

# Des observatoires pour détecter les anomalies climatiques



© IRD/A. Laraqe

Le fleuve Orénoque  
(Venezuela).  
Crue d'août 2006.  
Observatoire Hybam.

L'étude du changement climatique consiste à détecter toute anomalie climatique significative, puis à lui attribuer des causes possibles, anthropiques ou naturelles. Pour cela, il est nécessaire d'être capable d'observer (pour détecter), puis de comprendre (pour attribuer), afin de prévoir au final l'évolution de l'empreinte du changement climatique sur l'environnement et les sociétés.

Pour assurer le suivi de l'évolution de notre climat, et plus généralement de notre environnement, il est d'abord nécessaire de s'appuyer sur des données d'observations, et donc des observatoires pérennes et pluridisciplinaires. Outre quantifier les évolutions climatiques et environnementales, les observatoires permettent également de valider les données transmises par télédétection satellitaire, d'évaluer les modèles et de mettre en place de nouvelles techniques de mesures.

## Quantifier les évolutions climatiques et environnementales en cours

Les réseaux météorologiques et hydrologiques permettent le suivi en temps réel de l'évolution et de la variabilité du système climatique. Cependant, ces réseaux ne sont pas

Cyclone au-dessus  
des îles Tonga,  
Pacifique sud.  
La fréquence  
des événements extrêmes,  
tels les typhons, est  
un indicateur important  
pour déceler  
les tendances climatiques.



© Nasa Goddard Modis

assez denses, en particulier dans les zones intertropicales, pour documenter de manière suffisamment précise et sur une période suffisamment longue l'évolution climatique, et en particulier le cycle hydrologique. En effet, les différentes composantes du bilan d'eau (bilan de précipitations, de débits de fleuves, d'infiltrations dans les nappes phréatiques, etc.) présentent une forte variabilité à la fois spatiale et temporelle. L'évaluation précise de cette variabilité est nécessaire pour détecter les tendances significatives éventuelles, liées au changement climatique ou à d'autres facteurs comme les transformations dans l'usage des sols.

Les évolutions concernant les événements extrêmes sont encore plus difficiles à détecter, car cela nécessite des séries d'observations d'autant plus longues que la fréquence d'occurrences de ce type d'événements est faible. Or, l'évolution des phénomènes extrêmes, comme les cyclones ou les sécheresses, est un indicateur important pour déceler une tendance du changement climatique sur le long terme.

Plusieurs systèmes d'observations adéquats permettent de documenter l'évolution des variables climatiques de l'échelle régionale à l'échelle locale, sur des périodes suffisamment longues, et de caractériser leurs impacts sur les milieux. L'IRD participe à cette surveillance du climat en développant un certain nombre d'observatoires de recherche labellisés en environnement, en particulier dans la zone intertropicale (fig. 6).

