



ESTIMATION DES PRECIPITATIONS PAR SATELLITE
RESUME DES METHODES UTILISEES

Dominique Rossignol O.R.S.T.O.M. Juillet 1985

INTRODUCTION

Les satellites météorologiques permettent l'observation des masses nuageuses et la distinction des types de nuages associés aux différentes brillances du canal visible ou aux différentes températures fournies par le canal infra-rouge. Les méthodes d'estimation des précipitations par l'imagerie satellitaire sont basées sur la détermination d'une échelle de correspondance entre les caractéristiques des images et les intensités de pluies.

La mesure des précipitations peut se faire à l'aide de pluviomètres, de radar et maintenant se tente par satellite. Aucune des trois méthodes à ce jour n'est parfaite. Les réseaux de pluviomètres sont souvent trop lâches pour représenter correctement les variations spatiales d'intensité des précipitations liées à une averse. Les radars pêchent par la limite de leur portée et par la difficulté de leur calibration lors de propagation électromagnétique anormale. Les satellites fournissent une observation continue des masses nuageuses mais non de la pluie qui doit être déduite des caractéristiques des sommets des nuages. Une des difficultés de la validation des méthodes de mesure par satellite provient du problème de la mesure elle-même qui, quelque soit la méthode employée est imparfaite.

Les méthodes de calcul des précipitations par satellite s'appuient sur les faits connus suivants:

1-Les nuages produisent d'autant plus de pluies qu'ils apparaissent plus brillants dans le canal visible.

2-Les nuages les plus froids (canal infrarouge) produisent plus de précipitations.

3-Les sommets froids (canal infra-rouge) en développement produisent plus de pluies que ceux restant stationnaires.

4-Les nuages se dissipant produisent peu de précipitation.

5-La fusion de plusieurs cumulonimbus accroît l'intensité des précipitations.

6-Les zones de précipitations intenses sont localisées dans la partie au vent du nuage, au voisinage de sommets surplombants.

Ces différents critères, établis pour les orages des Etats Unis, sont à la base des deux méthodes actuellement les plus employées pour l'évaluation des précipitations par satellite: la méthode de Griffith et Woodley et la méthode de Scofield et Oliver. La première a été adaptée pour l'évaluation routinière des précipitations des systèmes tropicaux, alors que la seconde trouve ses applications dans la prévision à courte échéance des averses intenses sur les plaines des Etats Unis.

ORSTOM
HYDROLOGIE
DOCUMENTATION

Fonds Documentaire ORSTOM



010018818

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: B*18818 Ex: unique

METHODE DE GRIFFITH-WOODLEY

Exposé de la méthode

Cette méthode a été mise au point lors de l'expérience FACE (Florida Area Cumulus Experiment), mettant à profit l'abondance de mesures au sol par radar et par un réseau de pluviomètres (maille de l'ordre de 15 km sur une zone de 13 000 km², figure 1), et de GATE (Global Atmospheric Tropical Experiment). Les données du satellite géostationnaire GOES ont été utilisées. Ses principales caractéristiques sont les suivantes: spectre visible .55 à .75 microns, résolution minimale .9 km, spectre infra-rouge 10 à 12.5 microns, résolution 6.9 km, sensibilité 0 à 255 bits digitaux pour l'échelle des brillances ou des températures.

Pour évaluer les précipitations il convient tout d'abord de déterminer un seuil de température (-20°C en infra-rouge) ou de brillance du sommet des nuages susceptibles de donner lieu à des précipitations, et de rechercher les contours d'égale température pour calculer la surface des zones actives.

A l'aide des données obtenues par radar, une relation entre la surface du nuage précédemment mesurée par satellite et la surface correspondante de l'écho radar A_e a été établie empiriquement, en distinguant la phase de développement de la phase de décroissance. La figure 2 représente les courbes obtenues pour l'infra-rouge à l'aide du rapport de la surface mesurée à la surface maximale observée par satellite.

Le volume de pluie est déterminé en utilisant une relation empirique linéaire de la forme $R_v = I * A_e$; R_v est exprimé en m³/h, $I = 15 600$ m³/km²/h pour les nuages en développement et $I = 7 920$ m³/km²/h pour les nuages en cours de dissipation.

Cette formulation a été améliorée en considérant différents contours de brillance ou de température, et en pondérant chaque contour par un facteur b_i :

$$R_v = I * A_e * \sum (A_i * b_i) \quad A_i \text{ surface du contour } i$$

Le "National Hurricane Center" a adopté cette méthode pour calculer les précipitations recueillies dans des pluviomètres fictifs traversant les systèmes perturbés à la vitesse de déplacement de la perturbation, et l'utilise en routine pour évaluer les précipitations probables à l'arrivée du système sur des régions habitées. La comparaison des résultats obtenus avec la pluie recueillie dans des pluviomètres est satisfaisante.

