

ESTIMATION DES PLUIES A PARTIR D'OBSERVATIONS SATELLITAIRES

ESTIMATION OF RAINFALL FROM SATELLITE OBSERVATIONS

par Phillip A. ARKIN*

Deux types d'observations satellitaires peuvent être utilisées pour estimer les précipitations :

1. Les observations qui se rapportent au sommet des nuages et, dans une certaine mesure à leur épaisseur, et qui sont généralement déduites des températures de brillance dans l'infrarouge et (ou) le visible ;

2. Les observations relatives aux hydrométéores liquides et solides (eau, glace) déduites d'après leurs effets sur les radiations micro-ondes confrontées à celles émises par la surface du sol ou de la mer.

Ces techniques ont été respectivement qualifiées d'indirectes et de directes par Arkin et Meisner (1987). De même, les techniques supposées être les mieux appropriées à la production d'estimations de la pluie convenant à l'échelle des études climatiques ont été discutées dans cet ouvrage, ainsi que dans Arkin et Ardanuy (1989). D'autres références utiles peuvent être trouvées chez Barret et Martin (1981), Griffith et Al. (1989) et Simpson et Al. (1988).

Les techniques VIS/IR présentent de beaucoup la plus longue histoire, jusqu'à vingt-cinq ans dans quelques cas. Une grande masse de données provenant des satellites géostationnaires et défilants, expérimentaux ou opérationnels a été rendue disponible. Ceci a généré une multitude d'approches. Les techniques appliquées peuvent être regroupées en cinq catégories en fonction de la somme d'informations utilisées à partir de l'imagerie satellitaire :

1. Un seul point dans l'espace et le temps : une estimation est faite pour chaque pixel, sans aucune référence aux informations sur les autres points ;

2. Un seul point dans l'espace/images multiples : l'estimation est faite pour chaque pixel en utilisant seulement la série temporelle des températures de brillance mesurées à ce point ;

3. Un seul point dans le temps/aire étendue dans l'espace : les estimations sont faites de manière indépendante pour chaque image, mais les informations obtenues sur une région étendue sont utilisées pour estimer la précipitation en un point donné ;

4. Images multiples/aire étendue dans l'espace : les estimations en un point donné sont fonction de la série temporelle des images.

5. Combinaisons : Les informations provenant d'autres sources de données telles que le canal visible, les micro-ondes ou les modèles sont utilisées en conjonction avec l'une des quatre approches citées ci-dessus.

Two types of satellite observations can be used to estimate precipitation. They are :

1. Observations of the tops (and to some extent the thickness) of clouds, generally inferred from infrared (IR) temperature and/or visible brightness ;

2. Observations of liquid and solid hydrometeors, inferred from their effects on microwave radiation relative to that emitted by the surface of the land or ocean.

These techniques have been labeled indirect and direct, respectively, by Arkin and Meisner (1987), and those thought most relevant to the generation of rainfall estimates suitable for climate studies have been discussed there as well, as in Arkin and Ardanuy (1989). Other useful references include Barrett and Martin (1981), Griffith et al. (1979), and Simpson et al. (1988).

The Vis/IR techniques have by far the longer history, up to 25 years in some cases. A great deal of data, from experimental and operational polar orbiting and geostationary satellites, has been available, and an enormous number of approaches have been attempted. The techniques applied can be categorized according to the amount of information they utilize from the imagery into 5 groups :

1. Single-point in time and space : an estimate is made for each pixel without reference to information from other points ;

2. Single-point space/multiple image : an estimate is made for each pixel using only the time series of brightness temperature at that point ;

3. Single-point time/extended area in space : estimates are made independently for each image, but information over an extended area is used to estimate rainfall at a given point ;

4. Multiple image/extended area : estimates at a given point are a function of the time series of images ; and

5. Hybrid : information from other sources, such as visible or microwave sensors or models, is used in conjunction with one of the four approaches above.

*National Meteorological Center ,NOAA/NWS.

Il est facile de montrer que beaucoup de ces techniques ont donné des résultats satisfaisants dans un sens qualitatif. Il a été démontré également que certaines d'entre elles, moyennant des calibrations appropriées présentaient un certain talent à produire des résultats utiles, au plan quantitatif, sur certaines régions.

