

## PRÉVISION DES PRÉCIPITATIONS DANS LA RÉGION DE GUAYAQUIL

*Frédéric ROSSEL \**, *Éric CADIER \*\**, *Roger CALVEZ \*\**, *Carlos LUGO \*\*\**,  
*Fernando GARCIA \*\*\**

### Résumé

Une analyse des mécanismes responsables des précipitations dans les régions côtières de l'Équateur et des relations entre les anomalies de pluie et celles de température et de vent à la surface du Pacifique oriental nous ont permis de déterminer des modèles prévisionnels mensuels des précipitations de la région de Guayaquil. Les corrélations linéaires multiples que nous proposons permettent d'expliquer de 60 à 80 % de la variance des précipitations des mois de février à mai à partir des conditions observées le mois précédent.

**Mots-clés :** *Équateur, El Niño, prévision de précipitations, TSM.*

### PREVISIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN LA REGIÓN DE GUAYAQUIL

#### Resumen

Un análisis de los mecanismos que provocan las precipitaciones en la zona costera del Ecuador y de las relaciones entre las anomalías de lluvias y las anomalías de temperatura y de viento del Pacífico oriental, nos permite determinar modelos previsionales mensuales de las precipitaciones del área de Guayaquil. Las correlaciones lineales múltiples que proponemos explican de 60 a 80 % de la varianza de las precipitaciones de los meses de febrero a mayo utilizando los datos observados durante los meses anteriores.

**Palabras claves:** *Ecuador, El Niño, previsión de precipitaciones, TSM.*

### PREDICTION OF GUAYAQUIL AREA RAINFALL

#### Abstract

An analysis of the mechanisms that induce precipitations in the coastal area of Ecuador and of the relations between precipitation anomalies and temperature and wind anomalies from the Eastern Pacific, allows to determine precipitation monthly forecasting models of the

---

\* IRD (ex-ORSTOM), 6 rue de Brion, 30270 St Jean du Gard, France. E-mail : frossel@mnet.fr

\*\* IRD (ex-ORSTOM), B.P. 5045, 34032 Montpellier cedex 1 France;  
Eric.Cadier@mpl.orstom.fr

\*\*\* INAMHI, Iñaquito 700 y Corea, Quito, Ecuador. Mail : inamhi1@ecnet.ec

Guayaquil area. Proposed multiple lineal correlation explain 60 to 80% of the February to May precipitation variance using observed data from previous months.

**Key words:** Ecuador, El Niño, Rainfall Forecast, SST.

## INTRODUCTION

Les régions côtières de l'Équateur sont soumises à des variations climatiques très importantes, les années de sécheresse alternent avec quelques années d'abondance et d'inondations. Afin de réduire les dommages provoqués par ces situations extrêmes dans la plaine du fleuve Guayas qui est la région du pays où l'on rencontre les plus importantes exploitations agricoles et la plus forte concentration de population, plusieurs ouvrages de régulation ont été construits ou sont prévus (CEDEGE, 1995). L'étude des relations entre les précipitations annuelles de l'Équateur et le Niño ont montré que la zone de Guayaquil est une des régions où l'influence du Niño est la plus importante (Rossel *et al.*, 1996 ; Rossel, 1997). Afin de proposer des outils d'aide à la décision pour la gestion des ouvrages de régulation, nous avons étudié les relations entre les précipitations et différents paramètres qui caractérisent l'état de l'océan et de l'atmosphère. Nous avons ainsi recherché des méthodes d'estimation des précipitations d'un mois donné en utilisant les indices de pluies mais aussi de Température de Surface de la Mer (TSM) et de vent du Pacifique oriental du mois précédent.

