



## ESTIMATION DES PRECIPITATIONS EN UTILISANT L'INFORMATION MULTISPECTRALE DU SATELLITE METEOSAT

*SEDDI FARIDA.<sup>1</sup>, AMEUR ZOHRA.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Laboratoire d'Analyse et de Modélisation des Phénomènes Aléatoires LAMPA,  
Département d'Electronique, Université Mouloud MAMMARI de Tizi Ouzou, Algérie  
f\_seddi@yahoo.fr

### RESUME

Ce travail porte sur l'estimation des précipitations en utilisant l'information multispectrale du satellite Météosat. Pour ce faire, nous avons élaboré une méthode à seuil qui combine l'information Infrarouge-Visible du satellite Météosat. Cette méthode constitue une alternative permettant de simplifier la classification des nuages à partir des données IR et VIS. Le principe est de définir des valeurs de seuil pour les données utilisées, à partir desquelles les pixels des images IR et VIS sont considérés pluvieux. Notre banque de données est constituée d'une série d'images collectée par le Météosat 4 dans les canaux VIS et IR durant la période allant de 12/11/1994 à 08/01/1995. La région d'étude concerne le nord de l'Algérie, elle se situe entre 34° nord et 37° nord, et entre 9° est et 2° ouest. Le traitement consiste à comptabiliser sur chaque image, les pixels dont les comptes numériques indiquent des températures inférieures à un seuil préalablement défini pour le canal IR et qui sont brillants dans le canal VIS, puis à cumuler les comptages réalisés sur des périodes à savoir, journalière, décadaires et mensuelles. Ces comptages sont d'abord confrontés aux données pluviométriques de même moment issues des stations météorologiques et on en tire une relation qui fournit les coefficients de l'estimation.

**Mots clés :** Estimation des Précipitations, Images Météosat, Phénomènes Météorologiques, Nuages Stratiforme et Convectif.

## ABSTRACT

This work concerns the rainfall estimation using the multispectral information of Meteosat satellite. With this intention, we worked out a method with threshold which combines the Infrared-Visible information of the Meteosat satellite. This method constitutes an alternative making it possible to simplify the identification of the clouds starting from the IR and VIS data. The principle is to define threshold values for the data used, from which the pixels of the IR and VIS images are considered rainy. Our data bank consists of a series of images collected by Meteosat 4 in the visible and infrared channels during the period from 12/11/1994 to 08/01/1995. The area of study relates to the north of Algeria. It is located between 34° northern and 37° northern, and between 9° eastern and 2° western. The treatment consists in entering on each image, the pixels whose numerical accounts indicate temperatures lower than a beforehand definite threshold for the infrared channel and who are brilliant in the visible channel, then to cumulate countings carried out over periods with knowing, day labourer, decadal and monthly. These countings initially are confronted with the rainfall records of the same moment exits of the meteorological stations and one draws from it a relation which provides the coefficients of the estimation.

**Key Words:** Rainfall Estimation, Meteosat Images, Weather Phenomena, Stratiform and Convectif Clouds.

## INTRODUCTION

Les méthodes traditionnelles d'observation de l'atmosphère utilisent les mesures des paramètres météorologiques in situ (*Lafont, 2005*). Néanmoins, la résolution spatio-temporelle de ces observations reste insuffisante pour une étude à une échelle appropriée. Ces méthodes nécessitent un réseau d'appareillage souvent exagéré pour couvrir une zone d'étude et sont difficiles à mettre au point pour des mesures dans des zones à accès difficiles telles que les océans, les déserts, les montagnes etc... La mesure par télédétection se présente comme l'unique moyen permettant une couverture continue dans le temps et dans l'espace de l'atmosphère.

La météorologie est l'un des domaines le plus répandu et développé en télédétection. En effet, la mesure indirecte des précipitations est possible par la forte influence des hydrométéores sur la propagation des ondes électromagnétiques. L'estimation des précipitations par télédétection a fait l'objet de recherches déjà anciennes. (*Guillot, 1990*). L'objectif des recherches conduites par des météorologues est d'explorer les possibilités d'estimation des précipitations, à tous les niveaux de l'échelle spatiotemporelle et en temps quasi réel (*Guillot, 1990*). Pour cela, différentes méthodes d'estimations de

