

LES ACTIVITÉS DU RÉSEAU EPSAT AU SÉNÉGAL

**Un exemple réussi
d'opération de recherche en partenariat**

Siméon Fongang

École nationale supérieure universitaire
de technologie (Ensut), Dakar (Sénégal)

Bernard Guillot

Institut français de recherche scientifique
pour le développement en coopération (Orstom),
Lannion (France)

Introduction

Le réseau Epsat (Cadet-Guilloté 1991) est né d'une volonté de regrouper les moyens et les compétences dans le but de parvenir, le plus rapidement possible au stade d'une exploitation opérationnelle dans le domaine de l'hydrologie spatiale. Lors d'une réunion tenue à Paris sur ce sujet, à l'initiative du CNES, en octobre 1984, plusieurs thèmes furent identifiés, dont celui de l'estimation des précipitations par satellite en climat inter-tropical.

Au petit groupe initial, constitué autour de laboratoires du Nord compétents dans diverses spécialités (laboratoire d'aérodynamique de Toulouse pour l'utilisation des radars météorologiques, laboratoire de météorologie dynamique de Palaiseau et l'antenne Orstom de Lannion pour le satellite, laboratoire d'hydrologie de l'Orstom de Montpellier pour la pluviométrie) sont venus s'adjoindre rapidement des chercheurs et des organismes du Sud.

Dès le début des étudiants africains préparant des thèses se rapportant au sujet dans les laboratoires du Nord ont été impliqués dans le projet. Des échanges d'informations et de données ont été établis avec les services agrométéorologiques de la zone d'intérêt : Asecna, Centre Agrhymet de Niamey, services nationaux de météorologie, qui fournissent entre autres des données de validation sol et apportent leur indispensable concours à la réalisation des campagnes de terrain.

Une des formes que prend ce partenariat est la tentative de constitution, dans les pays où cela s'avère possible, de cellules nationales du réseau, organisées de façon autonome, avec un coordinateur local. Ces unités sont notamment les mieux à même, par leur implantation locale et leur capacité à mobiliser les moyens et les énergies, à trouver des solutions appropriées aux problèmes particuliers que posent les conditions du milieu : relief, végétation, continentalité, dans la répartition des précipitations et leur évaluation.

Au Sénégal, nous avons ainsi réussi à constituer une équipe capable d'effectuer une recherche de bon niveau, qui nous semble représentative de ce qu'il convient de mettre en place, eu égard aux moyens humains des pays et aux contraintes techniques dures que posent l'acquisition et le traitement combiné de données des satellites, des radars et des pluviomètres.

Le réseau fonctionne comme un organisme informel d'échange de données et de savoir-faire. Il est doté d'une charte et d'un bureau permanent et une ou deux réunions annuelles sont organisées. La prochaine aura lieu justement à Dakar, grâce à un crédit obtenu auprès du ministère français de la Coopération.

Objectifs du réseau et contraintes techniques de l'estimation des précipitations par satellite

Avant d'entrer dans le vif du sujet et pour la clarté de l'exposé, il nous semble nécessaire d'explicitier davantage les objectifs du réseau et les contraintes techniques qu'il faut nécessairement maîtriser, si l'on veut, dans ce domaine, exercer un véritable partenariat et fournir aux nations du Sud les moyens d'arriver à plus d'autonomie, afin de cesser de former des gens dans les universités et centres de formation du Sud ou du Nord, qui se retrouvent ensuite isolés, sans données et sans moyens de travail.

Les objectifs du réseau

L'importance de l'eau sur la vie animale et végétale induit qu'il est très important de connaître son cycle dans l'atmosphère et sur la terre. Parmi les différents paramètres qui décrivent ce cycle, les précipitations sont un des éléments dont dépend l'activité de l'homme et un des facteurs clés de la vie, car de leur répartition spatio-temporelle vont dépendre les rendements agricoles, notamment en zone intertropicale, où les températures n'ont pas une grande incidence. Certains pays sont frappés régulièrement, voire en permanence, par des déficits pluviométriques et c'est le cas de l'Afrique de l'Ouest, pour laquelle une zone semi-aride (donc sujette à des fluctuations pluviométriques importantes), le Sahel, subit, depuis bientôt trente ans, une sécheresse persistante.

Ce changement climatique a des répercussions graves et parfois dramatiques, les populations devant apprendre à vivre dans de nouvelles conditions d'environnement. Dans ce contexte, une bonne description, en temps peu différé, de la répartition spatio-temporelle des pluies est une demande clairement formulée par les services nationaux de météorologie et de l'agriculture et par les organismes régionaux de lutte contre la sécheresse.