Cécilia Griffith a adapté sa méthode au problème de l'estimation des précipitations des orages sur les plaines des Etats-Unis pour tenir compte de la relative sécheresse des plaines par rapport à la Floride. Un facteur d'ajustement est calculé en utilisant le modèle monodimensionnel de nuage mis au point par J. Simpson pour FACE. Le modèle calcule un taux de précipitation pour 8 différentes dimensions de nuages allant d'un rayon de 500m à

3000m. Le sondage moyen de Juillet-Aout en Floride est utilisé pour calculer les précipitations des différentes tailles de nuages. Les sondages journaliers des stations disponibles fournissent les mêmes renseignements sur la zone des plaines des Etats Unis. La précipitation moyenne des différentes tailles de nuages et son écart type sont calculés.

Le facteur d'ajustement est égal à : $AJ = (Rp * Sp / Rf * Sf)$

R précipitation moyenne

S écart type

f indice pour Floride

p indice pour Plaines

Le facteur d'ajustement permet d'utiliser une méthode mise au point en milieu subtropical humide dans des zones tempérées et relativement sèches des Etats Unis.

Une version de la méthode ne tenant pas compte du cycle d'évolution du nuage a été testée pour l'estimation des moyennes mensuelles en faisant l'hypothèse que le nuage se trouve à son maximum d'activité sur l'image satellitaire utilisée. Des études ont montré que cette simplification introduisait une différence dans l'estimation des précipitations de l'ordre de 10%. La formulation utilisée pour le calcul du volume de pluie est la suivante:

$$Rv = I * (Ae / Am) * Am * S(Ai * bi) * Dt$$

$$I = 0.0167 \text{ mJ/h}$$

$$Ae / Am = 0.0667$$

Validation des résultats

La comparaison avec des mesures au sol a été faite pour FACE. Les résultats sont représentés sur les figures 3 à 4. Il ressort que plus la période de cumul des pluies (1h à 24h) est longue plus les résultats sont comparables, et inversement les résultats sont meilleurs sur une petite zone que sur une grande, remettant en question l'estimation surfacique des précipitations par un réseau lâche de pluviomètres.

Pour les cyclones tropicaux, les comparaisons effectuées sur le cyclone Allen est présenté sur la figures 5. La méthode prévoit assez précisément le taux maximum de précipitations: 414mm observé contre 422, 417 et 439 successivement calculés. La méthode surestime les précipitations éloignées du centre du cyclone.

La difficulté des comparaisons des résultats entre radar et satellite réside parfois dans le décalage spacial des noyaux observés, pouvant se produire soit par la présence d'un fort cisaillement de vent soit à cause d'une mauvaise localisation spatiale des noyaux observés par satellite. La localisation précise au sol des masses nuageuses exige une correction tenant compte de l'effet de perspective crée par l'angle de vue du satellite sur le sommet des nuages. Une autre difficulté apparaît par la différence de résolution entre radar et canal infra-rouge.

Cécilia Griffith a testé la sensibilité de la méthode à la fréquence d'échantillonnage sur les isohyètes mensuelles des plaines des Etats-Unis. La diminution de la fréquence influe sur la

cellularisation des isohyètes, mais peu sur le volume total de l'eau précipitée lorsque l'on passe de 24 à 2 photos par jour. Elle a également calculé les cumuls mensuels sur l'Afrique de l'ouest pour le mois d'Aout 1974 (GATE) en utilisant les radiosondages de Dakar Abidjan Tombouctou Bamako Nouadhibou. Ses résultats représentent correctement, écrit-elle, les isohyètes obtenus à l'aide des stations pluviométriques.

SCOFIELD-OLIVER

La méthode mise au point par ces auteurs est essentiellement axée sur la prévision à court terme de l'intensité des orages violents sur les plaines des Etats-Unis. C'est une méthode interactive où l'opérateur décide des taux de précipitation en fonction de critères morphologiques des orages obtenus par l'observation des brillances des images satellitaires et des contours des niveaux d'infra-rouge.

Le schéma d'évaluation se résume en 5 étapes décisionnelles:

1-d'après l'image visible et infra-rouge le nuage est-il convectif.

2-d'après l'image infra-rouge le sommet atteint-il le seuil de température de -32°C correspondant au premier niveau des contours infra-rouge.

3-identifier la partie active du cumulonimbus "au vent" du système nuageux en utilisant les critères suivants: le gradient des contours infra-rouge, le sommet surplombant, aspect brillant (visible), déplacement des bords de l'enclume, d'après les vents observés à 300mb la partie du nuage au-vent du système

4-détermination des taux de précipitations en fonction du cycle de vie du nuage, et de l'étendue des différents contours de température.

5-le cumulonimbus a-t-il un sommet surplombant, ou fusionne-t-il avec d'autres.

L'estimation quantitative prend en compte les différents facteurs de l'étape 4 à 5, ainsi que la quantité d'eau précipitable calculée à partir des radiosondages entre la surface et 500mb. Le tableau 1 résume les différents termes du calcul.