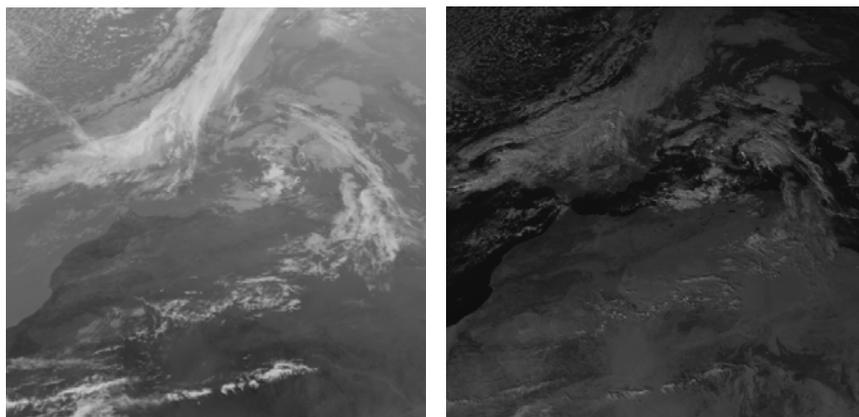
précipitations en utilisant les données satellitaires ont été développées ces dernières années. Il s'agit des méthodes qui utilisent les données Infrarouge et Visible (Farki *et al.*, 1992; Bergès, Chopin et Bessat, 2005), des méthodes qui utilisent les mesures satellitaires obtenues dans les Micro-ondes (Zhi-Yong Yin *et al.*, 2004 ; Marzano *et al.*, 2004) ou encore des méthodes qui tirent profit des avantages des techniques IR-VIS et MO (Torricella, Levizzani et Celano, 2003 ; Jobard, 2001).

Différentes études sur l'estimation des précipitations ont été effectuées ces dernières années en utilisant seulement l'information Infrarouge des satellites, ces études ont donné des résultats satisfaisants, néanmoins, l'inconvénient de ces méthodes réside dans le fait que des nuages de glace (cirrus) sont comptabilisés à cause de leur sommet froid. A cet effet, nous proposons dans ce travail une technique qui exploite simultanément l'information visible et l'information Infrarouge du satellite Météosat pour une bonne discrimination des nuages précipitants des nuages non précipitants.

## **DONNEES UTILISEES**

Les données satellitaires utilisées dans cette étude sont des images Météosat collectées par le satellite Météosat 4 dans les canaux visible et infrarouge (Figure. 1) durant la période allant de 12 Novembre 1994 au 08 Janvier 1995, La région d'étude concerne le nord de l'Algérie, elle se situe entre 34° nord et 37° nord, et entre 9° est et 2° ouest. Ces images sont fournies en unités de comptes numériques (CN) pour chaque pixel. Ces comptes numériques sont obtenus par la numérisation du signal électrique mesuré par les capteurs sur 8 bits (256 valeurs) pour le Météosat de première génération. La relation entre le compte numérique d'un Pixel et la température est donnée par la relation suivante:

$$T(^{\circ}\text{C}) = 55 - \text{CN} / 2 \quad (1)$$

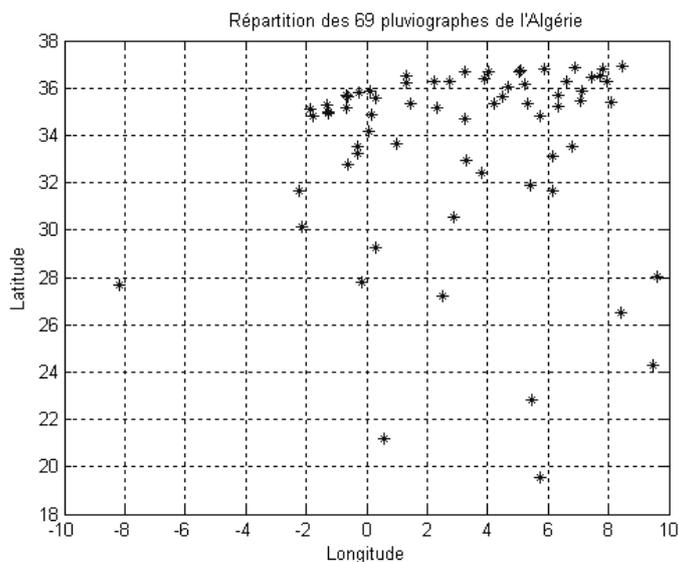


1. a. Image Infrarouge prise le 27/11/1994 à 13 heures

1. b. Image visible rééchantillonnée prise le 27/11/1994 à 13 heures

**Figure 1 :** Types de données satellitaires utilisées

Ces images satellitaires sont couplées aux mesures au sol collectées aux mêmes instants et aux mêmes endroits par les différentes stations pluviométriques, la répartition des stations météorologiques en Algérie est illustrée par la figure suivante :



**Figure 2 :** Réseau des stations météorologiques en Algérie

Dans notre cas, l'archivage des données in situ a été effectué au niveau de l'Office National de Météorologie (O.N.M).

