

Imagerie satellitaire et estimation des précipitations

Mythe et réalités

Bernard Guillot

Contrairement aux satellites d'*observation de la terre* (Landsat, Spot) qui prennent des vues à très haute résolution spatiale (10 à 30 mètres), au prix d'une basse résolution temporelle (une vue du même point tous les 16 ou 26 jours), les satellites dits d'*environnement*, ou *météorologiques*, sont prévus pour couvrir l'ensemble du globe à très haute cadence temporelle (une demi-heure pour les satellites géostationnaires comme Météosat), sur des champs de vue instantanées (pixels) de l'ordre de un kilomètre (satellites NOAA) à cinq kilomètres (infrarouge Météosat). Ces satellites sont utilisés en routine pour suivre des événements de grande ampleur (d'échelle continentale) et à évolution rapide, en météorologie, en climatologie, en agrométéorologie et en océanographie.

Les données qu'ils recueillent sont une expression, à différents niveaux, d'une énergie de rayonnement issue directement des objets par leur température (infrarouge thermique) ou réfléchie

par ces objets à partir d'une source externe (énergie solaire par le rayonnement visible). Une relation entre ces rayonnements et l'état de la surface peut permettre à des spécialistes d'en déduire des paramètres physiques (végétation, température,...) à condition d'indiquer à l'utilisateur le *mode d'emploi*, c'est à dire la méthode de restitution du paramètre et le degré de précision qui y est associé. Comme les calculs sont souvent décevants et qu'il est, par contre, facile de produire de belles images en fausses couleurs, le risque de tromperie sur la marchandise est grand comme nous allons le voir à propos de l'estimation des précipitations.

Imagerie satellitaire et mesure de paramètres physiques : application au cas des précipitations

Pour diverses raisons : haute répétitivité des mesures et couverture globale instantanée du globe terrestre vu depuis 36 000 km et parfois 0° de latitude et de longitude, le satellite Météosat est actuellement le mieux adapté à l'estimation des précipitations en Afrique. Son emploi à ce titre pose cependant beaucoup de problèmes, que ce soit par l'utilisation des caractéristiques de l'expéditeur de la pluie (le nuage) ou par celle de la cible modifiée par l'eau précipitée (le sol et notamment sa température).

Relation entre nuages et pluies

Des méthodes variées ont été testées à de nombreuses reprises pour caractériser les nuages vus par satellite par rapport aux précipitations reçues au sol. La difficulté vient de ce que les capteurs actuels (visible et infrarouge) n'apportent d'information (opacité ou température) que sur le sommet des nuages et qu'il n'y a, par suite, aucun lien physique entre ce que l'on observe et ce que l'on veut mesurer. On est donc obligé de rechercher des relations statistiques entre l'information satellitaire et les pluies mesurées au sol (pluviométrie). Plusieurs problèmes apparaissent aussitôt :

- la relation statistique, pour être bonne, doit s'appliquer sur un échantillon aussi grand que possible, ce qui élimine d'entrée les zones arides où les pluies sont rares et oblige pour les autres à allonger la période d'estimation si l'on veut une bonne précision (durée de l'ordre du mois ou au delà) ;

- le sommet des nuages a une variabilité spatiale plus faible que la pluie. Fait aggravant, la taille d'observation est aussi très différente : quelques décimètres carrés pour le pluviomètre et 25 km² pour le pixel Météosat, ce qui pose des problèmes quant au calage d'une observation par l'autre du fait de la très forte variabilité spatiale de la pluie dans ces régions ;

- les nuages ne sont pas tous pluviogènes et peuvent l'être de façon très variable, d'où la nécessité d'établir une classification, difficile et approximative avec le seul canal permanent (information disponible de jour et de nuit), le canal infrarouge thermique de Météosat ;

- enfin l'environnement physique atmosphérique (température, humidité de l'air) varie dans l'espace avec l'aridité à un instant donné, notamment du nord au sud en Afrique de l'Ouest et il varie également, pour les mêmes zones, au cours de la saison et d'une année à l'autre, ce qui modifie considérablement l'efficacité en pluie des nuages sans que cela se traduise par de grandes variations à leur sommet.