Cette méthode donne de bons résultats pour la prévision à court terme des précipitations d'orages violents sur les plaines des Etats Unis. La comparaison entre les cumuls évalués par satellite et mesuré par un réseau montre la concordance de forme des isohyètes obtenues par les deux méthodes (figure 7). Le tableau 2 calculé dans un autre cas corrobore la similitude des résultats de pluie cumulée sur quelques heures par satellite et observation au sol. De plus une étude des prévisions faites sur les orages d'hiver des plaines américaines a montré que 50% des estimations correspondaient à 35% près aux mesures au sol.

Cette technique de mesure, bien que donnant des résultats satisfaisants sur des orages violents isolés est inutilisable, de part sa nature interactive, pour le calcul routinier et objectif des

pluies cumulées sur une zone géographique étendue.

ANALYSE DES CONTOURS DE TEMPERATURE

Quelques auteurs ont tenté de trouver des relations directes entre température de sommet du nuage et taux de précipitation par la comparaison des contours obtenus en infra rouge et des isohètes obtenus par des mesures au sol. Moses a montré sur une situation que la même température pouvait correspondre à des précipitations mesurées différentes suivant la situation dans le nuage et le moment dans son cycle de vie, mettant l'accent sur la nécessité d'une évaluation interactive du type Scofield, incompatible avec la mesure systématique du cumul sur des intervalles de temps réguliers.

L'établissement d'une évaluation routinière des précipitations par satellite doit suivre des règles imposées par sa nature répétitive.

1-le calcul doit être effectué sur les données infra-rouge uniquement, pour être réalisable avec la même précision de jour comme de nuit.

2-chaque donnée de température de sommet des nuages doit pouvoir être repérée précisément par rapport au sol à l'aide d'un programme de correction de l'effet de vue en perspective du satellite, afin d'établir des comparaisons correctes avec les mesures de surface.

3-le tracé des contours de température du sommet des nuages peut s'effectuer indifféremment sur la valeur de la température ou le nombre de bits digitaux correspondants, la calibration par rapport aux mesures sol étant possible sur l'une ou l'autre grandeur.

4-La calibration des évaluations par satellite nécessite la présence au sol d'un réseau dense de pluviographes. Les contours de température des sommets est alors comparé au tracé des isohètes.

CONCLUSION

Les procédures d'évaluation des précipitations par l'imagerie satellitaire présentent les difficultés suivantes:

1-une méthode valable dans une zone climatique n'est pas transposable directement à d'autres régions.

2-l'évaluation précise d'un événement nécessite l'intervention d'un opérateur capable d'affecter un taux de précipitations aux différentes parties du nuage suivant des critères morphologiques et dynamiques des images des sommets.

3-La correspondance température du sommet-intensité de pluies fait intervenir le contenu en eau de l'atmosphère mesuré par les radiosondages.

4-l'évaluation des précipitations sur une zone étendue pendant une période de plus de 24h n'est pas encore réalisée en routine. La difficulté provient de ce que les précipitations les plus intenses se produisent lorsque le nuage se développe. Le schéma de calibration devrait tenir compte du cycle de

vie des nuages, ce qui est difficilement compatible avec l'analyse systématique de 4 à 5 images par jours.

BIBLIOGRAPHIE

Augustine J.A., C.G. Griffith, 1984: A Comparison of Real-Time Satellite Rain Estimates and Radar Data. Conf. Satellite Remote Sensing and Applications, Clearwater Beach, Fla, Amer. Meteor. Soc., 210-215

Griffith C.G., W.L. Woodley, P.G. Grube, D.W. MARTIN, J. Stout, N.D. Sikdar, 1978: Rain Estimation from Geosynchronous Satellite Imagery - Visible and Infrared Studies. Mon. Wea. Rev., 106, 1153-1171

Griffith C.G., J.A. Augustine, W.L. Woodley, 1981: Satellite Rain Estimation in the U.S. High Plains. J. Appl. Meteor 20, 53-66

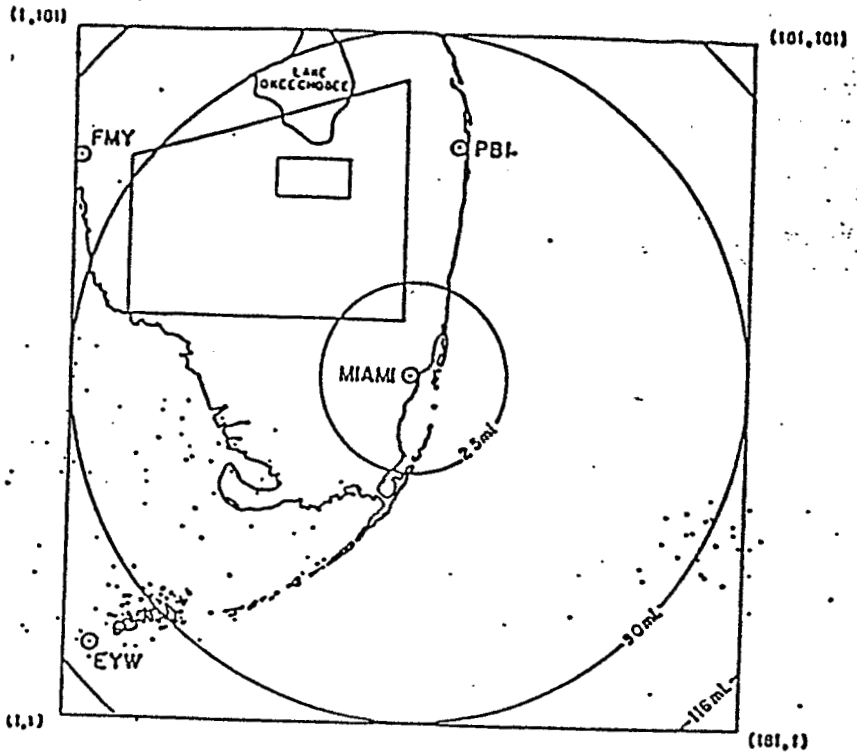
Griffith C.G., J.A. Augustine, 1982: An Assessment of Satellite Rain Estimates For Large Scale, Operational Use, NOAA Tech Memo ERL OWRM-17