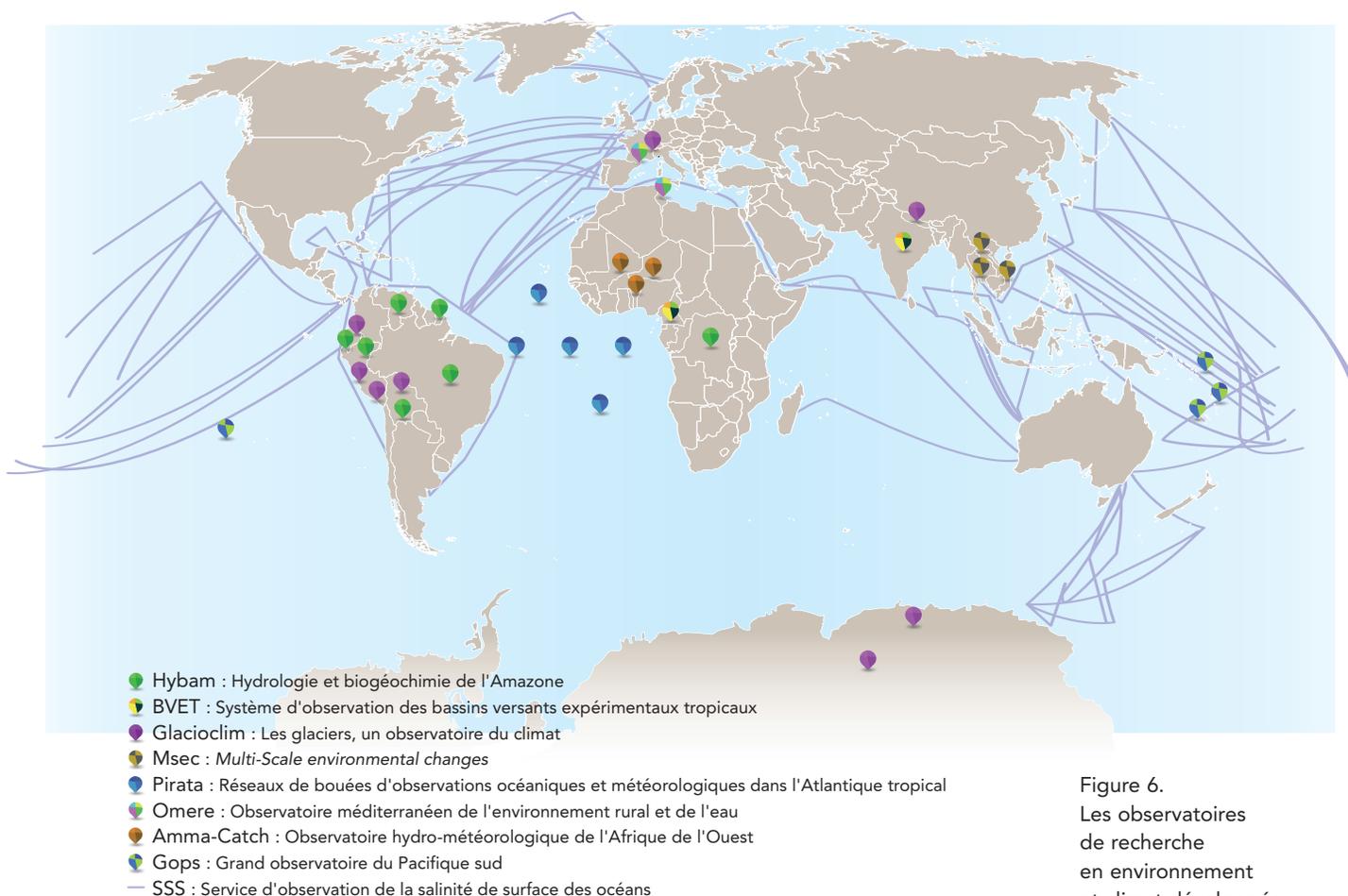


Figure 6. Les observatoires de recherche en environnement et climat développés par l'IRD, largement dédiés à la zone intertropicale. Source : IRD/L. Corsini.

## Calibrer et valider les données transmises par télédétection satellitaire

La documentation des changements environnementaux globaux (climatique mais aussi hydrologique, pédologique, océanique, etc.) nécessite donc, d'une part, d'asseoir les diagnostics sur des observations précises et, d'autre part, de disposer de mesures représentatives des variabilités à l'échelle régionale. Les mesures de terrain (« *in situ* ») et les informations satellitaires sont de ce point de vue très complémentaires : les premières permettent une surveillance directe mais locale des phénomènes, les secondes apportent une information globale et documentent la variabilité spatiale. En zone intertropicale, où les réseaux opérationnels sont peu denses et fragiles, la synergie entre ces deux types d'observations est essentielle pour comprendre les changements climatiques et leurs impacts environnementaux. Les grands observatoires, et leurs longues séries de données de terrain de haute qualité, fournissent aussi des observations pour calibrer et valider les produits satellitaires.

### Le service d'observation du bassin amazonien couple données de terrain et mesures satellitaires

Depuis 2003, le service d'observation Hybam (contrôles géodynamique, hydrologique et biogéochimique de l'érosion/altération et des transferts de matière dans le bassin de l'Amazone) récolte des données hydrologiques, sédimentaires et géochimiques, en associant observations *in situ*, observations spatiales et réseau de laboratoires. Ces informations permettent de comprendre le fonctionnement du plus grand bassin du monde et d'évaluer l'impact des variations hydroclimatiques et des activités humaines. 17 stations sont ainsi déployées depuis les piedmonts andins du bassin de l'Amazone jusqu'à l'océan Atlantique. Les mesures locales sont couplées à un réseau « virtuel » de données obtenues par les satellites, qui portent à la fois sur la quantité et la qualité de l'eau.