Un des algorithmes des plus simples du groupe "un seul point" est appelé l'index de précipitations GOES (GPI-Arkin et Meisner, 1987). Il est fondé sur la comparaison d'analyses de la pluviométrie faites à partir d'observations par radar et pluviomètres d'une part, d'observations dans l'imagerie infrarouge faites au cours de l'expérience GATE (GART Atlantic Tropical Experiment) par Arkin (1979) et Richards, et Arkin (1981) d'autre part. Ces derniers ont établi que le taux de couverture par des nuages froids de température inférieure ou égale à -235°K sur de vastes zones ($1^{\circ}5$ de latitude par $1^{\circ}5$ de longitude et plus) était étroitement corrélé aux pluies cumulées à toutes les échelles de temps depuis l'heure jusqu'à la journée. Les estimations de pluie faites à partir de la fraction de l'aire couverte par des nuages froids sont apparues comme étant aussi précises que celles dérivées d'algorithmes plus sophistiqués.

Le GPI a été appliqué aux observations faites par les satellites géostationnaires américains à partir de décembre 1981. Les analyses des cycles diurnes et annuels dans l'estimation des pluies ont été présentées par Arkin et Meisner (1987) et Meisner et Arkin (1987). Les analyses, pour l'ensemble des Tropiques, qui ont mis en lumière les grandes variations interannuelles de la pluviométrie associées aux épisodes les plus froids et les plus chauds de l'oscillation australe ont été présentées par Janowiak et Arkin en 1990.

La technique "convective-stratiforme" (CST, Adler et Negri, 1988) fournit un exemple d'algorithme appartenant à la catégorie n° 3 (image seule/aire étendue). La CST utilise les variations locales de la température de brillance pour identifier les noyaux de convection intense et pour éliminer les cirrus non précipitants. Elle restitue la pluie estimée selon ses composantes convective et stratiforme. Le côté objectif de la CST en fait un candidat valable à la fois pour les applications climatiques et les NWP (nowcasting weather prediction). Ses performances sur des cas sélectionnés ont été supérieures à ceux des techniques plus simples. Cependant, on vient seulement de commencer à la tester sur une variété de sites et la pertinence de son utilisation pour la production d'estimations globales demeure encore incertaine.

Les techniques micro-ondes n'ont été possibles qu'à partir du milieu des années 1970, dès lors qu'aucun instrument produisant de telles observations n'avait été embarqué auparavant, et ce n'est que depuis 1987 seulement qu'un radiomètre micro-ondes opérationnel, le SSM/I, est disponible.

It is easy to show that many such techniques have been quite successful in a qualitative sense, and some have been shown to have useful quantitative skill in some regions, given appropriate calibrations.

One of the simplest of the single-point algorithms is called the GOES Precipitation Index (GPI – Arkin and Meisner, 1987). It is based on a comparison of rainfall analyses derived from radar and raingauge observations and geostationary satellite IR observations made during the GARP Atlantic Tropical Experiment (GATE) by Arkin (1979) and Richards and Arkin (1981). They found that the coverage of large areas (1.5° latitude x 1.5° longitude and larger) by clouds with equivalent black body temperature of $\leq 235\text{K}$ was highly correlated with accumulated rainfall at all time scales from hourly to daily. Rainfall estimates made from just the fractional coverage of cold cloud over large areas appeared to be as accurate as those derived from more sophisticated algorithms (Richards and Arkin, 1981).

The GPI was applied to observations from the operational U.S. geostationary satellites beginning in December 1981. Analyses of the annual and diurnal cycles in estimated rainfall and their interannual variability were presented by Arkin and Meisner (1987) and Meisner and Arkin (1987). Analyses for the global tropics which exhibited the large interannual changes in rainfall associated with the warm and cold extremes of the Southern Oscillation observed in 1987 and 1988 were shown by Janowiak and Arkin (1990).

An example of a single-image, extended area algorithm is the Convective-Stratiform Technique (CST-Adler and Negri, 1988). The CST uses local variations in brightness temperature to locate intense convective cores and to remove non-precipitating cirrus, and partitions estimated rainfall into convective and stratiform components. The objective character of the CST makes it a plausible candidate for both climate and NWP applications, and its performance on selected cases has been superior to simpler techniques. However, it has only recently begun to be tested in a variety of locations and its suitability for use in the production of global estimates is as yet uncertain.

The microwave techniques have only been possible since the mid-1970's, since no instruments producing such observations were flown sooner, and only since 1987 has an operational microwave instrument, the SSM/I, been available.