À partir de là, un certain nombre de méthodes ont été proposées pour l'Afrique, notamment celle du groupe TAMSAT (Université de Reading, UK., Chadwick *et al.* 1986) qui utilise des durées de nuages à sommet froids calibrées par un coefficient calculé avec les données sol sur les années précédentes, méthode reprise par la FAO et appliquée et diffusée systématiquement sur l'Afrique (Snijders, 1990). Nous avons nous-mêmes mis au point un procédé utilisant des nuages froids calibrés par les données sol pour les mêmes périodes mais nous l'avons vite abandonné vu son imprécision.

Relation entre température du sol et pluie

Pour pallier les insuffisances liées à l'emploi des nuages dans l'estimation, des chercheurs de l'INRA et du Cirad (Nègre *et al.*,

1988) ont eu recours à la température du sol. Celle-ci évolue dans la journée en fonction de l'éclairement solaire et de la nature du sol mais surtout de sa teneur en eau et du couvert végétal qui en dépend. Sa température maxima est par suite un bon indice du bilan hydrique et des précipitations qu'il a reçues.

Reprenant leurs travaux, l'équipe Orstom de Lannion a proposé une utilisation conjointe des deux paramètres (CARN *et al.*, 1989) constatant que cela améliorerait systématiquement les estimations. De plus, pour tenir compte de l'environnement atmosphérique des précipitations, nous avons considéré, dans le calcul, la température de l'air qui en est une bonne représentation. Des problèmes subsistent cependant, liés à la mesure de la température, altérée par les modifications du signal infrarouge dans l'atmosphère (absorption-réémission par la vapeur d'eau et les gaz atmosphériques) ou par les voiles d'aérosols désertiques, difficiles à distinguer. Des différences régionales liées au relief et à la végétation introduisent aussi des distorsions dans le champ des estimations.

Validation des estimations et limites d'emploi

Face aux problèmes décrits ci-dessus, il est d'autant plus important de vérifier la précision des résultats, pour deux raisons :

- dans les pays à risques climatiques graves, la demande d'information est très forte du fait de la faible densité des mesures au sol et de leur diffusion aléatoire. Des résultats en "temps réel" et par petites régions sont presque vitaux pour repérer les zones à problème, pour la conduite des cultures et des pâturages, tout au long de la saison et aussi en fin de saison, pour estimer les rendements en fonction de la pluviométrie ;

- les utilisateurs sur le terrain sont très peu au fait des techniques satellitaires ce qui les rend très vulnérables à des offres de service, d'autant plus attirantes qu'elles sont présentées sous la forme de belles images en couleurs (fig. 10, cf. cahier couleur), montrant des champs continus de pluie avec toutes les apparences de la réalité, notamment la

progression des taux de précipitations vers le sud et leur absence au nord, ainsi que la mise en évidence des zones de forte pluies : Fouta-Djalou, Monts du Cameroun,...

Limites de la méthode de Lannion

Les problèmes évoqués ci-dessus deviennent très apparents lorsque l'on établit des validations des estimations avec des données mesurées au sol. Les tests que nous avons effectués montrent que notre méthode, malgré toutes les précautions prises, ne permet pour l'instant de répondre qu'à certaines demandes de l'agrométéorologie, comme une estimation suffisamment précise (erreur inférieure à 20%) au Sahel, à la fin du mois d'août, cette information permettant d'estimer les rendements en fonction de modèles agronomiques. Nous restons par contre encore très loin du seuil de précision nécessaire (60%) pour suivre l'évolution des cultures au pas de temps décadaire (10 jours) et il est bien entendu tout à fait impossible d'appréhender les pluies quotidiennes, averse par averse. Enfin les taux d'erreur mesurés dans les zones arides sont tels qu'ils interdisent l'emploi dans ces régions pour lesquelles tout reste à faire.