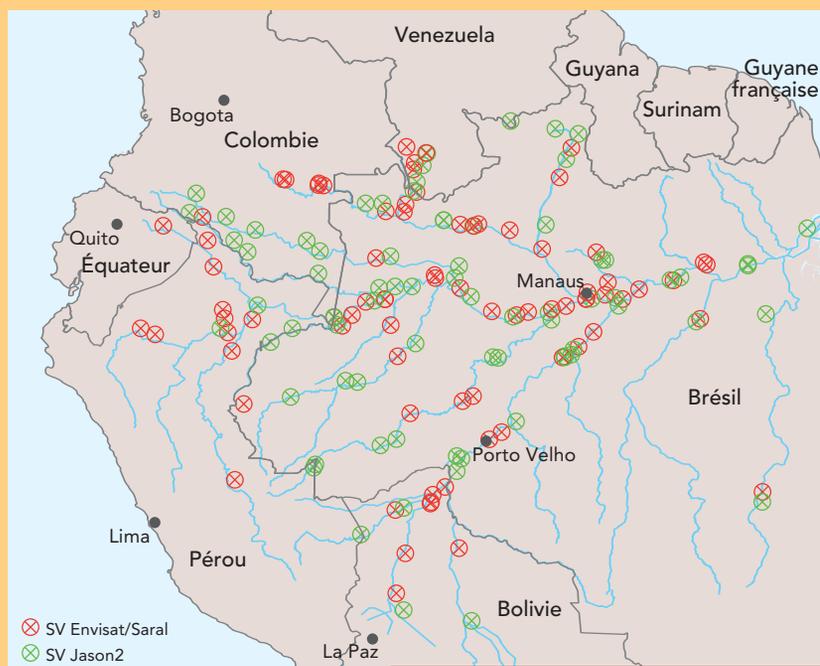
Pour mesurer la hauteur des fleuves, les satellites altimétriques (Jason2 et Saral) balaisent régulièrement les points surveillés par radar, ce qui permet d'évaluer avec précision la quantité d'eau en mouvement. La qualité de l'eau et la présence de sédiments sont, quant à elles, caractérisées par imagerie satellitaire. Des capteurs (Modis), embarqués sur les satellites Terra et Aqua, analysent le spectre de la lumière solaire réfléchi par les fleuves et révèlent ce faisant la composition de leurs eaux.

Ces techniques innovantes ont été calibrées et validées grâce aux bases de données hydro-sédimentaires maintenues par l'observatoire. Des chaînes de traitement automatisées fournissent désormais, sur le site internet, les informations satellitaires en un temps record.

Ces technologies spatiales sophistiquées ont un intérêt tout particulier en Amazonie, où les distances et l'ampleur des ressources en eau nécessiteraient des moyens de suivi terrestres considérables, sans rapport avec les budgets disponibles. Le suivi et la mise à disposition des informations sur les ressources en eau répondent aux besoins de toutes sortes d'acteurs économiques et institutionnels pour la gestion des eaux, la production électrique ou la navigation fluviale – les voies navigables constituant le premier réseau de communication dans le bassin de l'Amazone. Hybam associe de nombreux partenaires universitaires et techniques des pays du Sud (Brésil, Bolivie, Pérou, Équateur, Colombie, Venezuela et Congo).

Figure 7.  
Le réseau des stations virtuelles (SV) de mesures hydrologiques en Amazonie.

Source : SO Hybam (IRD/Insu/OMP)





Satellite Smos en orbite, lancé le 2 novembre 2009 par l'Agence spatiale européenne (ASE). C'est le premier satellite mondial d'observation du changement climatique conçu pour suivre la salinité de la mer et surveiller la teneur en eau du sol sur la planète.

### Les incertitudes sur la « vérité sol » : une question d'échelle

Dans la ceinture intertropicale, les pluies sont intenses et varient sur quelques kilomètres et quelques heures, avec des conséquences parfois violentes localement (inondations). Cette extrême variabilité est un défi pour l'observation, tant pour les réseaux de mesures classiques au sol que pour la télédétection satellitaire. Les incertitudes associées décroissent, sans disparaître, pour les échelles spatiales ou temporelles relativement « grossières » de l'hydro-climatologie (quelques mois ; plusieurs milliers de kilomètres carrés), mais demeurent très fortes aux échelles de l'hydrologie locale. Ces incertitudes doivent être prises en compte via des approches probabilistes. En Afrique de l'Ouest, l'IRD et ses partenaires ont mis en évidence la nécessité de prendre en compte les incertitudes sur la « vérité sol » des précipitations, c'est-à-dire les mesures *in situ* à hautes résolutions spatio-temporelles, pour évaluer la performance des produits satellitaires de restitution de la pluie. Les résultats montrent des performances élevées aux échelles de 3 à 5 jours pour tous les produits et des performances plus modérées pour certains de ces produits à l'échelle quotidienne. Les produits satellitaires de nouvelle génération fournissent, eux, des informations quantitatives précises jusqu'aux échelles de temps de la journée à 6 heures et aux échelles spatiales de 10 000 à 2 500 km<sup>2</sup>, ainsi qu'une très bonne représentation du cycle diurne.