Jarvinen R.B., C.G. Griffith, 1981: Forecasting Rainfall in Tropical Cyclones using Digitized Infrared Satellite Data, article non publié.

Moses J.F., 1980: Numerical Methods for the Analysis of Satellite Rainfall Estimates, Eight Conf. Weather Forecasting and Analysis, Amer. Met. Soc., 101-107

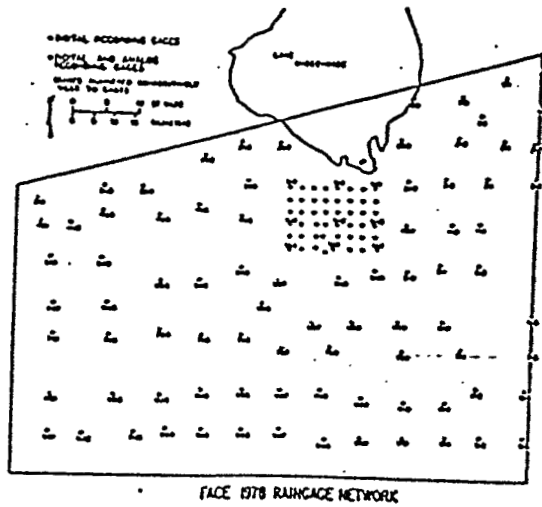
Scofield R.A., V.J. Oliver, 1977: A Scheme for Estimating Convective Rainfall from Satellite imagery, NOAA Tech. Memo. NESS 86, 47 p

Wetzel M., T.H. Vonder Haar, 1985: Satellite Estimates of Rainfall over Small Watersheds, 14th Conf. on Severe Local Storms, Indianapolis, Amer. Met. Soc.



Large square area ($1.1 \times 10^5 \text{ km}^2$) over which radar rainfall estimates are made.

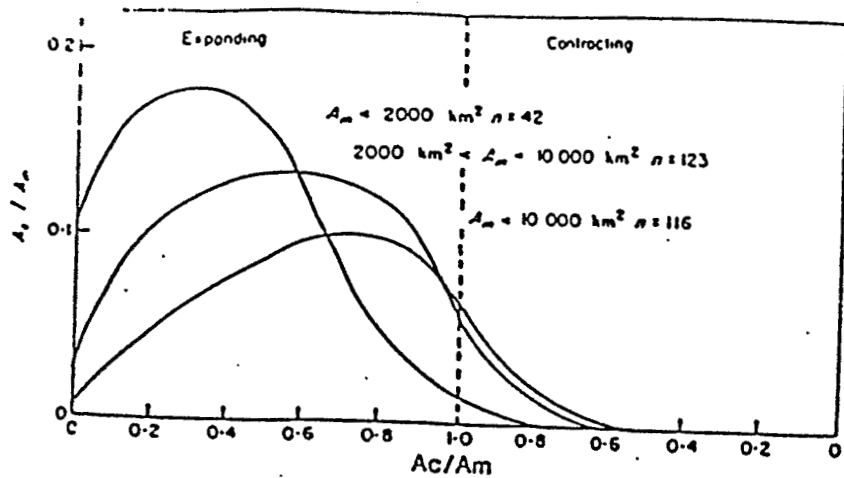
(a)