## **METHODOLOGIE**

Afin d'établir la relation pouvant exister entre les précipitations et l'information satellitaire sur une zone d'études, nous avons élaboré une technique basée sur le calcul de fréquences d'apparition des nuages à sommet froids et à forte brillance.

### **Estimation par le calcul de fréquence d'apparition**

L'utilisation simultanée des canaux visible et infrarouge thermique permet aux spécialistes de distinguer des types de nuages, par une comparaison des réponses radiométriques. Ainsi un nuage d'orage à grand développement vertical (cumulonimbus) se distingue, par son sommet très froid « Infrarouge » et par sa forte brillance « Visible », d'un stratus bas, très dense, donc brillant, mais chaud. L'utilisation de ce type d'analyse permet une cartographie des genres nuageux (Guillot, 1990).

Il est donc possible par ce moyen d'isoler les nuages précipitants. Notamment les cumulonimbus, responsables de la plus grande partie des pluies et d'en établir une statistique. Divers obstacles empêchent cependant de procéder de la sorte, les principaux étant la variabilité diurne extrêmement rapide de ces nuages et leur grande abondance en soirée et de nuit, à un moment où la donnée visible fait défaut. Après diverses tentatives et de nombreux tests il a été constaté qu'il est possible de discriminer de façon satisfaisante, dans l'infrarouge et le visible, les nuages pluvio-gènes (cumulonimbus) à sommet froid, des autres nuages (cirrus) en utilisant des seuils de température, dans une fourchette comprise entre -35 °C et -45 °C (Guillot, 1990), « Notons que le seuil peut varier en fonction de l'application et de la zone d'étude ».

Le recensement des nuages à sommet froid est réalisé dans le canal infrarouge. Le traitement consiste à comptabiliser sur chaque image les pixels dont les comptes numériques indiquent des températures inférieures à un seuil de température préalablement défini pour le canal infrarouge et qui satisfont le critère adopté dans le canal visible, puis à cumuler les comptages réalisés sur des périodes à savoir, journalière, décadaires et mensuelles. Ces comptages sont d'abord confrontés aux données pluviométriques du moment issues des stations météorologiques et on en tire une relation qui fournit les coefficients de l'estimation (Carn, Lahuec, 1987), équation (2). Toutefois, le réseau pluviométrique de l'Algérie ne couvre pas la totalité de la région étudiée. Pour combler cette carence de données, nous avons effectué une interpolation ordinaire sur la région ; cette interpolation est un outil statistique d'interpolation spatiale qui prend en compte la totalité des informations disponibles sur le réseau. Il est basé sur le calcul d'une fonction spatiale de structure permettant de connaître, d'une part, la répartition en tout point ou sur toute surface de la pluie

ainsi que de son écart type d'estimation, et d'autre part la distance maximale de corrélation entre les stations. (Arnaud, Taupin et Laurent, 1994).

$$Pe = aT + b \quad (2)$$

Où a et b sont des constantes, T température, et Pe fréquence estimée.

Autre difficulté est aussi la coïncidence spatio-temporelle (ou bien localisation) des stations météorologiques aux images satellitaires. En effet, pour résoudre cette contrainte, nous avons pris une carte climatique où figurent presque la totalité des stations météorologiques en Algérie qu'on superposera par la suite sur l'image satellitaire dans le but de repérer les stations sur cette image. Notons que les images visibles ont été rééchantillonnées pour être ramenées à la même résolution de l'infrarouge thermique.

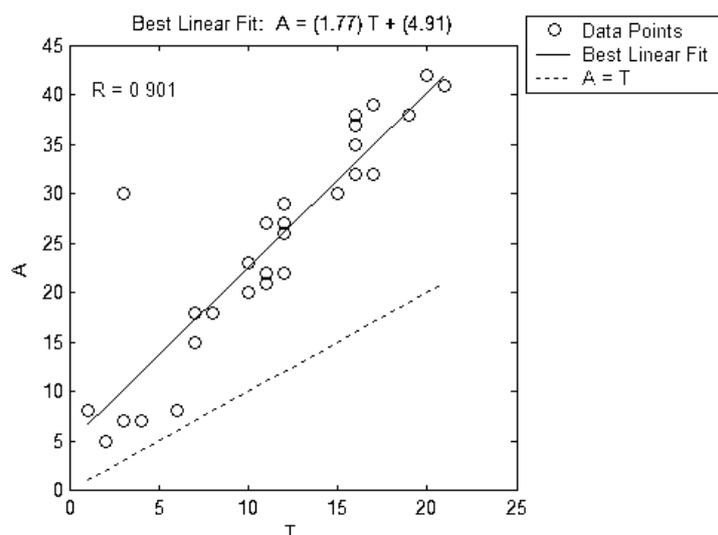
## RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats obtenus pour différents seuils de températures et pour différentes échelles temporelles sont donnés par les figures suivantes. Ces figures représentent des couples de points (A,T) où A représente la fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et T les données au sol :

