

# ETUDE DES SYSTEMES CONVECTIFS ET DE LEURS RELATIONS AVEC LE CLIMAT EN AMERIQUE LATINE ET ATLANTIQUE

Convention CNPq/IRD

IRD/UR012 – Henri Laurent

CPTEC – Luiz Augusto Toledo Machado

**IRD :** Nadine Dessay, Arona Diedhiou, Bruno Durand, Laurent Durieux, Thierry Lebel  
**CPTEC :** Nelson Arai, Juan Ceballos, Dirceu Herdies, Suzana Macedo, Daniel Vila

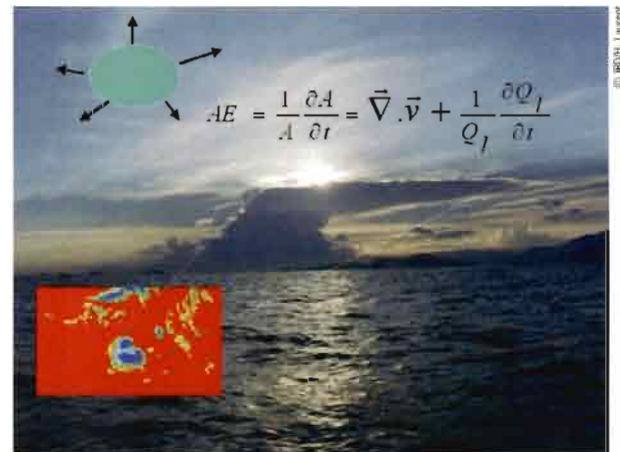
**Autres partenaires :** Yosio E. Shimabukuro, Egidio Arai (INPE/Sensoriamento Remoto), Profa Assunção F. Silva Dias, Carlos A. Morales, Marcus Longo (USP/IAG), Meiry S. Sakamoto, Antonio Geraldo Ferreira (FUNCEME)

Le climat tropical est essentiellement dicté par les régimes de précipitations. Or les précipitations y sont d'origine convective. L'objectif central du projet ESCALA est l'étude de la variabilité spatiale et temporelle de la couverture nuageuse et de l'organisation des mécanismes de la convection, à travers son élément clé qui est le système convectif de méso-échelle. Les relations entre la convection et la surface ont été étudiées, ainsi que les processus thermodynamiques et les bilans d'énergie associés aux systèmes convectifs. On a cherché à comprendre les processus physiques qui contrôlent la convection en analysant :

- Comment les flux à la surface agissent dans la formation et la maintenance des systèmes convectifs,
- Quelle est l'importance des systèmes convectifs dans la variabilité climatique,
- Quel est le rôle de cette variabilité sur les conditions de surface et sur le bilan d'énergie.

## Systèmes convectifs

Une méthodologie de suivi des systèmes convectifs a été développée et appliquée sur l'Amérique du Sud en utilisant les données du satellite géostationnaire GOES. Nous nous sommes focalisés sur l'Amazonie et sur deux périodes de deux mois correspondant à deux campagnes du projet LBA (*Large-scale Biosphere Atmosphere experiment in Amazonia*). L'objectif était d'étudier le



Un système convectif vu de la surface ou par satellite. À partir de l'expansion du système (AE) on peut déduire des informations sur son évolution probable, cf. Machado and Laurent (2004).

comportement de la convection durant une période clé de la mousson en Amazonie du sud-est, en exploitant l'information apportée par le suivi des systèmes convectifs, conjuguée aux autres observations de la campagne, soit principalement radiosondages, pluviographes et radars.

Nous avons également développé une version adaptée aux images de radar météorologique de l'algorithme de suivi des systèmes convectifs. Cela a permis de comparer le déplacement des masses nuageuses, observées par satellite, avec les zones de précipitations observées par radar.