FACE 1978 RAINGAGE NETWORK

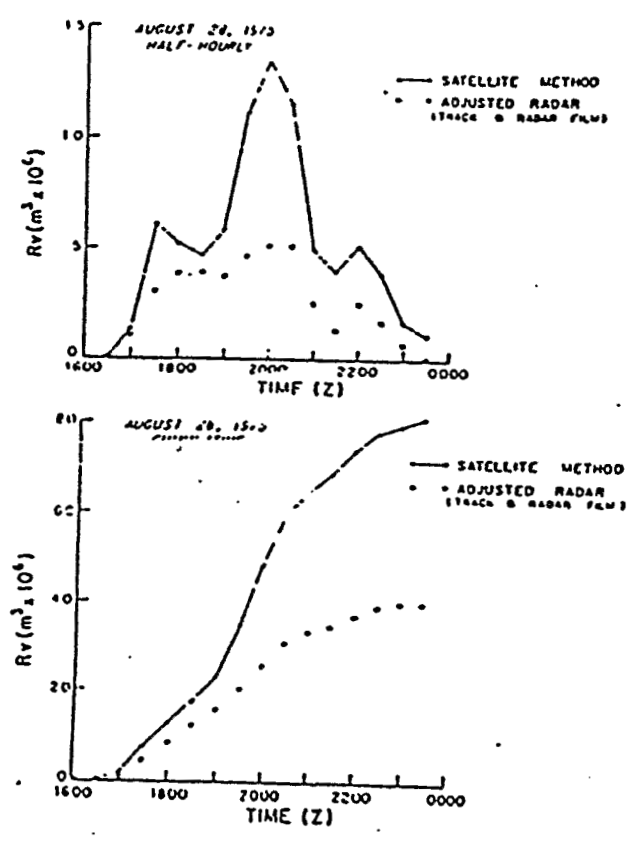
(b)

FIGURE 1 (a) - Radar et "grand carre" de FACE
 1 (b) - Zone cible

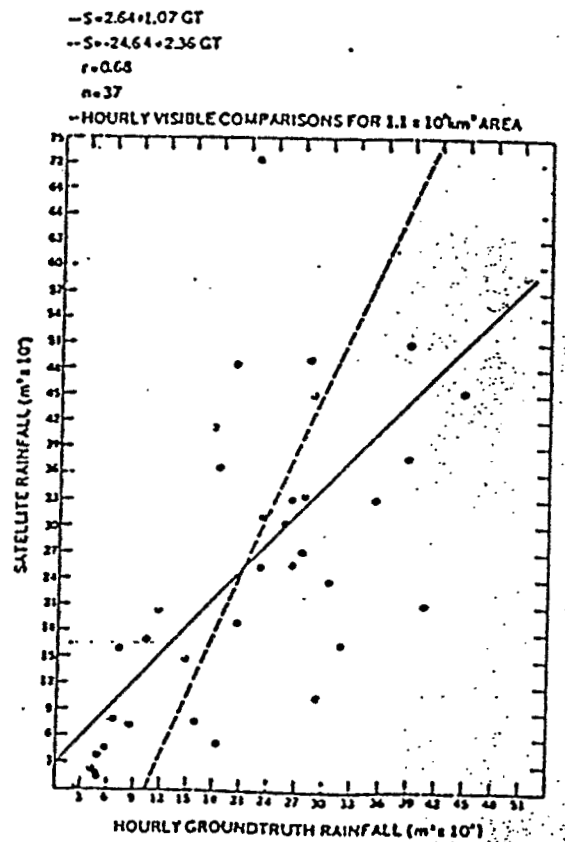


- Relations aire du nuage ac/am. Aire de l'écho-radar Ae/Am. (D'après Griffith et al, 1978).

FIGURE 2

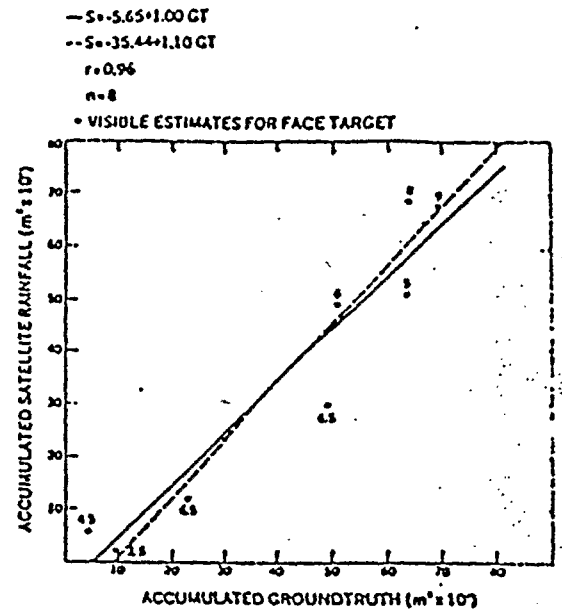
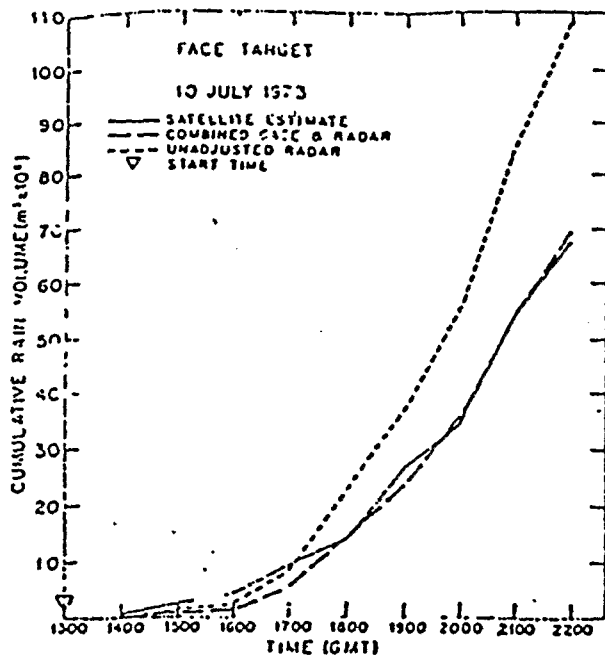


A representative comparison of infrared satellite rain estimates and gage adjusted radar groundtruth for the large square on 28 August 1975. Half-hourly (top) and cumulative (bottom) rainfalls are shown.