### Seuil de température de -38°C

#### *Echelle journalière*

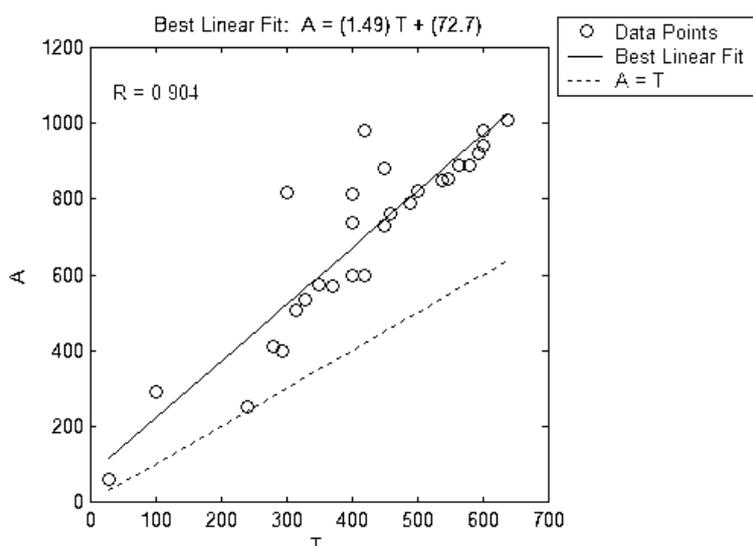
Pour l'échelle journalière et pour un seuil de température de -38°C (Figure. 3), la corrélation est de 0,901, la dispersion des points autour de la droite de régression est relativement constante, les fluctuations des points sont importantes. Ceci est expliqué par le fait que la période d'étude est insuffisante.



**Figure 3 :** Régression linéaire entre fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et données sol (échelle journalière, seuil de température -38°C)

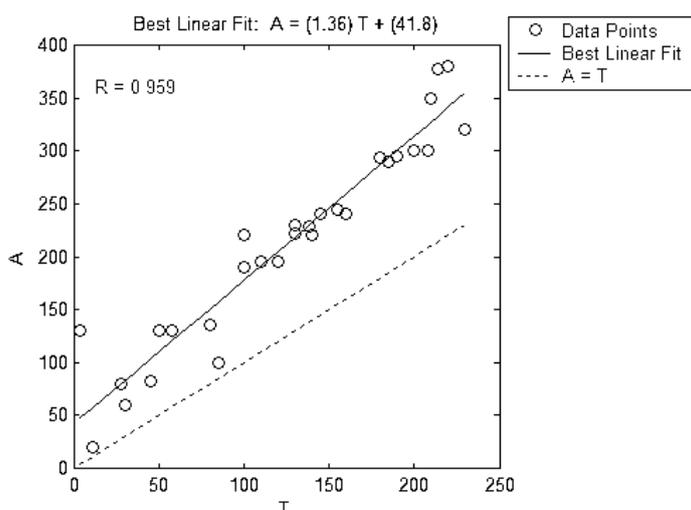
#### Echelle décadaire

Dans le cas de l'échelle décadaire et pour le même seuil (Figure 4), on remarque une légère amélioration de la corrélation, la dispersion des points autour de la droite de régression est importante pour les fréquences allant de 600 à 1000. La corrélation passe à 0,904 ceci est expliqué par le fait que nous avons étalé la période d'étude, donc plus de fréquences d'apparition de nuages à sommet froid qui satisfont le critère adopté dans le canal visible. La liaison entre les données au sol et la fréquence d'occurrence de nuages à sommet froid est acceptable.