Durant l'expérimentation WETAMC/LBA les observations du vent ont montré une alternance de



périodes de vents de nord-ouest et de vents de nord-est dans la basse et la moyenne troposphère. Ainsi ont été définis des « régimes » d'ouest et d'est associés à des caractéristiques différentes de la convection. Différentes études ont montré que la convection en Amazonie durant le régime d'ouest produit des pluies moins intenses mais plus durables, en d'autre terme les systèmes convectifs sont plus étendus. A l'inverse, en régime d'est la convection est plus explosive, avec d'avantages d'éclairs, ce qui résulte probablement d'une inhibition préalable de la convection. La propagation des systèmes convectifs est également différente : bien marquée et généralement associée avec le vent vers 700 hPa pendant le régime d'est, la propagation des systèmes convectifs de méso échelle et surtout celle des cellules de pluie est plus erratique durant le régime d'ouest.

L'étude du cycle diurne de la couverture de nuages, de la précipitation et des paramètres thermodynamiques pendant la campagne WETAMC/LBA montre que le maximum de précipitation se produit au moment de croissance maximum des systèmes convectifs, environ deux heures après leur naissance, et à peu près au moment du minimum de couverture de nuage. Ce paradoxe apparent (maximum de pluie pendant le minimum de couverture nuageuse) montre l'efficacité des précipitations et l'importance du flux de radiation solaire à la surface dans l'établissement de la convection. Ces études ont contribué à comprendre le fonctionnement de la convection dans cette région.

Sur le site principal de l'expérimentation WETAMC/LBA où nous disposons de nombreuses observations in-situ (radiosondages, précipitations, radar) en complément des observations satellitaires, nous avons mené une analyse détaillée des relations entre la divergence en altitude, les systèmes convectifs et la précipitation. Dans ce cas particulier, on observe d'une part un bon accord entre la divergence dérivée des vents «vapeur d'eau» et celle calculée à partir d'un réseau de radiosondages, et d'autre part une correspondance entre le maximum de divergence et le maximum d'activité convective.

La relation entre les systèmes convectifs et la divergence dans la haute troposphère a été étudiée pour savoir si on pouvait relier simplement la divergence du vent induite au sommet d'un système convectif avec son taux d'expansion. Les résultats montrent qu'une telle simplification n'est pas valable : il faut tenir compte également du taux d'expansion du système dû à la condensation de l'eau.

## Influence de la topographie

Nous avons analysé l'influence du relief sur l'initiation des systèmes convectifs durant l'expérience WETAMC/LBA. Les résultats ont montré que les systèmes convectifs s'initient préférentiellement dans les zones relativement élevées (mais pas au sommet des montagnes) et dont l'escarpement est également relativement fort. En analysant l'initiation des systèmes en fonction du vent près de la surface, il apparaît que les conditions favorables sont situées sur les pentes du relief du coté au vent. Il n'a pas été mis en évidence de différence notable pour le déclenchement des systèmes convectifs entre régime d'est et régime d'ouest. Dans cette étude nous avons également tenté d'analyser l'influence éventuelle du type de végétation sur le déclenchement de la convection, sans résultat significatif. Cette absence de résultat est en partie attribuée au fait que l'étude portait sur la saison humide en Amazonie. En effet, nous avons montré que les différences dans la structure de la couche limite atmosphérique entre forêt et pâturages apparaissent de manière marquante en saison sèche ou en saison de transition et non en saison humide.

Nous nous sommes également intéressés aux effets d'un changement de végétation sur la convection, et plus particulièrement aux conséquences de la déforestation en Amazonie. Le but de cette étude était d'évaluer si le



Préparation du lancement d'une radiosonde pendant la campagne LBA au Rondonia en septembre-octobre 2002. (de G à D : Luiz Fernando Sapucci et Henri Laurent).

changement climatique prédit par les simulations numériques en cas de déforestation majeure était déjà perceptible. Les résultats ne montrent pas de changement significatif de la couverture nuageuse attribuable à la déforestation à l'échelle interannuelle. Ceci est dû au fort impact du phénomène El Niño sur les variations interannuelles. En revanche un changement est décelable sur les distributions saisonnières et diurnes de la couverture nuageuse. Au total, les résultats de cette étude montrent que le remplacement de la forêt primaire par des pâturages entraîne les tendances suivantes : pendant la saison sèche les zones déforestées présentent une augmentation des nuages bas en début d'après-midi et une diminution de la convection la nuit ; en saison humide la convection est augmentée en début de nuit sur les zones déforestées. Ainsi la déforestation tendrait à accentuer les différences entre les saisons.