## 1. DONNÉES

Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé les valeurs centrées réduites des indices pluviométriques déterminés pour les zones du littoral (Rossel *et al.*, 1995) et celles des séries de TSM, de vent zonal et méridien homogénéisées par Da Silva *et al.* (1995) (Fig. 1). Les indices pluviométriques sont disponibles sur la période 1964-93, ceux de Da Silva le sont sur la période 1945-89 pour l'ensemble des océans de la planète avec une définition de  $1^\circ \times 1^\circ$ . Nous avons retenu sept blocs de  $1^\circ \times 1^\circ$  proches des côtes de l'Équateur, indicés de A à G et neuf blocs de  $5^\circ \times 5^\circ$  indicés de H à P. Nous avons également utilisé la série de TSM du bloc Niño 1+2 ( $0-10^\circ\text{S}/80-90^\circ\text{W}$ ) diffusées par le CAC sur Internet (serveur FTP : [nic.fb4.noaa.gov](http://nic.fb4.noaa.gov) ; Répertoire : [pub/cac/cddb/indices](http://pub/cac/cddb/indices)). Le choix de ces variables a été guidé par des études préliminaires réalisées avec la série de la station pluviométrique de Guayaquil (Sémiond, 1995).

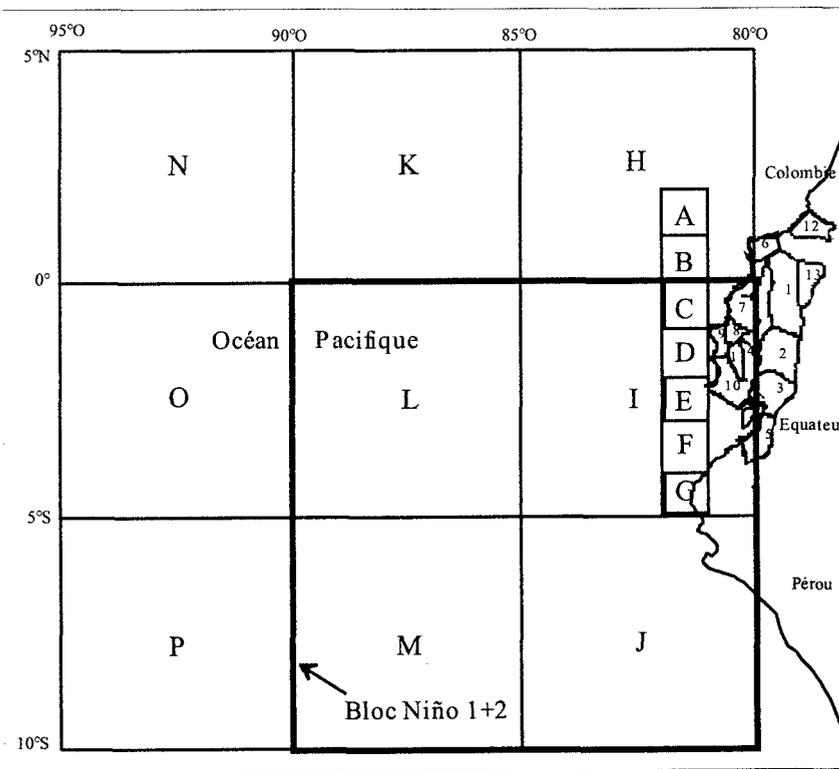
Dans les paragraphes suivants :

-  $P_1, P_2 \dots P_{13}$  sont les valeurs centrées réduites des indices pluviométriques des zones 1, 2 ... 13 des régions côtières de l'Équateur. Les totaux supérieurs à la moyenne correspondent à des valeurs positives, les inférieurs à des négatives.

-  $T_a, T_b \dots T_p$  et  $T_{\text{niño}1+2}$  sont les valeurs centrées réduites de la TSM des blocs A, B ... M et du bloc Niño 1+2. Les valeurs positives correspondent à des températures supérieures à la moyenne et les négatives à des valeurs inférieures.

-  $X_a, X_b \dots X_p$  sont les valeurs centrées réduites du vent zonal des blocs A, B ... P. Par convention les anomalies positives correspondent à des anomalies dirigées de l'ouest vers l'est et les négatives à des anomalies dirigées de l'est vers l'ouest. Ainsi, des vents d'est inférieurs à la moyenne ou des vents d'ouest supérieurs à la moyenne correspondent à des anomalies positives. Inversement des vents d'est supérieurs à la normale ou des vents d'ouest inférieurs à leur moyenne correspondent à des anomalies négatives.