**Figure 4 :** Régression linéaire entre fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et données sol (échelle décadaire, seuil de température -38°C)

*Echelle mensuelle*



**Figure 5 :** Régression linéaire entre fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et données sol (échelle mensuelle, seuil de température -38°C)

Pour l'échelle mensuelle et pour le même seuil de température (Figure.5), nous remarquons une nette amélioration de la corrélation entre la fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et les données au sol, cette corrélation

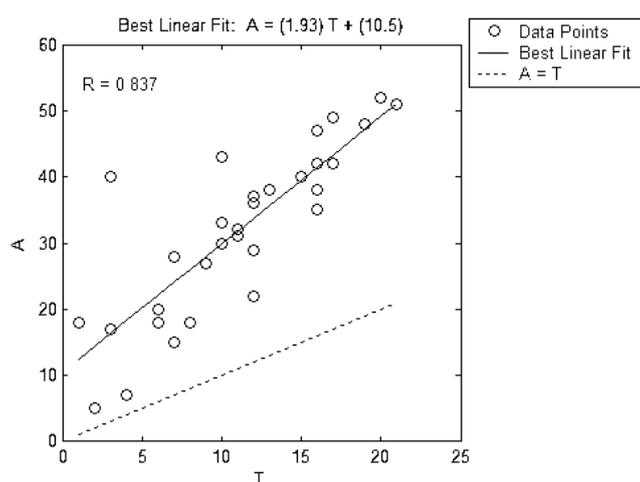
vaut 0,959. La dispersion des points autour de la droite de régression est faible. Cette amélioration de la corrélation est due au fait que nous avons considéré plus de points, car la période est plus longue, ce qui donnera une bonne liaison entre les données au sol et la fréquence d'apparition des nuages à sommet froid et à forte brillance.

### Seuil de température de -35°C :

#### Echelle journalière

Dans le cas où le seuil de température est de -35°C (Figure. 6), la corrélation journalière est de 0.837, nous remarquons une dispersion de points autour de la droite de régression est plus importante et une faible corrélation. Avec ce seuil, des nuages dont la température varie dans la fourchette « -35°C, -38°C » ont été comptabilisés ce qui a introduit une surestimation.

Nous constatons aussi que plus le seuil de température croit, la fréquence d'apparition de nuages à sommets froids augmente et le taux de corrélation diminue. Donc le degré de dépendance entre le taux de corrélation et la fréquence d'apparition de nuages à sommets froids est fonction de seuil de température.

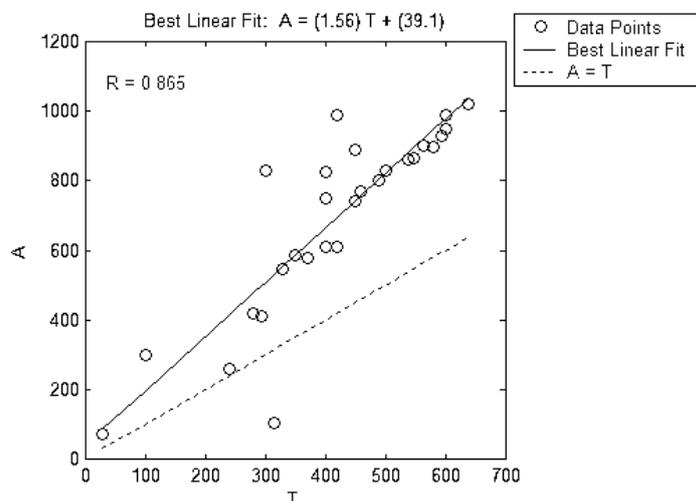


**Figure 6 :** Régression linéaire entre fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et données sol (échelle journalière, seuil de température -35°C)

#### Echelle décadaire

Pour le même seuil de température et pour une échelle de temps décadaire (Figure. 7), la corrélation obtenue est de 0,865. Pour un seuil de température un

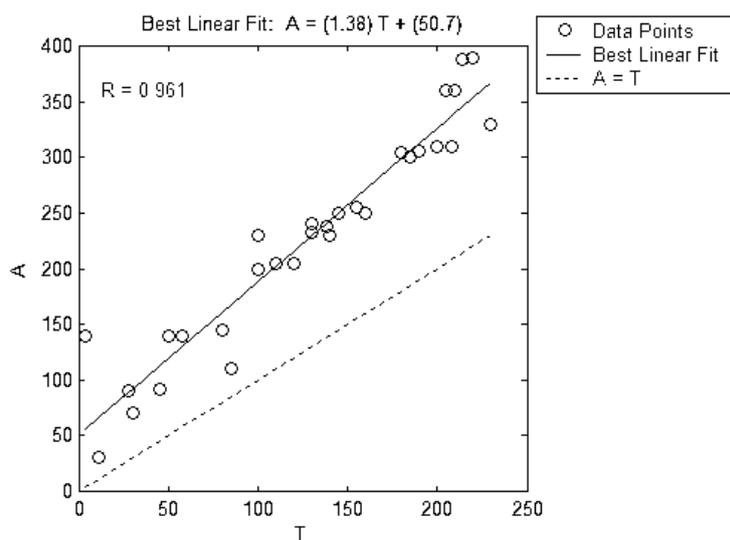
peu élevé, nous remarquons une augmentation de fréquence d'apparition de nuages à sommet froid qui satisfait le critère adopté dans le visible. Contrairement aux résultats obtenus pour le seuil  $-38^{\circ}\text{C}$ , la corrélation des données au sol et la fréquence d'occurrence de nuage à sommet froid pour un seuil de  $-35^{\circ}\text{C}$  est en légère baisse. Ce qui explique que le choix de seuil de température est un paramètre important dans l'estimation des précipitations.