Scatter diagram of the hourly satellite and groundtruth rainfalls inferred from visible imagery over the large Florida area. As in Fig. 7, two regressions are shown.

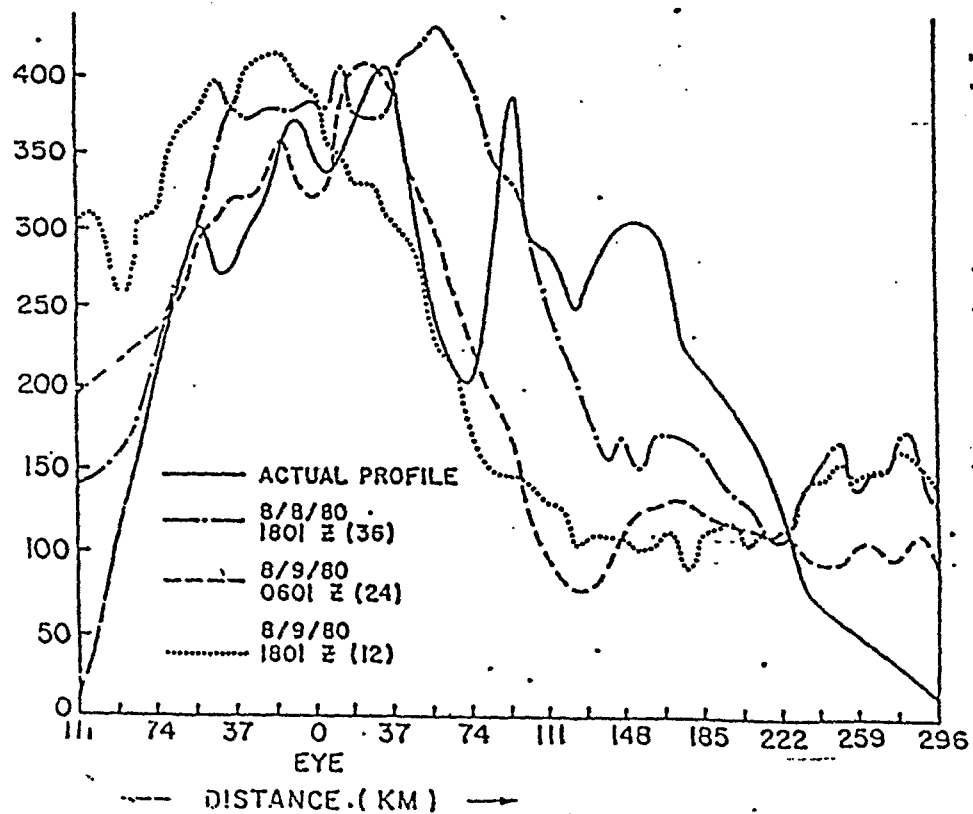
FIGURE 3 - Comparaison satellite - Radar - Zone "grand carré" FACE (d'après Griffith et al, 1978)



Hourly (top) and cumulative (bottom) FACE target area rain results from visible data for 10 July 1973 using an 80 digital count threshold area. Satellite estimates, along with the unadjusted and gage-adjusted radar volumes, are plotted.

A scatter diagram of the accumulated satellite and groundtruth rainfalls for the small Florida area. The two regressions as in Fig. 7 are shown. The number of hours in the computations and the correlation coefficient are indicated.

FIGURE 4 - Comparison satellite - sol - zone cible FACE (d'après Griffith et al, 1978)



Comparison of the actual rainfall profile produced from an isohetal analysis of hurricane Allen's (1980) total rainfall versus rainfall profiles generated from digital infrared data at 12, 24, and 36 h prior to storm landfall.

FIGURE 5 - Comparison sol - Satellite - cyclone Allen (D'après Jarvinen et al, 1981)

Terms in the Scofield/Oliver rainfall equation.

(IR)
1. CLOUD-TOP TEMPERATURE AND CLOUD GROWTH FACTOR

		> 2/3° LAT	> 1/3° < 2/3° LAT	< 1/3° LAT or same	Arcal decrease of a shade or warming from white to repeat gray or within the repeat gray	Coldest tops 1 or more shades warmer
241°-232°K	Med Gray	0.25	0.15	0.10	0.05	↓ 0.10
232°-221°K	Lt Gray	0.50	0.20	0.15	0.10	
221°-214°K	Dk Gray	0.75	0.40	0.20	0.15	
214°-211°K	Black	1.00	0.60	0.30	0.20	
211°-193°K	Rpt Gray*	1-2.00	0.60-1.00	0.30-0.60	0.30	
≥ 193°K	White	2.00	1.00	0.60	0.40	

*Coldest repeat gray shades should tend toward higher estimated amounts.