-  $Y_a, Y_b \dots Y_p$  sont les valeurs centrées réduites du vent méridien des blocs A, B ... P. Selon le même principe que pour le vent zonal, les anomalies positives correspondent à des anomalies de vent méridien dirigées du sud vers le nord et les négatives à des anomalies dirigées du nord vers le sud.



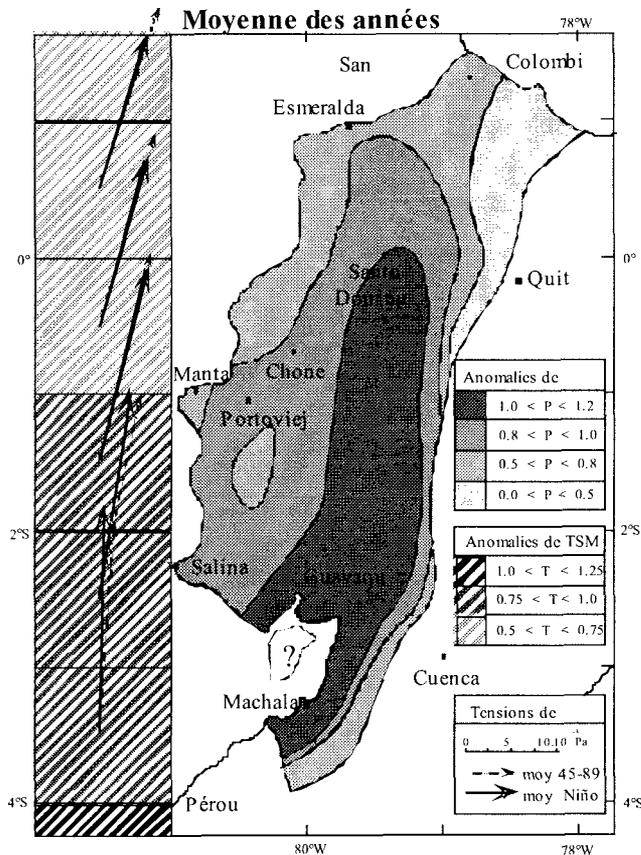
**Fig. 1 - Situation des zones pluviométriques (1, 2 ... 13) et des blocs sur lesquels sont mesurés la TSM, le vent zonal et méridien (A, B ... P), le bloc Niño 1+2 correspond à la réunion des blocs I, J, L et M.**

## 2. FACTEURS EXPLICATIFS DES ANOMALIES PLUVIOMÉTRIQUES

Les déplacements périodiques nord-sud de la ZCIT (Zone de Convergence Inter-Tropicale) entraînent la pénétration de masses d'air ayant différentes caractéristiques de

température et d'humidité. Lorsque la ZCIT se trouve au sud de l'équateur géographique, les régions côtières de l'Équateur se trouvent sous l'influence de masses d'air chaud et humide, en provenance du nord-est, qui engendrent des pluies importantes et une augmentation de la température de l'air. Au contraire, le déplacement septentrional de la ZCIT entraîne la pénétration de masses d'air moins chaud et moins humide, en provenance du sud-est, ce qui provoque des pluies plus faibles ou nulles et un abaissement des températures. En outre, lorsque la ZCIT passe ou s'établit en un lieu, l'activité convective augmente et il se produit alors des pluies orageuses, généralement courtes mais intenses.

Les années Niño se caractérisent au large de l'Équateur par une amplification de la migration méridionale avec un réchauffement de l'océan et un affaiblissement des alizés plus importants que la normale qui se traduisent par une augmentation des pluies sur l'ensemble des régions côtières de l'Équateur (Fig. 2). Nous retrouvons ici les caractéristiques du Niño *canonique* défini par Rasmusson & Carpenter (1982).