Comme mentionné ci-dessus le phénomène El Niño a un fort impact sur la variabilité interannuelle du climat en Amérique du Sud. Cet impact est bien sûr différent selon les régions. En étudiant l'effet des deux principaux El Niño du siècle passé (1983-1983 et 1997-1998) sur les différents types de végétation du Brésil, nous avons montré que l'impact en un lieu donné peut être radicalement différent. Cette étude suggère plusieurs pistes pour expliquer ces différences. Tout d'abord il convient de quantifier la part des problèmes qui peuvent découler d'une homogénéité insuffisante des données d'observation satellitale, ce qui dans le cas considéré ne peut expliquer à lui seul les différences d'impacts observées entre les deux épisodes El Niño. Une première explication physique serait une sensibilité de la végétation aux conditions climatiques qui ont précédé l'événement El Niño. D'autre part les températures de surface de l'Atlantique peuvent moduler les effets dans l'atmosphère des anomalies de températures de surface du Pacifique propres au phénomène El Niño.

Afin d'étudier le rôle de l'océan Atlantique sur le climat du Brésil nous avons analysé les corrélations entre les flux de chaleur latente sur l'Atlantique tropical et la convection sur le continent. Une première étude s'intéressant plus particulièrement à la couverture de nuages convectifs sur la région du *Nordeste* montre comment la saison des pluies pourrait être mieux prévue à partir de données d'observations de flux de surface en mer.

## Variabilité climatique

Dans une étude sur la variabilité saisonnière et le cycle diurne de la convection dans la région amazonienne, nous avons tenté d'analyser les différences entre des régions ayant différents types de végétation. Précisons que même pendant la saison dite « sèche » il y a une activité convective non négligeable dans ces régions. Il apparaît que les zones déforestées et les régions de savane réagissent de façon similaire. Les différences entre régions de forêt dense et régions de savane ou déforestées sont bien plus marquées durant la saison sèche que pendant la saison humide. Un résultat intéressant est que les sites de forêt dense équatoriale présentent un cycle saisonnier assez important pour les précipitations et la couverture nuageuse, alors que l'énergie disponible pour la convection (CAPE) varie peu. Ceci montre que de faibles changements dans les paramètres énergétiques qui régissent la convection peuvent avoir un fort impact sur la précipitation. Par conséquent l'atmosphère tropicale en Amazonie apparaît sensible à un changement climatique à travers sa sensibilité aux paramètres régissant la convection. Un autre résultat suggéré par cette étude est que les sites de forêt équatoriale montrent la capacité de stocker de l'énergie latente dans le complexe atmosphère-biosphère pendant la saison sèche, ce qui n'est pas le cas pour les régions de savane ou de déforestation (pâturages).

Nos travaux ont également porté sur l'analyse de la variabilité climatique de la couverture nuageuse, particulièrement celle associée à la convection. On a cherché quels en sont les modes de variabilité, sur l'Amazonie d'une part, sur le continent et l'océan d'autre



Les français du projet devant l'entrée de l'IAE au CTA. De G à D : Bruno Durand, Henri Laurent, Nadine Dessay, Laurent Durieux, Arona Diedhiou en mission.

part. L'étude de la variabilité interdiurne de la convection a permis de montrer l'influence des systèmes associés aux fronts froids dans la couverture convective. Il a été mis en évidence trois types principaux d'interactions des fronts froids extra-tropicaux avec la convection sur le sud-est du Brésil et parfois sur l'Amazonie.

Une climatologie des ondes d'est, qui naissent en Afrique et traversent l'océan jusqu'en Amérique du Sud, a été établie.