**Figure 7 :** Régression linéaire entre fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et données sol (échelle décadaire, seuil de température  $-35^{\circ}\text{C}$ )

*Echelle mensuelle*

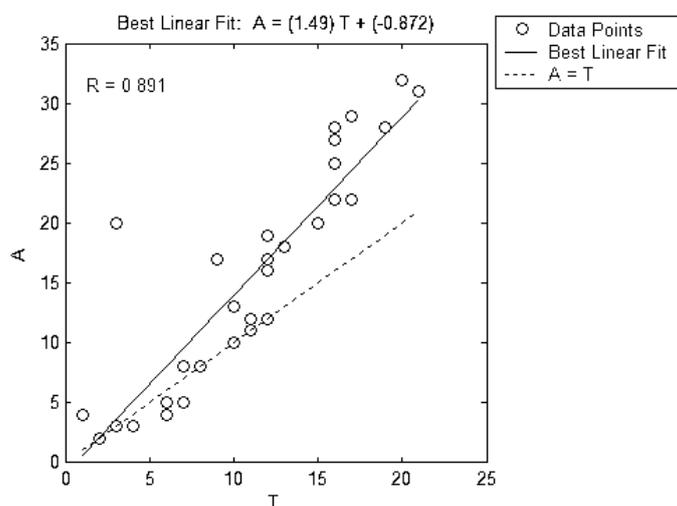
Pour le même seuil de température et pour une échelle de temps mensuelle (Figure. 8), nous remarquons une amélioration de la corrélation entre la fréquence d'apparition de nuages à sommet froid et les données disponibles aux stations pluviométriques (la corrélation obtenue est de 0,961). Cette amélioration de corrélation est caractéristique à la période d'étude.



**Figure 8 :** Régression linéaire entre fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et données sol (échelle mensuelle, seuil de température  $-35^{\circ}\text{C}$ )

**Seuil de température de  $-40^{\circ}\text{C}$  :**

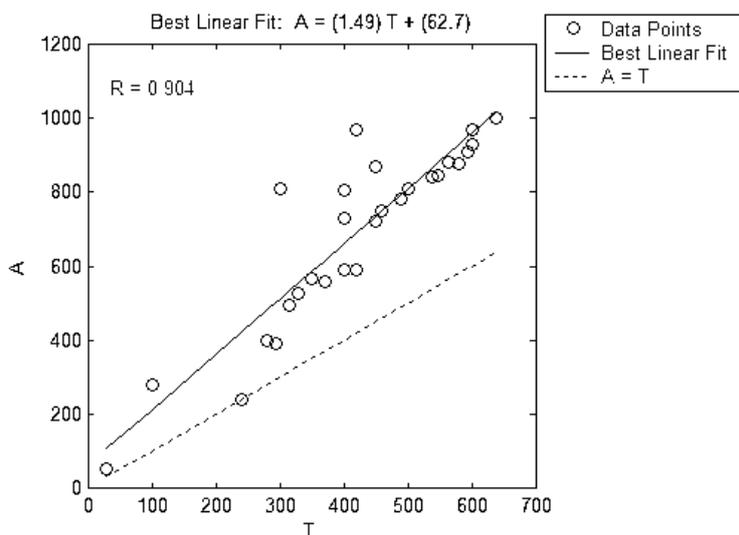
*Echelle journalière*



**Figure 9 :** Régression linéaire entre fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et données sol (échelle journalière, seuil de température  $-40^{\circ}\text{C}$ )

Pour le seuil de température de  $-40^{\circ}\text{C}$  et pour une échelle de temps journalière (Figure. 9), nous remarquons une dispersion relativement importante autour de la droite de régression, la corrélation est de 0,891. Dans ce cas, la baisse de la corrélation est due au fait que le seuil de température choisi est le plus bas, la fréquence d'apparition de nuages à sommet froid est minimale.