**Fig. 2 - Anomalies saisonnières moyennes des années Niño exprimées en écart-type des précipitations, de la TSM et du vent.**

Les anomalies pluviométriques sont maximales dans la partie est de la plaine du Guayas entre Santo Domingo et Guayaquil, elles diminuent vers le nord et lorsque l'on se rapproche de la cordillère des Andes à l'est et de l'océan Pacifique à l'ouest. On observe également un décalage du maximum de précipitations de février vers mars et une augmentation des précipitations plus importante à la fin de la saison des pluies (Rossel, 1997). Les anomalies de TSM sont également plus importantes pendant la deuxième moitié de la saison des pluies. Les valeurs mensuelles des vents montrent que le déplacement vers le sud de la ZCIT dépasse de 5° de latitude sa position normale. Sa position moyenne la plus australe les années Niño est proche de l'équateur géographique aux mois de février et mars (Rossel, 1997). Sur le continent, les vents dominants d'ouest des années Niño sont déviés vers le nord et le sud à l'approche de la cordillère des Andes (Lugo, 1996).

### 3. PRÉVISIONS DES PRÉCIPITATIONS

Afin de prévoir les anomalies pluviométriques, nous avons étudié leurs relations avec les séries de pluies, de TSM et de vents du Pacifique oriental des mois précédents. Nous avons ainsi recherché les meilleures corrélations linéaires multiples ou modèles explicatifs des indices pluviométriques des régions côtières de l'Équateur. Nous présentons ici les résultats obtenus pour l'indice  $P_3$  de la zone de Guayaquil qui se situe dans la zone où l'influence du Niño est la plus importante et qui présente un grand intérêt économique.

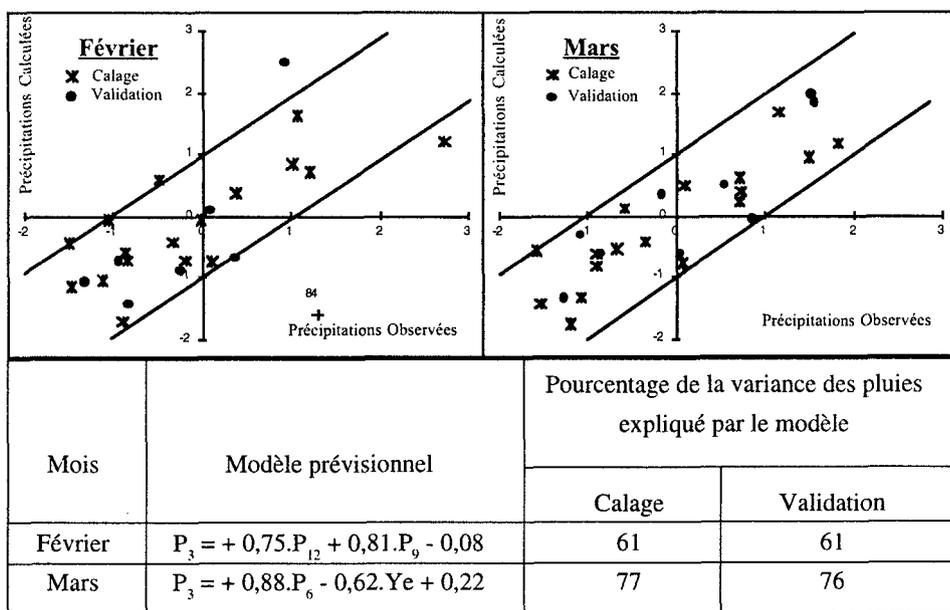
#### 3. 1. Décembre - janvier : début de la saison des pluies

Aucun modèle prévisionnel satisfaisant n'a pu être obtenu pour les indices pluviométriques des mois de décembre et de janvier, les meilleures régressions expliquent moins de 35 % de la variance des précipitations. Avec les simples régressions linéaires multiples et les indices que nous avons retenus, il sera donc impossible d'estimer correctement la pluviométrie des deux premiers mois de la saison des pluies, précipitations qui sont encore relativement faibles en décembre (de 4 % du total annuel) mais qui peuvent être conséquentes en janvier (19%). Cette impossibilité est en grande partie due au fait que les mois précédents sont peu pluvieux, or, comme nous le verrons pour les mois de février et mars, les précipitations du mois antérieur sont l'une des variables explicatives les plus importantes. Il y a un effet de persistance des pluies relativement important lié à la durée des anomalies de TSM et de vent du Pacifique oriental. Il est apparemment nécessaire que la perturbation liée à l'apparition d'un Niño "soit installée" pour que l'on puisse estimer de manière fiable les précipitations du mois suivant en utilisant ces techniques de corrélations linéaires multiples.