OR

(IR, VIS)
DIVERGENCE ALOFT. Add to the coldest tops: 0.20 - 0.50 for all gray shades.*

*Areas of well-developed circular outflow aloft (often anticyclonic) or rapidly increasing air speed associated with a jet max and large angle jet directional diffluence should tend toward higher divergence aloft additions.

(VIS, IR)

2. OVERSHOOTING TOP FACTOR. Add to the Overshooting Tops*.

Med Gray	Lt Gray	Dk Gray	Black	Rpt Gray	White
0.50	0.45	0.40	0.30	0.30	0.30

*High-resolution visible imagery is the best data for determining this factor.

(IR, VIS)

3. THUNDERSTORM OR CONVECTIVE CLOUD LINE MERGER FACTOR. Add 0.50 to only coldest tops in the area of the merger.

(IR, VIS)

4. SATURATED ENVIRONMENT FACTOR. Add to the coldest tops stationary for a given amount of time:

	Med Gray	Lt Gray	Dk Gray	Black	Rpt Gray	White
> 1 hour but < 2 hours	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.40
> 2 hours	0.40	0.40	0.40	0.40	0.50	0.75

(IR, VIS) (500-mb PRECIPITABLE WATER ANALYSIS)

5. PRECIPITABLE WATER FACTOR. At this time only used to modify the estimate computed for thunderstorms in dry environments or with high bases.

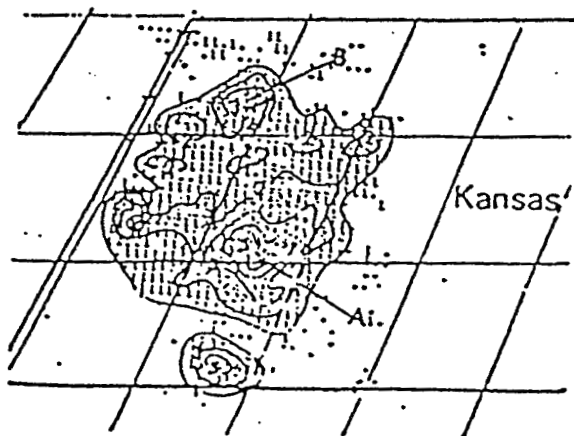
Total Half-Hourly Convective Rainfall Estimate (in inches) =

[Cloud-Top Temperature and Cloud Growth or Divergence Aloft Factor +
Overshooting Top Factor + Merger Factor + Saturated Environment Factor] X

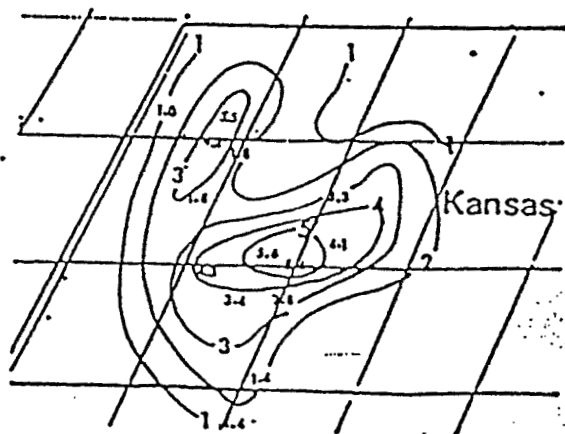
$$\left[\frac{\text{Observed Surface to 500-mb Precipitable Water}}{1.5 \text{ (Standard Surface to 500-mb Precipitable Water for the Technique)}} \right]$$

This ratio is only used when the observed surface to 500-mb precipitable water is less than 1 inch.

TABLEAU 1 - Méthode de Scofield - Oliver
(d'après Moses)



16-hr satellite total accumulations
ending 12Z, July 23, 1979.



24-hr observations ending 12Z,
July 23, 1979. (Zoomed to GOES projection.)

FIGURE 6 - Comparaison satellite - sol - méthode
de Scofield (d'après Moses)

Gauge Location	Accumulated Rainfall			
	Satellite		Gauge	
	inches	mm	inches	mm
Adamsville	0.9	22	1.3	33
Coryell	0.3	8	<0.1	1
Cranfills Gap	0.2	4	<0.1	2
Flat	0.6	14	1.0	25
Moline	0.6	16	0.1	3
5-Gauge Average	0.5	13	0.5	13

TABLEAU 2 - Vérité sol - (d'après Wetzel, 1985)