*Echelle décadaire*

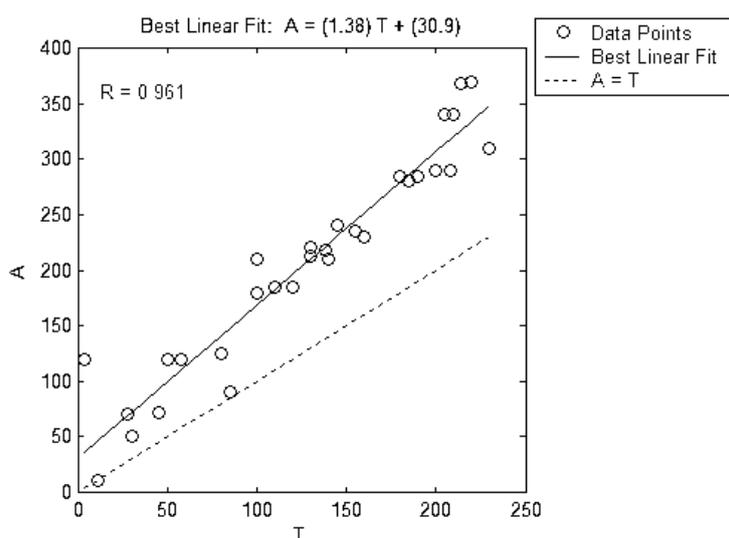


**Figure 10 :** Régression linéaire entre fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et données sol (échelle décadaire, seuil de température  $-40^{\circ}\text{C}$ )

Pour le même seuil de température et pour une échelle de temps décadaire (Figure. 10), nous remarquons une dispersion de points importante autour de la droite de régression. La corrélation entre les données au sol et la fréquence d'apparition de nuage à sommet froid pour le seuil  $-40^{\circ}\text{C}$  vaut 0,904. La meilleure corrélation pour l'échelle décadaire est obtenue pour un seuil de  $-38^{\circ}\text{C}$ .

*Echelle mensuelle*

Pour le seuil de température de  $-40^{\circ}\text{C}$  et pour l'échelle temporelle d'un mois (Figure. 11), nous remarquons une amélioration de la corrélation par rapport à l'échelle décadaire, et à l'échelle journalière, cela est expliqué par l'échantillon important de points (période plus longue). Néanmoins, le risque d'une surestimation est toujours présent, du fait que le seuil de température est plus bas.



**Figure 11** : Régression linéaire entre fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et données sol (échelle mensuelle, seuil de température  $-40^{\circ}\text{C}$ )

## DISCUSSION

L'avantage essentiel des méthodes Visible-Infrarouge à seuil est d'estimer les précipitations tout en minimisant le risque de faire une surestimation des nuages de glace (Cirrus) ou une sous-estimation des nuages chauds (stratocumulus).

Nous constatons que les pentes obtenues varient en fonction du seuil de température utilisé et de l'échelle temporelle utilisée. Les figures précédentes montrent que la dispersion des points autour de la droite de régression dépend de l'échantillon considéré et le seuil de température choisi.

Le seuil qui nous permet de faire une bonne estimation tout en minimisant le risque d'erreur est le seuil  $-38^{\circ}\text{C}$ , pour ce seuil, nous remarquons une bonne corrélation entre les données au sol et la fréquence d'apparition de nuages à sommet froid, le meilleur résultat est obtenu pour l'échelle mensuelle. Notons que le seuil de température dépend de l'application, de la région d'étude et de la saison d'étude.

## CONCLUSION

L'objectif de ce travail est d'estimer les précipitations en utilisant l'information multispectrale du satellite METEOSAT. La technique adoptée est une méthode Infrarouge-Visible à seuil qui constitue une alternative permettant de simplifier la classification des nuages à partir des données IR et VIS. Le principe est de

définir des valeurs de seuil pour les données utilisées, à partir desquelles les pixels des images IR ou VIS sont considérés pluvieux.

Les trois types de méthodes d'estimation des précipitations nécessitent une banque de données riches en images et en données in situ. Toutefois, les données utilisées ne sont pas représentatives. A cet effet et pour remédier, nous avons réalisé une interpolation ordinaire pour recouvrir toute la région d'étude. Au terme de cette étape, nous avons appliqué la méthode Infrarouge-Visible à seuil, basée sur le calcul de fréquences d'apparition des nuages à sommet froids et à forte brillance.