Deux types d'algorithmes ont été utilisés pour de telles mesures, l'un basé sur l'émission de radiations par les gouttes de pluie, à des fréquences inférieures à environ 20 GHz, l'autre basé sur la dispersion des radiations à des fréquences supérieures à environ 60 GHz par des grandes particules de glace. Le premier, confronté au contexte froid de la basse émissivité de la surface de la mer, autorise une mesure quasi-directe de l'intensité de la pluie, tandis que le second permet de la déduire dans les cas où la pluie est bien corrélée aux grandes particules de glace, par exemple lors des orages convectifs.

Une troisième approche, dans laquelle un modèle physique de l'atmosphère précipitante est mis en œuvre pour reproduire les données micro-ondes mesurées et dans lequel la précipitation induite à partir du modèle, est utilisée comme estimation, en est aux premières étapes de son développement. Le faible taux d'échantillonnage des radiomètres micro-ondes existants rendent toutefois ces techniques inadaptées pour des estimations de pluies concernant de vastes étendues à un faible pas de temps. D'un autre côté, leur relation plus directe avec les hydrométéores réels rendent leur utilisation souhaitable. Des essais de couplage du (meilleur) échantillonnage spatial et temporel des observations infrarouge et de la précision potentiellement plus grande des micro-ondes sont actuellement en cours (Adler et al. 1992), Jobard et Desbois (1992).

Two types of algorithms have been used with such observations, one based on the emission of radiation at frequencies below about 20 GHz by raindrops, and the other based on the scattering of radiation at frequencies above about 60 GHz by large ice particles. The former, against the cold background of the low emissivity ocean surface, permits a nearly direct estimate of rainrate, while the latter allows an inference of rain rate in situations where the rain is well correlated with the density of ice particles, such as in convective storms.

A third approach, in which a physical model of the precipitating atmosphere is manipulated to reproduce the observed microwave spectrum and the precipitation inferred from the model is used as an estimate, is in the early stages of development. The low sampling rate of existing microwave radiometers make these techniques unsuitable for estimates over large areas on short time scales, while their more direct relation to the actual hydrometeors make their use desirable. Attempts to combine the sampling of IR observations with the potentially greater accuracy of microwave are being made by Adler et al. (1992) and Jobard and Desbois (1992).

RÉFÉRENCES

- ADLER, R.F. and NEGRI A.J., 1988. – A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *J. Appl., Meteor.*, 27, 30-51.
- KEEHN P.R. and HAKKARINEN I.M., 1992. – Estimation of monthly rainfall over Japan and surrounding waters from a combination of low-orbit microwave and geosynchronous IR data. *J. Appl. Meteor.*, 31, (in press).
- ARKIN P.A., 1979. – The relationship between the fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1.382-1.387.
- ARKIN P.A. and MEISNER B.N., 1987. – The relationship between large-scale convective rainfall and cold cloud over the western hemisphere during 1982-84. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 51-74.
- ARKIN P.A. and ARDANUY P.E., 1989. – Estimating climatic-scale precipitation from space : A review. *J. Climate*, 2, 1.229-1.238.
- BARRETT, E.C. and MARTIN D.W., 1981. – *The Use of Satellite Data in Rainfall Monitoring*. Academic Press, 340 pp.
- GRIFFITH C.G., WOODLEY W.L., GRUBE P.G., MARTIN D.W., STOUT J. and SIKDAR D.N., 1979. – Rain estimation from geosynchronous satellite imagery-visible and infrared studies. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 1.153-1.171.
- JANOWIAK J.E. and ARKIN P.A., 1990. – Rainfall variations in the tropics during 1986-1989. *J. Geophys. Res.*, 96, supplement, 3.359-3.373.
- JOBARD, I. and M. Desbois, 1992. – A method combining infrared and microwave satellite radiances for the estimation of the tropical rain. *Preprint Volume – Sixth AMS Conference on Satellite Meteorology and Oceanography*, January 5-10, 1992, Atlanta, GA.
- MEISNER B.N. and ARKIN P.A., 1987. – Spatial and annual variations in the diurnal cycle of large-scale tropical convective cloudiness and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 2.009-2.032.
- RICHARDS F. and ARKIN P., 1981. – On the relationship between satellite-observed cloud cover and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 1.081-1.093.
- SIMPSON J., ADLER R.F. and NORTH G.R., 1988. – A proposed Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 69, 278-295.

Arkin P.A. (1992).

Estimation des pluies à partir d'observations satellitaires =
estimation of rainfall from satellite observations.

Veille Climatique Satellitaire, (41), p. 60-62.

ISSN 1144-2026