Critique de la méthode TAMSAT/FAO

Déjà très critiquable parce que n'utilisant que les nuages, vus au travers d'un crible de calibration qui est une moyenne (avec tous les travers de cette notion dans des zones à très grande variabilité climatique), cette méthode pose problème par l'utilisation abusive qui en a été faite. Bien que ses auteurs en aient eux-mêmes (Chadwick *et al.*, *ibid*) marqué les limites dans leurs écrits scientifiques, insistant sur l'aspect approximatif de leurs résultats : "because the methods are inevitably imprecise... et seulement capables" : "to reflect the near certainty of rainfall", ils n'en ont pas moins usé de façon imprudente. Dans le texte cité sont en effet présentées, comme sorties de traitement, des cartes de "pluie quotidienne", sans autre justification.

Surtout, probablement pour s'assurer de contrats pour financer leurs recherches, ils en ont autorisé l'emploi, sans modification, dans des zones de climat très différent de celles où elle a été élaborée. Nous avons ainsi retrouvé à Alger tout un système de traitement, fort heureusement employé à toute autre chose (imagerie pour la télévision) que l'estimation des pluies qui, dans cette région et notamment en hiver, ont pour origine des phénomènes météorologiques très différents de ceux du Sahel.

Son emploi, sans aucun discernement, par la FAO conduit à des aberrations du même genre. Les données du satellite, reçues à Rome et traitées sur toute l'Afrique à partir de coefficients de calibration calculés sur de très petites zones et sur très peu de données, n'en sont pas moins utilisées pour diffuser, sur un système coûteux de télétransmission, des cartes de pluies quotidiennes ou par périodes décennales, le summum de l'aberration étant la présentation, dans un colloque scientifique (Snijders, 1990), à partir d'estimations probablement fausses à 50% et plus, de cartes d'écart à la normale. On imagine sans peine le résultat pour des zones comme le Zaïre, pays sur lequel nous n'avons jamais eu la moindre information récente de pluviométrie et où les systèmes nuageux typiques de la zone équatoriale, responsables de la pluie, ont une composition très différente de ceux du Sahel, de l'Afrique de l'Est ou de l'Éthiopie, d'où sont tirées les calibrations. Les responsables de la FAO ont depuis heureusement corrigé le tir et actuellement des études sont faites sur le terrain pour tester la méthode.

Conclusions et recommandations

Face à de tels agissements, très préjudiciables à la réputation de la science, plusieurs niveaux de riposte ont été ou sont à mettre en place.

Pour orchestrer cet effort, nous avons créé le réseau de recherche EPSAT, Estimation des Précipitations par Satellite (Cadet-Guillot, 1991), pour gérer le problème dans toutes ses composantes, sans se désintéresser des applications de la recherche dans un domaine où la demande est très forte. Les principaux objectifs sont :

- de valoriser au maximum le réseau météorologique qui fournit les données sol, en introduisant son emploi dans les

calibrations. Outre l'aspect garde-fou de la "vérité terrain", ces mesures, en se modernisant et en se densifiant, seront de plus en plus à même de servir aussi pour la validation. Dans le même sens, un effort important a été fait pour situer le degré de signification d'une mesure isolée, par rapport à la dimension satellitaire, par la mise en place d'une expérimentation au Niger (100 pluviographes répartis sur 10.000 km², exploités de 1988 à 1992 et couplés à un radar météorologique) ;

- de préparer l'emploi de satellites à venir, équipés de capteurs sensibles à l'eau liquide des averses (capteurs micro-ondes aux bonnes longueurs d'onde) et capables de suivre en continu la pluviométrie, en évitant ou en minimisant les problèmes liés à l'emploi de relations statistiques. Des versions expérimentales, existantes ou à venir : expérience américano-japonaise TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission, lancement en 1998) sont à utiliser, en veillant à ce que la communauté scientifique francophone soit intégrée à cet effort, en France et chez nos partenaires.