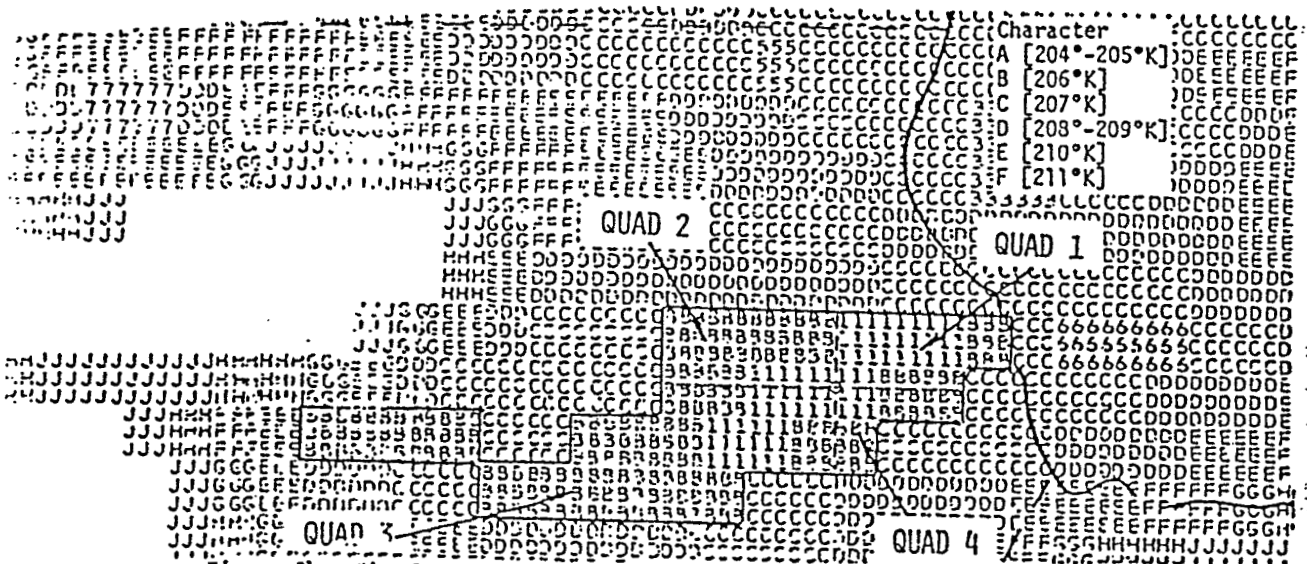
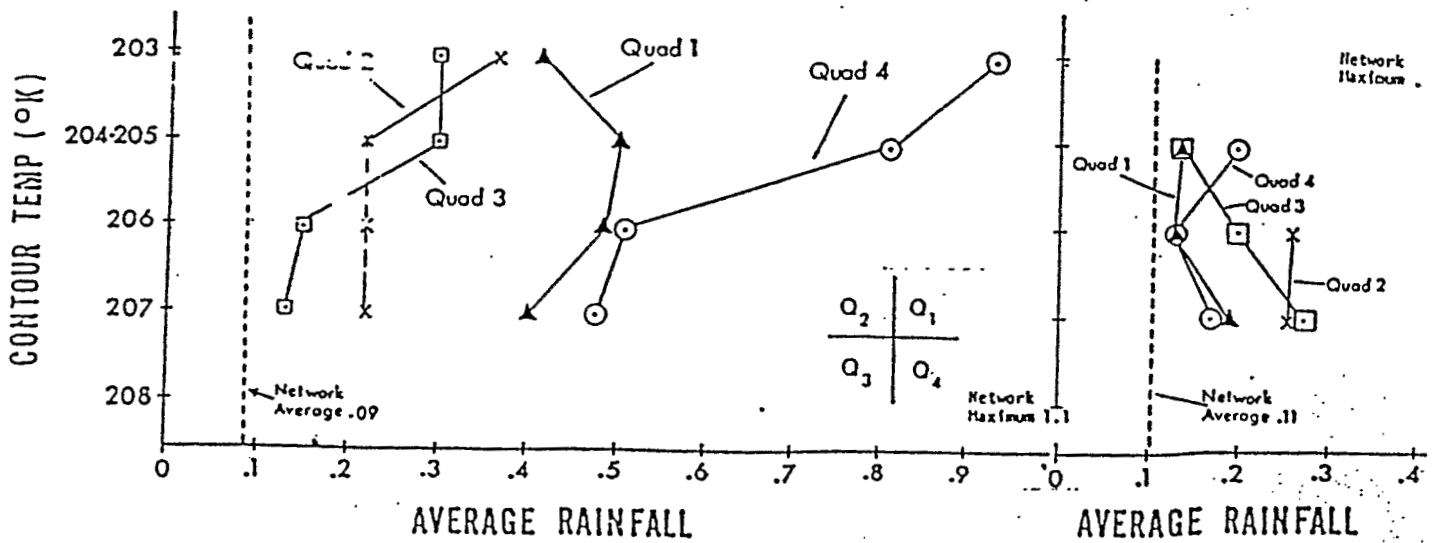


Figure 8b. The four quadrants of cloud #1, 0900Z, on the satellite grid.



The average rainfall found within each temperature contour and quadrant of cloud #1, 0830Z.

The average rainfall found within each temperature contour and quadrant of cloud #1, 0930Z.

FIGURE 7 - Relation température - précipitation - selon situation dans le nuage et cycle de vie (d'après Moses)