Cependant cette information elle-même est encore largement déficiente à l'heure actuelle. En effet, le réseau de pluviomètres et de pluviographes installé en Afrique de l'ouest est très lâche et permet de suivre difficilement, en temps voulu, l'évolution des pluies au cours de la saison humide. Dans le contexte économique actuel, il n'est par ailleurs pas possible d'installer un réseau relativement dense. De même, on ne peut envisager, pour des raisons de coût et de logistique, l'installation d'un réseau de radars météorologiques.

Aussi, depuis la mise à poste de satellites géostationnaires, prenant des images de la terre toutes les demi-heures et permettant de surveiller de vastes zones, ce moyen d'observation a été suggéré pour estimer les précipitations. Depuis bientôt vingt ans, différentes méthodes ont été développées sur les zones tropicales et subtropicales. Cependant, il s'est avéré que les satellites géostationnaires sont d'un emploi difficile pour évaluer les précipitations. Pour tenter d'avancer sur ce problème, le réseau Epsat a été constitué pour tester les acquis antérieurs de la recherche et développer une, voire plusieurs méthodes (suivant l'échelle spatiale et temporelle visée et les conditions régionales), de détermination des précipitations, à l'aide de l'imagerie satellitaire et des données pluviométriques.

Les contraintes techniques

Deux types de difficultés sont à surmonter relevant, pour une part, de la nécessité, pour disposer des données, de maîtriser les techniques d'acquisition et (ou) de diffusion de l'information et, en second lieu, du caractère complexe des méthodes à mettre au point si l'on veut obtenir des résultats satisfaisants, du fait de l'inadaptation des satellites actuels vis-à-vis de la mesure des précipitations.

Les problèmes actuels de l'estimation des précipitations par satellite

La mesure des précipitations impose une observation continue, dans le temps et dans l'espace, des surfaces considérées et une bonne appréciation des volumes d'eau précipitée. Aucun des satellites actuels, utilisés isolément, ne répond à ces deux conditions :

- les satellites géostationnaires répondent partiellement à la première condition. Leur résolution spatiale (de 1 à 5 kilomètres, suivant le type de mesure, au point sous-satellite) est suffisante, les satellites de la série Météosat, de par leur position (0° de latitude et de longitude) étant par ailleurs idéalement placés dans le cas de l'Afrique de l'Ouest. En revanche, la fréquence temporelle des prises d'image, si elle est satisfaisante pour la mesure des températures (une par demi-heure, de jour comme de nuit, pour le canal infrarouge thermique [10-12 μm]), se trouve gravement pénalisée dans le canal visible, qui recueille une information sur le rayonnement solaire réfléchi par les surfaces (bande spectrale de 0,4-1,1 μm), rayonnement qui n'existe pas la nuit ;
- ces satellites sont d'autre part mal adaptés à l'évaluation de la pluviométrie. Les images qu'ils prennent correspondent en effet à des mesures des surfaces des objets terrestres, y compris les nuages, qui sont vus par le haut, que ce soit en température de sommet ou en rayonnement solaire réfléchi. Il n'y a donc pas de

relation physique directe entre la mesure des satellites et l'objet que l'on veut mesurer, c'est-à-dire les précipitations. Celles-ci peuvent être atteintes directement en télédétection, à travers la masse nuageuse, mais il faut alors utiliser d'autres bandes spectrales, dans le domaine des micro-ondes. Malheureusement aucun satellite n'est actuellement équipé d'instruments adéquats pour une observation à échelle spatiale et temporelle fine ;

- cette déficience a pour conséquence de beaucoup compliquer les opérations. Les méthodes actuelles posent de nombreux problèmes et manquent notablement de précision. Leur amélioration passe par une recherche faisant appel à des tests exigeant des données de contrôle et de validation, issues des pluviomètres et des radars météorologiques, qu'il faut acquérir et traiter. Les méthodes opérationnelles proposées nécessitent aussi des contrôles permanents, ce qui laisse entendre que les données du réseau météorologique soient rapidement disponibles par télécommunications.