#### 3. 2. Février - mars : coeur de la saison des pluies

Les meilleurs indices qui permettent de prévoir les anomalies de précipitation des mois de février et mars sont les indices pluviométriques  $P_{12}$  et  $P_6$  des zones de San Lorenzo et d'Esmeraldas situées au nord du littoral. Le fait que ces indices de pluie des

mois de janvier et février de régions du nord soient “de bons prédicteurs” des précipitations des mois de février et mars d’une zone située plus au sud, peut probablement s’expliquer par les déplacements méridiens de la zone de convergence intertropicale. Lors de sa migration du nord vers le sud au cours de la première partie de la saison des pluies, la ZCIT affecte en premier les régions côtières situées au nord de l’Équateur. L’indice de pluie  $P_9$  du mois de janvier et l’indice de vent  $Ye$  du mois de février apportent un complément d’information qui améliore substantiellement la qualité des modèles de prédiction des précipitations (+11 et 18%).



**Fig. 3 - Modèles prévisionnels des précipitations des mois de février et mars de la région de Guayaquil.**

### 3. 3. Avril - mai : fin de la saison des pluies

Les meilleurs prédicteurs pour les mois d’avril et mai sont des indices de TSM du Pacifique oriental. Le fait que les indices de TSM du Pacifique oriental du mois de mars et avril soient de bons prédicteurs des précipitations des mois d’avril et mai correspond à la forte influence du Niño sur les précipitations de la deuxième moitié de la saison des pluies. Les indices de pluie  $P_4$  du mois de mars et  $P_1$  du mois d’avril apportent un complément d’information qui améliore substantiellement la qualité des modèles (+13 et 14%).

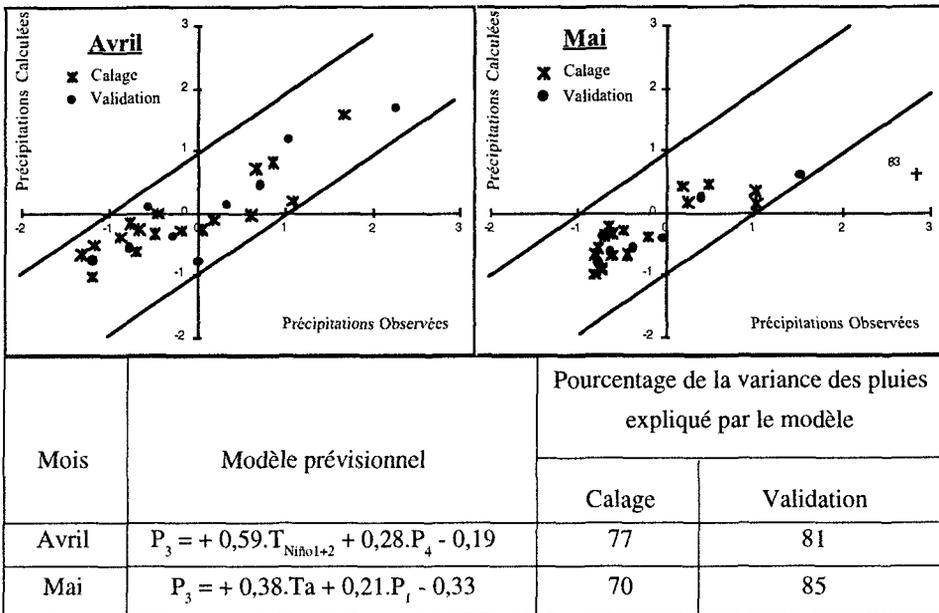


Fig. 4 - Modèles prévisionnels des précipitations des mois d'avril et mai de la région de Guayaquil.

