une quarantaine d'année que le radar est employé pour évaluer de l'intensité de pluie. Dans ce contexte, divers modèles ont été développés à partir de travaux expérimentaux, pour déterminer les constantes  $a$  et  $b$  [Sauvageot, 1990]. L'intensité des précipitations peut être évaluée, avec précision, à partir du facteur de réflectivité radar à condition de trouver la relation qui existe entre ces deux paramètres. [atlas, 1990]. Pour réaliser une telle évaluation, on associe le radar à un certain nombre de pluviomètres répartis convenablement autour de celui-ci puis on calcule les paramètres  $a$  et  $b$  de la relation (9) à l'aide d'une méthode de lissage.

Une analyse de la réflectivité radar a été faite pour les sites de Tazmalt et Beni Ourtilene en considérant

une maille  $7 \times 7 \text{ km}^2$ . Les résultats de cette analyse sont donnés par les Figure 8 et 9. Celles-ci décrivent les variations horaires du facteur de réflectivité et de l'intensité des précipitations obtenue respectivement à partir des images radar de la région de Sétif et des mesures au sol effectuées dans le site considéré.

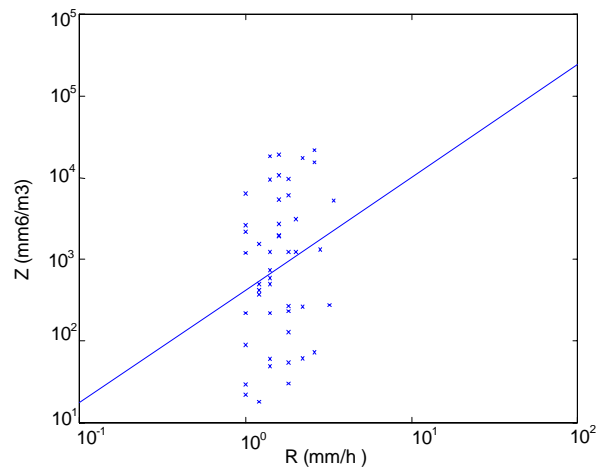


**Figure 8.** Variations horaires du facteur de réflectivité radar ( $Z$ ) et de l'intensité des précipitations ( $R$ ) pour la station de Tazmalt (fenêtre d'analyse  $7 \times 7 \text{ km}^2$ ).

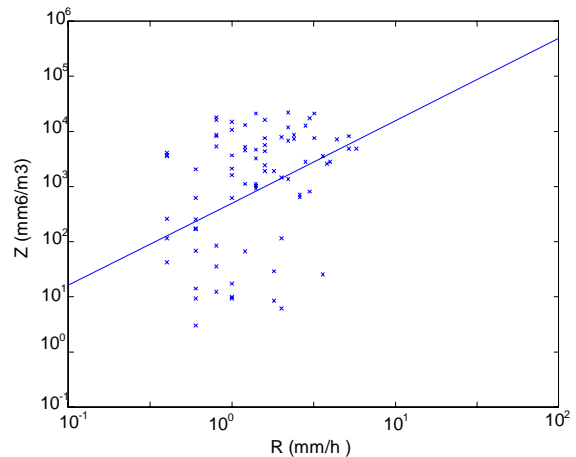


**Figure 9.** Variations horaires du facteur de réflectivité radar ( $Z$ ), et de l'intensité des précipitations ( $R$ ) pour la station de BeniOuartilene (fenêtre d'analyse de  $7 \times 7 \text{ km}^2$ ).

Ils valent  $a = 1,3$  et  $b = 416$  pour le premier site et  $a = 1,4$  et  $b = 500$  pour le deuxième site. Un calcul similaire a été effectué pour d'autres stations. On trouve que  $b$  varie peu et reste toujours compris entre 1,2 et 1,6. Par contre,  $a$  varie peu et vaut pratiquement 500. Ces résultats mettent en évidence le type des nuages convectifs observés durant ce mois de Janvier 2001.



**Figure 10.** Représentation des couples de valeurs ( $Z$ ,  $R$ ) pour la station de Beni Ouartilene



**Figure 11.** Représentation des couples de valeurs ( $Z$ ,  $R$ ) pour la station de Tazmalt

## 5 Conclusion

L'étude que nous avons effectuée, montre clairement que le phénomène de précipitations observé dans les images radar, est un processus autorégressif du premier ordre. Ce résultat est corroboré par les études publiées dans la littérature montrant que l'intensité de pluie peut être décrite par un modèle AR(1). Ainsi, l'évolution des champs de précipitations dépend directement de l'état précédent.

Pour le radar de Sétif, nous avons alors trouvé l'expression de la relation  $Z$ - $R$  avec  $a = 500$  et  $b = 1,4$ . Cette relation permet d'étalonner le radar en termes de quantité de pluie. Les valeurs de  $a$  et  $b$  ainsi obtenues, sont représentatifs des phénomènes de pluie ayant apparus pendant le mois de Janvier et février 2001. Elles sont typiques d'un état atmosphérique correspondant à l'existence de nuages convectifs. Tous ces résultats sont corroborés avec ceux obtenus dans la littérature [Sauvageot, 1994 ; Tenorio, 1996]. Cette étude met en évidence l'intérêt d'utiliser le radar pour caractériser les champs de précipitations dans une région donnée et évaluer la quantité de pluie en utilisant le radar comme appareil pluviométrique.

## 6 Références bibliographiques

- Adane Y., Hadjem A., Elimination des échos fixes pour un radar météorologique, Mémoire de fin d'études d'Ingénieur, U.S.T.H.B., Juillet 1999.

-Atlas D., Rosenfeld D. and Wolff D. Climatologically tuned reflectivity –rain rate relations and links to area-time integrals, J. Appl. Meteor., 1990 ; 29 : 1120-1135.

-Boithias, L., Propagation des ondes radioélectriques dans l'environnement terrestre, 1983; Ed. Chiron, Paris.

-Darricau, Y., Physique et théorie du radar, Tome I et II, 1993, Ed. Sodye, Paris.

-Haddad, B. Etude des échos du sol dus aux anomalies de propagation : Application aux radars météorologiques, Thèse de Doctorat d'Etat, U.S.T.H.B., Novembre 2000.

-Sauvageot H., Radar météorologie, 1990 ; Ed. Dunod , Paris

-Tenorio, R. S., Etude statistique de la distribution de taille des cellules de pluie : implications pour l'estimation des champs de précipitation par radar, Thèse de Doctorat,