L'application de notre méthode aux données satellitaires a donné des résultats intéressants. Le seuil (-38°C) convient à l'estimation des précipitations dans notre zone d'études, avec ce seuil de température, nous avons obtenu la corrélation la plus adéquate, qui justifie la bonne liaison entre les données au sol et la fréquence d'apparition de nuages à sommet froid, avec l'élimination des nuages à sommet froid non précipitants. Ceci permet de minimiser la surestimation des nuages de glace non précipitants.

D'après l'ensemble des résultats obtenus, il existe une forte corrélation entre la fréquence d'occurrence de nuage à sommet froid qui satisfait le critère dans le visible (nuage précipitant) et l'intensité des précipitations reçues au sol.

Toutefois, cette méthode subsiste quelques limitations se traduisant par l'absence de l'information visible la nuit et la carence de données disponibles au sol.

Pour y remédier, il serait intéressant de mettre à notre disposition un nombre de stations beaucoup plus important que celui que nous avons utilisé afin de bien exploiter l'observation satellitaire. Une méthode qui permet de relier l'information satellitaire aux précipitations reçues au sol peut être envisagée à partir des données MSG (Meteosat Seconde Generation). Muni de 12 canaux, d'une résolution de 3 Km et d'une fréquence de prise de 15 minutes, les erreurs seront certainement revues à la baisse.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARNAUD. Y., TAUPIN. J.D., LAURENT H. (1994). Validation de deux méthodes d'estimation des pluies par satellite (EPSAT-Lannion et TAMSAT-Reading) à l'aide du réseau dense de pluviographes de l'expérience EPSAT-Niger, *Journées hydrologiques - orstom*, p.521-532.
- BERGÈS J.C., CHOPIN. F., BESSAT. F. (2005). Satellite based downscaling algorithm for rainfall estimation, *PRODIG*, Université Paris 1, Paris 75005, France, p.1-6.
- CARN M., LAHUEC J.P. (1987). Estimation des précipitations au Niger au cours de la saison des pluies 1986 à partir de l'imagerie Infrarouge METEOSAT bilan et critique des méthodes utilisées. *Veille Climatique Satellitaire*, N°16, 40-48.

- FARKI B., DAGORNE. D., GUILLOT. B., LE BORGNE. P., MARSOUIN. A. (1992). Classification Des Nuages Sur l'Afrique à L'aide de METEOSAT 4. *Vielle climatique satellitaire*, N°43, p.54-77.
- GUILLOT B. (1988). Projet EPSAT: Estimation des pluies par satellite. La télédétection satellitaire dans les programmes interdisciplinaires: objectifs, méthodes, résultats, perspectives, p.357-365.
- GUILLOT. B. (1990). L'utilisation des satellites météorologiques pour l'estimation de la pluie en zone sahélo-soudanienne au centre de météorologie spatiale de Lannion. Atlas des îles et Etats du pacifique sud. ORSTOM Actualités., p.I-IV.
- JOBARD I. (2001). Status of satellite retrieval of rainfall at different scales using multi-source data. *MEGHA-TROPIQUES 2nd Scientific Workshop 2-6 July*, France.
- LAFONT. D. (2005). Prise en Compte des Hétérogénéités dans la Restitution de l'Eau Nuageuse et des Précipitations par Radiométrie Micro-Onde Passive. Thèse de Doctorat de Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales. Université de BLAISE PASCAL, France.
- MARZANO F.S., MASSIMO P., GRAZIANO G., FRANCIS J. (2004). Multivariate Statistical Integration of Satellite Infrared and Microwave Radiometric Measurements for Rainfall Retrieval at the Geostationary Scale, *IEEE transactions on Geoscience and remote sensing*, Vol.42, N°5, p.1018-1032.
- MARZANO F.S., DOMENICO C., PIERO C., RANDOLPH W. (2004). Modeling and Measurement of Rainfall by Ground-Based Multispectral Microwave Radiometry. *Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Special Issue, Paper N° 00225.
- TORRICELLA F., LEVIZZANI V., CELANO M. (2003). Applications of a rainfall estimation technique based on MW and IR satellite data: Assessment of reliability of instantaneous rain rate maps in the mediterranean. *Institute of Atmospheric Sciences and Climate, National Research Council (CNRISAC)*, Bologna, Italy, p.1-6
- ZHI-YONG Y.; XIAODONG L.; XUEQIN Z., CHIH-FANG C. (2004). Using a geographic information system to improve Special Sensor Microwave Imager precipitation estimates over the Tibetan Plateau. *Journal of geophysical research*, 109, D03110, doi: 10. 1029/2003JD003749.1-17.