3. 4. Qualité des prévisions

Les performances des modèles (Fig. 3 et 4) sont comparables aux meilleures corrélations obtenues dans d'autres régions de la planète, comme le Nordeste du Brésil (Hastenrath, 1990b), sur le versant caraïbe de l'Amérique du Sud (Hastenrath, 1990a), à Jakarta (Hastenrath, 1988), ou au sud-est de l'Australie (Simpson *et al.*, 1993). Cependant quelques valeurs (février 1984, mai 1983) n'ont pu être estimées correctement par ces modèles linéaires très rudimentaires. Une étude plus approfondie des indices caractérisant l'état de l'océan et l'atmosphère permettrait probablement d'augmenter les performances de ces modèles. L'utilisation de variables comme la position de la ZCIT, le vent zonal et méridien en altitude ou encore l'humidité de l'air devrait permettre de mieux expliquer ces anomalies de précipitations.

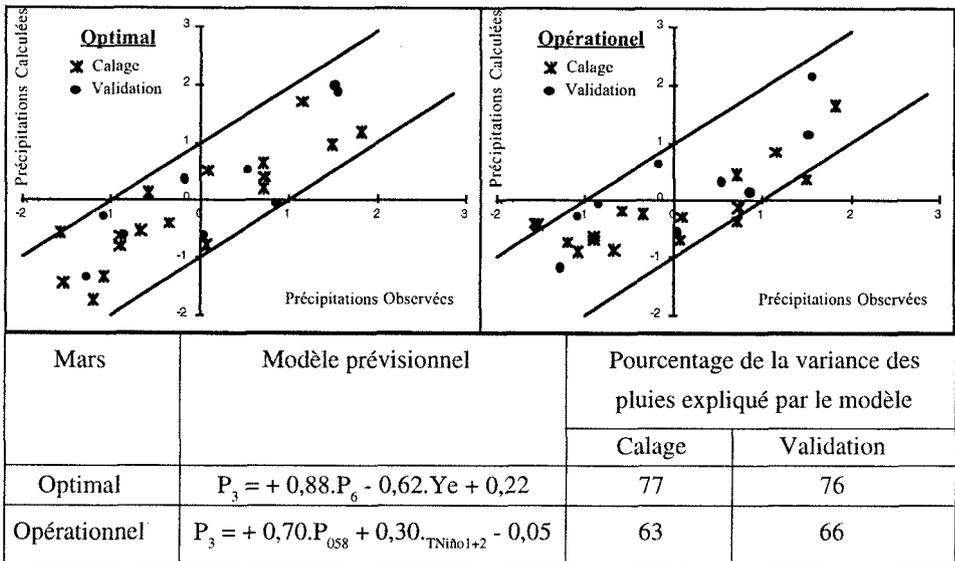
3. 5. Prévision opérationnelle

Pour mettre en place un système de prévisions opérationnel basé sur les modèles que nous proposons, il faudrait pouvoir organiser la transmission en temps réel de toutes les données de pluie, de TSM et de vent utilisées par nos modèles. Or ces données ne sont pas toutes disponibles en temps réel, car nous avons calé et validé nos modèles à partir de jeux de données, critiquées, complétées et homogénéisées, ou de données récupérées sur Internet.

Il faudrait donc :

Soit réaliser les investissements financiers et techniques nécessaires pour disposer des données nécessaires en temps réel (en complétant les réseaux de mesures télétransmis et les données disponibles sur Internet).

Soit élaborer des modèles moins performants (appelés modèles opérationnels), qui n'utilisent que les données actuellement disponibles en temps réel qui se limitent aux précipitations de onze pluviomètres du littoral et à la TSM du bloc Niño 1+2. La figure 5 montre un exemple de dégradation des résultats du modèle prévisionnel du mois de mars, par rapport au modèle optimal.