## Applications de la recherche

Les systèmes convectifs sont le vecteur principal des pluies en région tropicale. Mais ces amas de nuages orageux peuvent être extrêmement violents et causer des dégâts considérables soit par les rafales de vent associées soit par les pluies violentes qu'ils provoquent. C'est ainsi qu'une meilleure connaissance de leurs évolutions est requise non seulement pour améliorer la compréhension et la modélisation du climat, mais également comme aide à la prévision immédiate (*nowcasting*). A titre d'exemple, nous avons été sollicités par une société gérant la distribution d'énergie pour développer une application de nos recherches permettant de mieux anticiper les trajectoires des systèmes convectifs qui causent d'importants dommages aux lignes électriques.

L'identification de paramètres prédictifs pour l'évolution d'un système convectif aurait des applications importantes pour un système d'aide à la prévision immédiate. C'est pourquoi nous avons approfondi l'étude des relations entre le développement d'un système convectif et son évolution au cours de son cycle de vie, montrant que la vigueur du développement initial d'un système, mesurée par son taux d'expansion, donne une indication sur sa durée de vie et sa taille. Ces idées nous ont amenés à développer une version opérationnelle de l'algorithme de suivi des systèmes convectifs appelée FORTRACC (*Forecast and tracking of active convective cells*) basée sur le travail de Machado and Laurent (2004). Ce produit fonctionne maintenant en opérationnel au Centre de prévision du temps et d'études climatiques (CPTEC) de l'institut de recherches spatiales du Brésil (INPE). Il permet de voir les systèmes convectifs à l'instant présent sur l'Amérique du Sud, leur évolution passée et leur évolution probable dans les 2 h à venir.

Par ailleurs nous avons contribué à installer dans le contexte opérationnel du CPTEC des algorithmes de mesure du vent dans l'atmosphère à partir d'images satellitaires. Ces observations sont fondamentales pour alimenter le modèle de prévision météorologique.

Il existe un parallèle et des interactions entre les programmes développés, dans le cadre des grands programmes internationaux préconisés par l'Organisation Météorologique Mondiale, au Brésil (LBA) et en Afrique (AMMA). Ces deux expérimentations ont des objectifs assez voisins d'étude de la mousson et du cycle de l'eau en région tropicale. Entre 2005 et 2009 les membres IRD de notre projet s'intéresseront prioritairement à l'expérimentation en Afrique de l'Ouest dont la phase d'observations intensives aura lieu en 2006. Nous prévoyons d'organiser une participation brésilienne aux observations de terrain, et aux travaux de recherche qui porteront sur la comparaison de la convection entre l'Amazonie et l'Afrique.

### POUR EN SAVOIR PLUS

Machado, L. A. T. and Laurent, H. 2004. The convective system area expansion over Amazonia and its relationships with convective system life duration and high-level wind divergence. *Monthly Weather Review*, 132, 714-725.

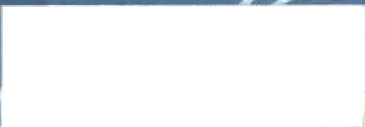
Dessay, N., Laurent, H., Machado, L. A. T., Shimabukuro, Y. E., Batista, G. T., Diedhiou, A., Ronchail, J. 2004. Comparative study of 1982-1983 and 1997-1998 El Niño events over different types of vegetation in South America. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 4063-4077.

Diedhiou, A., Machado, L. A. T. and Laurent, H. 2004. Climatology of African easterly disturbances over the tropical Atlantic ocean. Submitted to *J. Climate*.

Machado, L. A. T., Laurent, H., Dessay, N. and Miranda, I. 2004. Seasonal and diurnal variability of convection over the Amazonia : A comparison of different vegetation types and large scale forcing. *Theoretical and Applied Climatology*. V. 78, n. 1-3, p. 61-78.



Recherches de  
**L'IRD**  
au **Brésil**  
depuis 1998



Institut de recherche  
pour le développement



**Conception graphique**  
**Fernando Brandão**

**Impression et reliure**  
**Charbel Gráfica e Editora**