Références bibliographiques

CADET D.L., GUILLOT B., 1991 - *EPSAT : Estimation des précipitations par satellite*. ORSTOM - Min. de la Coop., 63 p.

CARN M., DAGORNE D., GUILLOT B., LAHUEC J.P., 1989 - Estimation des précipitations par satellite en temps réel en Afrique sahélo-soudanienne. *Veille Clim. Sat.*, 1989, 28, pp. 47-55.

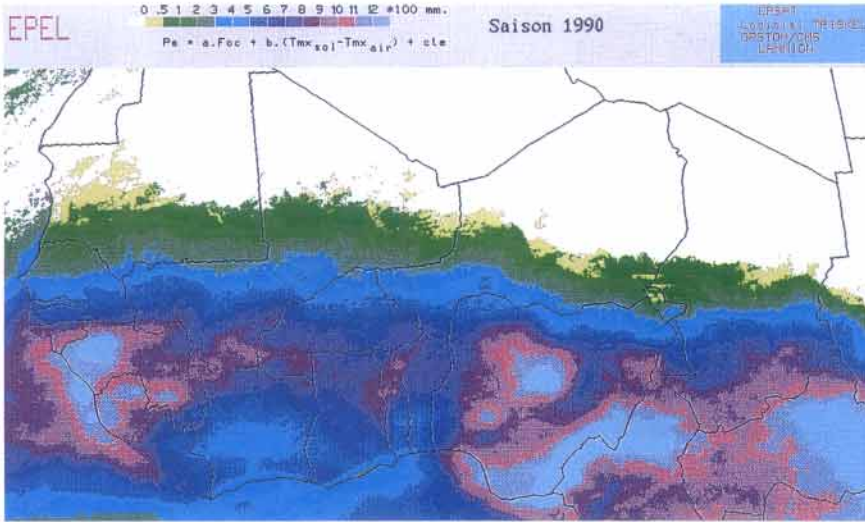
CHADWICK A.F., DUGDALE G., TRAORE A.F., MILFORD J.R., 1986 - Operational rainfall mapping over the Sahel. *6th. Meteosat Scientific User's Meeting*, Amsterdam, The Netherlands, vol. II, 6 p.

LAHUEC J.P., CARN M., LEMOIGNE O., DAGORNE D., 1992 - La saison des pluies 1991 en Afrique de l'ouest soudano-sahélienne. Suivi à partir d'images Météosat. *Norvois*, 39-155, pp 255-267.

NEGRE T., IMBERNON J., GUINOT J.P., SEGUIN B., GUILLOT B., 1988 - Estimation et suivi de la pluviométrie au Sénégal par satellite Météosat. *Agronomie Tropicale*, 43-4, pp 279-288.

SNIJERS F.L., 1990 - Applications of meteorological satellites for food and agriculture in Africa. *8th. Meteosat Scientific User's Meeting*, Norkoepping, Sweden, pp. 269-275.

Fig. 10 : Afrique occidentale : estimation des précipitations (en mm) de mai à octobre 1990



La méthode d'estimation des pluies par satellite développée au Centre de Météorologie spatiale (CMS) de Lannion repose sur l'utilisation combinée d'une information sur la source des pluies (les nuages précipitants) et la signature spectrale de ces pluies sur la cible (température radiative maxima de la surface corrigée par la température de l'air en surface). Une calibration de ces paramètres par les données sol (pluviométrie mesurée aux stations du réseau synoptique) est ensuite réalisée sous la forme d'une régression linéaire multiple où :

$$Pe \text{ (pluie estimée)} = a \text{ FOC} + b(Ts - Ta) + cte$$

avec :

- FOC : fréquence d'occurrences de nuages,
- Ts : température radiative maxima de surface
- Ta : température de l'air

L'estimation n'est bien entendu utilisable que dans la zone où se trouvent les stations de mesure des pluies, c'est-à-dire certains pays membres du CILSS (Centre Interétats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel) : Sénégal, Gambie, Mauritanie, Mali, Burkina Faso, et Tchad.