Contraintes techniques liées à l'acquisition et au traitement des données

L'acquisition des données nécessite :

- une station de réception du satellite Météosat haute résolution, dite PDUS (Primary Data Users Station), permettant de disposer de l'imagerie dite « numérique » complète. Cette acquisition doit pouvoir être faite 24 heures sur 24, toute l'année, et être archivée pour des périodes de temps suffisantes pour l'utilisation de l'information. Étant donné la haute cadence du flot de données (plus de six mégaoctets pour une image infrarouge complète), il faut pouvoir disposer d'un matériel assez performant pour stocker l'imagerie et la faire rejouer à volonté. L'exploitation continue pose bien entendu les problèmes de la protection des matériels, d'une alimentation électrique continue et protégée des coupures de courant et de maintenance (compétence technique des personnels et pièces de rechange) ;
- l'accès aux données du réseau météorologique pour la pluviométrie ou d'autres informations utiles (humidité, température de l'air...). Les expériences de terrain nécessitent le maniement de pluviographes enregistreurs, si l'on veut des mesures de pluie à des intervalles de temps courts ;
- l'utilisation des radars météorologiques, qui fournissent une bonne mesure de la pluie, est en soi une technique particulière complexe. Grâce aux compétences de H. Sauvageot, du Laboratoire d'aérodynamique de Toulouse, un procédé a été mis au point pour numériser les signaux analogiques reçus par les radars installés sur les principaux aéroports. Ce procédé a l'avantage d'être simple et peu coûteux et de permettre une comparaison entre les données des radars et celles des pluviomètres et des satellites ;
- le dernier écueil technique, et non le moindre, est la nécessité de disposer, vu l'abondance des données et la complexité des traitements, de calculateurs à la fois puissants, peu coûteux et correctement maintenus. On se heurte ici encore aux problèmes généraux des pays en développement et nous avons dû en tenir compte dans l'organisation matérielle des recherches. Une solution élégante consiste à prévoir, dans les budgets, la nécessité de liaisons rapides entre nous et de missions de courte

durée de techniciens de haut niveau, compétents dans leurs domaines respectifs, qu'il s'agisse de l'informatique, du radar ou du satellite.

L'application au cas du Sénégal

Le transfert des savoir-faire et des matériels nécessaires à la réussite du projet de recherche a bénéficié au Sénégal d'un concours de circonstances favorable, mais dont le déroulement peut aussi s'expliquer par une position relativement privilégiée de ce pays, notamment par la présence ancienne à Dakar d'une université et de centres de recherche importants. Eu égard à la complexité des problèmes et au nombre d'organismes à réunir, il est enfin évident que le rôle du coordinateur (S. Fongang) est tout à fait crucial.

Objectifs et composition du réseau au Sénégal

Comme il l'est rappelé dans le « Rapport de campagne 1993 » (anonyme, 1994) l'une des spécificités des travaux sur l'estimation des précipitations par satellite au Sénégal est, comme pour le réseau général, sa double orientation : recherche, puis test et amélioration des algorithmes d'évaluation des précipitations.

Le groupe est composé de représentants d'organismes implantés au Sénégal : Agence pour la sécurité de la navigation aérienne (Asecna), direction de la Météorologie nationale (DMN), Institut sénégalais de recherches agricoles/Centre de recherches océanographiques de Dakar Thiaroye (Isra/CRODT), laboratoire de physique de l'atmosphère (LPA) de l'École nationale supérieure universitaire de technologie (Ensut), département de géographie de la Faculté des lettres de l'université Cheikh Anta Diop, Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom). Les partenaires extérieurs sont des équipes françaises du réseau Epsat, avec en particulier le laboratoire d'aérodynamique de Toulouse (CNRS), l'antenne Orstom de Lannion et le laboratoire de Météorologie dynamique (CNRS).

Implantation des matériels et des savoir-faire au Sénégal

Station de réception Météosat

L'acquisition des données du satellite Météosat est réalisée à Dakar grâce à une initiative conjointe de l'Orstom et de l'Isra. Ces deux organismes ont en effet décidé de mettre en commun leurs compétences en télédétection et ont créé à cet effet, un laboratoire commun dénommé Utis : unité de traitement de l'information satellitaire, dont le responsable est J. Citeau.

Grâce à cette collaboration, il a été possible d'installer une station de réception haute résolution et de la faire fonctionner dans de bonnes conditions. Le modèle choisi, fabriqué à l'université de Dundee, avait pour lui l'avantage de la simplicité et d'un faible coût, eu égard à la concurrence. Cette implantation est une réussite parfaite, de par la combinaison des compétences des ingénieurs de l'Orstom et de l'Isra, renforcés par un ingénieur recruté par le ministère de la Coopération, et de l'appui logistique de l'Isra, qui dispose des moyens et de la main-d'œuvre nécessaire pour une exploitation continue.