### Développer de nouveaux capteurs en zone intertropicale

Face à la fragilité des réseaux opérationnels dans les régions intertropicales et à la nécessité de documenter à haute résolution les processus climatiques, mettre en place des réseaux denses de mesures sur le long terme ne suffit pas. Il faut aussi développer de nouveaux types de capteurs ou des approches originales, permettant de renforcer les mesures et les échantillonnages pour le suivi des changements climatiques et environnementaux (encadrés 6 et 7, en exemple de ces approches innovantes).

## La téléphonie mobile prend le relais

Si les réseaux d'observations demeurent insuffisants en Afrique, ce n'est pas le cas des antennes relais pour la téléphonie mobile. Or, les compagnies de téléphonie enregistrent, pour la surveillance de la qualité des réseaux, les perturbations du signal, en partie dues aux précipitations. Des chercheurs ont ainsi eu l'idée de tirer parti de cette quantité de données pour améliorer le suivi et la spatialisation des précipitations.

Les réseaux de mesures météorologiques et climatiques, coûteux à mettre en place et à entretenir, sont insuffisants en Afrique. La densité des réseaux opérationnels tend même à décroître depuis les années 1990, et le problème est encore plus aigu en zone sahélienne à cause des tensions politiques.

Dans ces conditions, comment suivre l'évolution des pluies et des événements extrêmes à forts impacts sur les populations ? Les réseaux de téléphonie mobile, très développés en Afrique, ont apporté une solution.

En effet, une méthode pour mesurer les précipitations à partir des réseaux de téléphonie mobile a été testée avec succès en Afrique. Cette méthode tire parti d'une propriété de la pluie bien connue des professionnels de la télécommunication : l'atténuation par les gouttes d'eau du signal radio transmis entre deux antennes.

Les compagnies de téléphonie mobile mesurent et enregistrent ces perturbations de leurs réseaux, afin de connaître en permanence leur état de fonctionnement. Elles possèdent ainsi une grande quantité d'informations sur les pluies dans les pays couverts par leurs réseaux.

Développée depuis les années 2000 en Europe et en Israël, cette technique commence à se développer en Afrique grâce au premier site pilote mis en place par l'IRD et ses partenaires, en 2012 au Burkina Faso.

*RainCell Africa*, un réseau de scientifiques et de services météorologiques nationaux, a été créé dans la foulée, en partenariat avec les opérateurs de téléphonie mobile.

Le premier colloque international sur l'estimation des pluies à partir des réseaux de téléphonie mobile s'est tenu à Ouagadougou en avril 2015, réunissant 18 pays (Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, France, Allemagne, Ghana, Israël, Kenya, Mali, Pays-Bas, Niger, Nigeria, Sénégal, Suisse, Tanzanie, Togo, États-Unis) et des organisations intergouvernementales (Cilss, Pnud, Unesco).

Cette initiative qui met les technologies de l'information et de la communication au service du climat suscite un grand intérêt en Afrique, et plus largement en zone tropicale, et devrait se développer largement ces prochaines années.

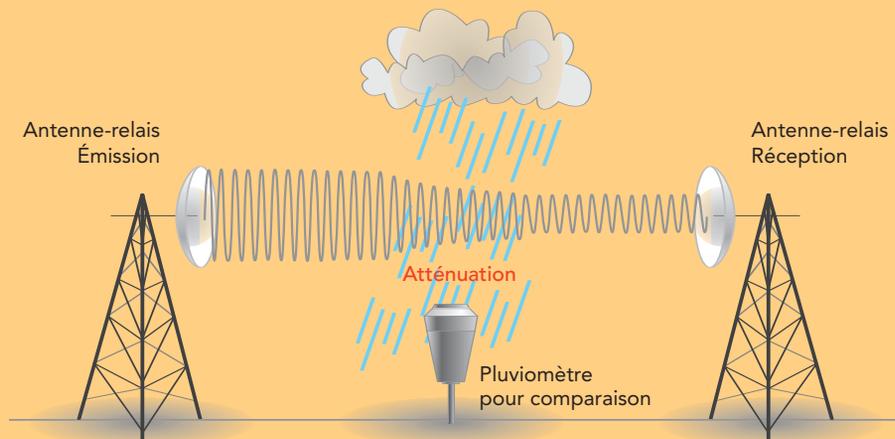
Figure 8.