**Fig. 5 - Modèles prévisionnels optimal et opérationnel des précipitations du mois de mars de la région de Guayaquil ;  $P_{058}$  est l'indice pluviométrique du pluviomètre 058 d'Esmeraldas situé dans la zone n° 6, dont les données sont disponibles en temps réel.**

#### 4. CONCLUSION

L'analyse des circulations océaniques et atmosphériques à l'origine des précipitations puis celle des corrélations entre les indices pluviométriques d'un mois donné et les indices de pluie, de TSM et de vent du mois antérieur a permis de proposer des modèles qui permettent d'effectuer des prévisions un mois à l'avance de manière relativement satisfaisante pour les indices pluviométriques des mois de février à mai dans la région de Guayaquil. Les meilleurs "prédicteurs" des mois de février et mars sont les indices pluviométriques des zones du nord du littoral. Ceci est à rapprocher de la migration méridienne de la ZCIT dont l'influence se fait d'abord sentir sur les régions du nord, lors de sa migration vers le sud au début de la saison des pluies. Les meilleurs "prédicteurs" des mois d'avril et mai sont les indices de TSM du Pacifique oriental, ce

qui montre la très forte influence des anomalies de TSM sur les mois de la fin de la saison des pluies, quand un Niño est installé.

Comme tout modèle prédictif, ces modèles ne permettent d'expliquer, un mois à l'avance, qu'une partie (60 à 80%) de la variance totale des précipitations de Guayaquil. Ils présentent l'avantage d'être simples, mais n'ont été calés et validés que sur une période totale de 26 ans. Faute de disposer de modèles plus fiables, il faudra les utiliser avec précaution pour prévoir les anomalies de précipitations et d'écoulement. Il faudra maintenant valider ou essayer d'améliorer ces modèles avec les informations récentes du Niño 1997-1998.

### Références citées

- CEDEGE, 1995 - *Resumen de las características técnicas de las obras de control de inundaciones de la cuenca baja del río Guayas*, 110p. ; CEDEGE.
- DA SILVA, A., YOUNG, C. & LEVITUS, S., 1995 - Atlas of surface marine data, Volume 2 : Anomalies of directly observed quantities. in : *NOAA Atlas NESDIS 7*, US Department of Commerce, NOAA, NESDIS, CD-Room.
- HASTENRATH, S., 1988 - Prediction of India monsoon rainfall: Further exploration. *Journal of Climate*, **1** : 298-304.
- HASTENRATH, S., 1990a - Diagnostic and prediction of anomalous river discharge in Northern South America. *Journal of Climate*, **3** : 1080-1096.
- HASTENRATH, S., 1990b - Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *Journal of Climate*, **3** : 893-904.
- LUGO, C., 1996 - *El viento en las precipitaciones de la costa ecuatoriana*, 8p. ; Quito:INAMHI.
- RASMUSSEN, E. & CARPENTER, T., 1982 - Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/ El Niño. *Monthly Weather Review*, **110** : 354-384.
- ROSSEL, F., 1997 - Influence du Niño sur les régimes pluviométriques de l'Équateur. *Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier II*, 289p. + Annexes.
- ROSSEL, F., CADIER, E., GOMEZ, G., 1996 - Las inundaciones en la zona costera ecuatoriana: causas, obras de protección existentes y previstas. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, **25(3)** : 399-420.
- ROSSEL, F., SÉMIOND, H. & CLAIRET, S., 1995 - *Régionalisation de la pluviométrie annuelle de l'Équateur pour l'étude de l'impact de l'ENSO sur les régimes pluviométriques*, 56p. ; Quito: ORSTOM- INAMHI.
- SÉMIOND, H., 1995 - Régionalisation des pluies en Équateur et estimation des excès pluviométriques en relation avec les événements «El Niño», 50p. ; Nancy : École Nationale Supérieure de Géologie de Nancy, rapport de stage de fin d'étude.
- SIMPSON, H., CANE, M., LIN, S., ZEBIAK, S. & HERCZEG, A., 1993 - Forecasting annual discharge of River Murray, Australia from a geophysical model of ENSO. *Journal of Climate*, **6**: 386-390.

1998

# BULLETIN

de l'INSTITUT FRANÇAIS  
d'ÉTUDES ANDINES

Tome 27  
N° 3



*Variations climatiques et ressources en eau  
en Amérique du Sud: Importance et  
conséquences des événements  
El Niño*

COLOMBIE  
ÉQUATEUR  
PÉROU  
BOLIVIE

IRD

Institut de recherche  
pour le développement

CINQUANTENAIRE  
1948  
1998

IFEA