Les données peuvent également être traitées à Utis, qui dispose d'équipements satisfaisants et de capacités d'accueil.

Traitement informatique et radar

L'apport principal du réseau Epsat a en fait consisté à renforcer l'équipe de l'Ensut, déjà constituée autour de S. Fongang, afin de conforter son potentiel technique et de lui permettre de mettre en route l'exploitation du satellite (à partir des données reçues à Utis) et du radar de l'aéroport de Dakar-Yoff, en liaison avec l'Asecna et la DMN. Pour cela, une convention de financement a été établie par le ministère de la Coopération. Elle est étalée sur trois années et son objet fut de :

- « mettre en place des moyens d'acquisition de données (acquisition radar et pluviographes) complémentaires des moyens existants (réception satellitaire du CRODT) ;
- doter le laboratoire de physique de l'atmosphère de l'Ensut de moyens de traitement de données ;
- financer une campagne d'acquisition des données. »

Un accent particulier a été mis sur la nécessité d'une liaison étroite avec les laboratoires du Nord, pour le radar et l'informatique (missions Dakar-Toulouse et Lannion), sur la formation, et sur les liaisons avec le reste du réseau, par des missions du coordinateur en France, pour notamment lui permettre de participer aux réunions.

Ces renforts et ces liaisons ont permis, d'une part, de renforcer l'action du coordinateur et d'harmoniser la recherche. D'autre part, on a pu doter l'Ensut d'un centre de calcul conséquent, comprenant une station de travail, des micro-ordinateurs et une unité d'archivage, reliés entre eux par réseau, avec un modem pour l'accès à la messagerie internationale par le réseau RIO de l'Orstom.

Tous ces outils sont protégés au niveau de leur alimentation électrique. Les logiciels ont été constitués de modules mis au point localement par le laboratoire et par la fourniture, par l'antenne Orstom de Lannion, du logiciel de traitement d'images Triskel (D. Dagorne, 1988). Celui-ci est constitué d'un grand nombre de procédures pour la mise en forme des données et l'intégration de données d'origines diverses : satellite, radar, pluviomètres, modèle numérique de terrain, etc. Certains problèmes de mise en route ont été réglés et une formation de base dispensée, sur place, par D. Dagorne.

La numérisation du radar a été assurée sur les mêmes principes d'une collaboration étroite, entre l'Ensut et le laboratoire d'aérodologie, sous la responsabilité de H. Sauvageot, par le branchement d'un module de numérisation, qui comporte l'interface de numérisation, un micro-ordinateur qui permet de visualiser les données en temps réel et de les archiver et une imprimante couleur. En complément du radar, qui nécessite une calibration pour la transmission des signaux en données de pluie des pluviographes enregistreurs ont été installés.

Premiers résultats

Les moyens ainsi engagés ont permis de lancer au Sénégal une activité multiforme dans la recherche sur l'estimation des pluies par satellite. Nous en présentons ici deux illustrations, à titre d'exemple, pour montrer l'apport du travail en réseau et en parte-

nariat : une activité pré-opérationnelle réalisée à Utis et une brève description de la campagne de mesures de la saison des pluies 1993.

Activité pré-opérationnelle à Utis

L'objectif de cette opération a été de tester la faisabilité d'une estimation en temps peu différé d'une estimation des pluies au Sénégal. La méthode employée, dite « Epsat » est celle qui a été élaborée par l'antenne Orstom de Lannion (Carn *et al.*, 1987), transférée à Dakar suite à une mission d'un ingénieur d'Utis.

Son utilisation a mis en branle une collaboration interne au sein du réseau, car elle nécessite d'avoir les données satellitaires (station Météosat) d'Utis et les données du réseau sol (pluviométrie), par l'entremise de la DMN et de l'Isra. La faisabilité pratique en a été largement démontrée. Par contre, même si les résultats sont meilleurs sur le seul Sénégal que ce que nous obtenions en traitant l'ensemble du Sahel ils sont encore trop imprécis, justifiant par là les efforts de recherche conduits par ailleurs pour les améliorer.

Réalisation de la campagne 1993

Le suivi de la campagne a été assuré dans les trois axes correspondant aux trois paramètres essentiels à acquérir : satellite, radar et pluviométrie. Ce travail a été réalisé en grande partie par le LPA, en liaison avec les objectifs généraux du réseau Epsat, le site de Dakar constituant un champ privilégié, car situé à l'interface océan-continent. L'étude comporte un important aspect expérimental, afin d'étudier la dynamique et la thermodynamique des systèmes nuageux précipitants : « Lignes de Grains », à tendance orageuse marquée et « pluies de mousson ».