Principe de la mesure de pluie à partir des réseaux de téléphonie mobile.

Les fluctuations du signal entre les antennes relais sont enregistrées par les opérateurs de téléphonie.

À partir de ces mesures, des champs de pluie à fine échelle pourraient être produits en temps quasi réel pour suivre la pluie et les risques associés à l'échelle d'une ville ou d'un pays.

Source : IRD/F. Cazenave et M. Gosset



## Mesurer les émissions des barrages hydro-électriques tropicaux

Les estimations d'émissions de gaz à effet de serre des barrages hydro-électriques varient largement d'une étude à l'autre, faute de prendre en compte l'ensemble des sources de gaz carbonique et de méthane dégagés vers l'atmosphère. Une étude menée par le CNRS et l'IRD propose de nouveaux outils pour améliorer les mesures.

L'ennoiment de surfaces continentales pour la création de réservoirs d'eau douce n'est pas neutre en termes d'émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de méthane (CH<sub>4</sub>), à l'échelle globale. Les réservoirs hydro-électriques ne font pas exception et les sources d'émissions y sont nombreuses : les gaz sont dégagés au niveau des sols de la zone de marnage, à la surface du plan d'eau et en aval des barrages, et le méthane peut être émis par ébullition. Mais très peu d'études prennent en compte toutes les voies d'émissions du CO<sub>2</sub> et du CH<sub>4</sub> vers l'atmosphère, ce qui explique les larges différences entre les estimations. De plus, le pas de temps des études sur les réservoirs est généralement trop long pour capturer les variations intrajournalières et saisonnières des émissions.

### Les émissions des barrages peuvent être parfois supérieures à celles des centrales thermiques

Sur le barrage de Nam Theun 2, au Laos, un dispositif innovant de suivi des émissions de méthane mesure en continu la vitesse verticale du vent et la concentration en méthane. Cette méthode de mesures à haute fréquence (toutes les 30 mn) a permis

de démontrer que les variations diurnes de la pression atmosphérique et les variations du niveau d'eau contrôlent les émissions des écosystèmes aquatiques continentaux, en déclenchant le relargage de ce gaz piégé dans les sols ennoyés. Les variations fortes au cours de la journée contribuent ainsi significativement au bilan des émissions totales, un résultat qui suggère que l'ébullition (source d'émissions de méthane) par les réservoirs tropicaux a été sous-estimée par le passé.

Quantifier précisément les émissions totales de gaz à effet de serre des barrages hydro-électriques revêt une importance stratégique majeure pour les pays en développement, qui disposent d'un fort potentiel d'installation. En effet, selon les conditions environnementales locales, les émissions des barrages peuvent être soit inférieures, soit supérieures aux émissions des centrales thermiques, à production énergétique équivalente. Le choix de l'hydro-électricité comme alternative énergétique pour stabiliser les émissions de gaz à effet de serre en 2050 doit donc être débattu, surtout pour la zone tropicale où les émissions sont les plus élevées.

Des entonnoirs submergés permettent de piéger les bulles de méthane remontant du fond du lac de retenue.  
Barrage de Nam Theun 2, Laos.



Martinez Jean-Michel, Gosset Marielle, Guérin Frédéric.  
(2015).

Des observatoires pour détecter les anomalies climatiques.

In : Reinert M., Janicot Serge (ed.), Aubertin Catherine (ed.),  
Bernoux Martial (ed.), Dounias Edmond (ed.), Guégan Jean-  
François (ed.), Lebel Thierry (ed.), Mazurek Hubert (ed.),  
Sultan Benjamin (ed.), Sokona Y. (pref.), Moatti Jean-Paul  
(pref.).

Changement climatique : quels défis pour le Sud ?.

Marseille : IRD, 43-49. ISBN 978-2-7099-2168-8