Les images Météosat ont été acquises et archivées sans problème par Utis. D'autre part l'installation à l'aéroport, dans le même bâtiment que le radar, d'une station Météosat par l'Asecna a été d'un grand secours pour la veille radar, par la visualisation des perturbations. L'imagerie du satellite a permis de suivre les lignes de grains et d'étudier leurs déplacements.

La « veille radar » a été effectuée essentiellement par les chercheurs du LPA, qui assuraient à tour de rôle une « garde » à Yoff. Dès que les images Météosat permettaient de constater l'entrée d'un système nuageux de type ligne de grains dans le champ de vision du radar (soit à une distance de 350 km) une sauvegarde automatique des fichiers de balayage horizontaux était enclenchée, et des coupes verticales étaient pratiquées dès que les distances devenaient inférieures à 100 km.

Un dispositif du même ordre a été employé pour recueillir les données de pluie mesurées au sol par des pluviographes. Ceux-ci, au nombre de quatre, ont été placés de façon optimale par rapport au radar, avec le concours sur le terrain du Laboratoire d'Aérologie.

Conclusion

La bonne réalisation de l'estimation des précipitations par satellite et de la campagne 1993, malgré quelques petits problèmes inhérents à ce type de démarche, montre que l'on peut désormais tabler sur de bonnes chances de réussite de l'expérience, en ce

qui concerne l'acquisition des données, à condition bien entendu que les conditions minimales, en personnel et en moyens financiers, soient maintenues en l'état.

Les publications réalisées (exemple : Gaye *et al.*, 1994) et les thèses soutenues ou en cours laissent aussi espérer une bonne utilisation de ce matériel, qui par ailleurs est accessible à l'ensemble du réseau. C'est en soi un résultat important, permis par la volonté de collaboration qu'ont manifestée les organismes et les divers acteurs. Pour nous cela souligne la possibilité pour un pays du Sud d'accéder à l'information scientifique et notamment aux sources de données.

Il nous semble enfin que, dans la recherche de solutions aux problèmes posés par la connaissance du milieu dans les pays en développement, ce type d'organisation soit une des meilleures voies à suivre, car elle a l'avantage de réunir rapidement les chercheurs nationaux autour d'un projet, en bénéficiant au surplus de la connaissance qu'ils ont du milieu.



RÉFÉRENCES

- Anonyme, 1994. « Les activités du réseau Epsat au Sénégal ». Rapport de campagne 1993, Dakar, 10 pages.
- Cadet D.L., Guillot B. Epsat – Estimation des précipitations par satellite. Orstom-ministère de la Coopération, 63 pages.
- Carn M., Dagorne D., Guillot B., Lahuec J.P., 1989. « Estimation des pluies par satellite en temps réel en Afrique sahélo-soudanienne ». *Veille Clim. Sat.*, 28, p. 47-55.
- Dagorne D., 1988. « Traitement des données satellitaires à l'antenne Orstom de Lannion. Le logiciel Triskel ». *Veille Clim. Sat.*, 23, p. 17-22.
- Gaye A.Th., Fongang S., Garba A., Badiane D., 1994. « Étude des pluies de Heug sur le Sénégal à l'aide de données conventionnelles et de l'imagerie satellitaire ». À paraître dans la *Veille Clim. Sat.*



**LES SCIENCES HORS D'OCCIDENT
AU XX^e SIÈCLE**

**SÉRIE SOUS LA DIRECTION
DE ROLAND WAAST**



VOLUME 7

COOPÉRATIONS SCIENTIFIQUES INTERNATIONALES

JACQUES GAILLARD
ÉDITEUR SCIENTIFIQUE

CRSICOM
éditions

**LES SCIENCES HORS D'OCCIDENT
AU XX^e SIÈCLE**

20th CENTURY SCIENCES:
BEYOND THE METROPOLIS

**SÉRIE SOUS LA DIRECTION
DE ROLAND WAAST**

VOLUME 7

**COOPÉRATIONS SCIENTIFIQUES
INTERNATIONALES**

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COOPERATION

JACQUES GAILLARD
ÉDITEUR SCIENTIFIQUE

ORSTOM Éditions

L'INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION
PARIS 1996