



# **UNIVERSITE PAUL-SABATIER TOULOUSE III**

## **MASTER 2 RECHERCHE HYDROLOGIE, HYDROCHIMIE, SOLS ET ENVIRONNEMENT**

### **Rapport de Stage**

**Etude de la corrélation entre les différents indices du  
phénomène ENSO (El Niño, La Niña) et les indices de  
pluviométrie et de débits du bassin versant de  
l'Esmeraldas (Nord de la Côte Pacifique Equatorienne)**

par

**Andrea VERA BUSTAMANTE**

Effectué au LMTG (Laboratoire des Mécanismes et Transferts en  
Géologie - UMR 5563 : UPS/CNRS/IRD)

Sous la direction de Luc BOURREL et David LABAT

**Septembre 2009**

## **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à remercier mon maître de stage, Luc Bourrel (chercheur IRD), qui a su me conseiller, me guider et m'apporter les réponses nécessaires au bon déroulement de mon stage, et aussi pour la stimulation et l'appui qu'il donne aux étudiants de l'Equateur pour poursuivre leurs formations sur le chemin de la recherche afin d'apporter notre savoir faire au développement de notre pays.

Je remercie pour sa formation, ses conseils et sa bonne humeur, David Labat mon cotuteur de stage.

Je remercie les institutions qui m'ont donné l'opportunité de compléter ma formation professionnelle initiale d'ingénieur par ce Master 2 Recherche en France, à savoir l'IRD via un cofinancement de l'Ambassade de France de Quito (Equateur) et de la SENACYT (Equateur).

Enfin je remercie toutes les personnes importantes dans ma vie et en particulier ma famille et mes amis qui m'ont donné leur appui à distance.

## Résumé

Le phénomène de l'oscillation australe (ENSO : El Niño Southern Oscillation) est un évènement à grande échelle produit des interactions Océan – Atmosphère dans l'Océan Pacifique. Il induit des changements climatiques qui peuvent perturber fortement le climat des régions tropicales de part et d'autre de l'Océan Pacifique. Ce phénomène affecte donc la côte Pacifique de l'Equateur et lors de la phase El Niño, il provoque des fortes perturbations du régime des précipitations et des débits (le Niño 1982-1983 a eu des conséquences désastreuses: inondations dévastatrices et nombreuses victimes).

Pour étudier les relations qui existent entre le phénomène ENSO et le comportement des pluies et des débits sur la totalité du bassin versant de l'Esmeraldas (Nord de la côte Pacifique équatorienne) et sur ses deux principaux sous-bassins (le Blanco et le Guayllabamba), nous avons mis en œuvre diverses méthodes (ACP, analyse spectrale, analyse en ondelettes, analyse des corrélations) utilisant six indices caractérisant l'ENSO (SOI, SST pour diverses zones et MEI) et les indices des pluies et des débits sur une période de 40 années (1965-2005).

Les résultats de l'analyse en composantes principales (ACP), nous permettent de mettre en évidence que les indices SOI, SST1+2 et SST4 présentent la meilleure corrélation avec les indices de pluie et de débit. L'analyse de cohérence spectrale signale que les indices SST1+2 et SST3 sont les plus cohérents avec les indices de pluie et de débit, et que les périodes de retour des évènements ENSO ainsi que des indices de pluies et de débits correspondent à une fréquence quasi biannuelle et quasi quadriennale. L'analyse en ondelettes nous a permis d'identifier les épisodes ENSO qui correspondent aux pics trouvés lors de l'analyse spectrale.

Nous avons ensuite utilisé l'analyse des corrélations afin d'obtenir une information plus détaillée, épisode par épisode, de la corrélation entre les six indices ENSO et les indices des pluies et des débits. Nous noterons tout d'abord que les coefficients de corrélation calculés restent inférieurs à 0,6. Nous avons aussi mis en évidence que, dans le cas des El Niño, c'est seulement quand les six indices ENSO et les indices de pluies et de débits présentent tous simultanément des valeurs indiquant une phase El Niño, et ce, pour des périodes consécutives au moins supérieures à 10 mois, que l'on constate des anomalies de pluies et de débits supérieures à 30%, comme pour les épisodes majeurs de 1965-1966, 1972-1973, 1982-1983, 1997-1998. De plus, il est à noter que pour ces épisodes majeurs les débuts des anomalies des indices ENSO sont en phase avec les débuts des anomalies de pluies et débits.

En ce qui concerne les évènements La Niña, le schéma général est identique à celui du El Niño, mais dans une moindre mesure.

Enfin, nous avons confirmé, par l'étude des corrélations par sous-bassins que l'influence de l'ENSO est plus marquée dans la zone littorale, basse et Sud du bassin (sous-bassin du Blanco) que dans la zone haute et Nord du bassin (sous-bassin du Guayllabamba).

## Sommaire

1.	Introduction .....	1
2.	Description de la zone d'étude .....	2
3.	Le phénomène ENSO:.....	3
3.1.	Conceptualisation du phénomène ENSO: .....	3
3.2.	Antécédents du phénomène ENSO dans la zone d'étude. ....	3
4.	Données et Méthodologie.....	4
4.1.	Méthodologie. ....	4
5.	Résultats .....	6
5.1.	Analyse en Composants Principales (ACP):.....	6
5.2.	Analyse Spectrale .....	8
5.3.	Analyse en Ondelettes .....	11
5.3.1.	Analyse en Ondelettes des débits .....	11
5.3.2.	Analyse en Ondelettes des pluies .....	13
5.3.3.	Analyse en Ondelettes des indices ENSO.....	14
5.4.	Analyse de Corrélation.....	16
6.	Conclusions et perspectives .....	23
7.	Références Bibliographiques.....	25
	ANNEXES .....	26

## 1. Introduction

Le phénomène de l'oscillation australe (ENSO : El Niño Southern Oscillation) est un évènement à grande échelle produit des interactions Océan – Atmosphère dans l'Océan Pacifique. Il est attribué aux variations irrégulières de pression atmosphérique et de température de surface de l'Océan Pacifique tropical. Ce phénomène provoque des perturbations et des effets climatiques importants et se décompose en deux phases: la phase El Niño est un évènement chaud tandis que la phase dite La Niña est un évènement froid. Ces changements climatiques peuvent perturber fortement le climat des régions tropicales de part et d'autre de l'Océan Pacifique et notamment la façade du littoral Pacifique de l'Amérique du Sud.

Dans le cas de celle-ci, un des pays le plus touché par ce phénomène est l'Equateur et principalement par la phase El Niño, à laquelle sont associées des fortes perturbations du régime des précipitations et donc du régime hydrologique des fleuves de cette région. L'appellation « Le Niño » ne se réfère pas à la situation observée durant les années dites normales, il est réservé aux événements exceptionnellement marqués, tels que celui de 1982-1983 où les conséquences ont été désastreuses: inondations dévastatrices et nombreuses victimes (Pourrut, 1993). Il est donc important de connaître les mécanismes de fonctionnement du phénomène ENSO pour pouvoir essayer de prévoir ses effets sur les pluies et les débits.

Pour caractériser ce phénomène, plusieurs indices sont généralement utilisés (Kiem et Franks, 2001) : l'Indice de l'Oscillation Australe (SOI), les anomalies de température de la surface de l'Océan (connus comme SST) et le MEI (Multivariate ENSO Index).

Ce travail a été réalisé au sein du Laboratoire des Mécanismes et des Transferts en Géologie (LMTG), dans le projet de Hydrogéodynamique du Bassin Amazonien (HYBAM) qui couvre l'ensemble des pays d'Amérique du Sud inclus dans le bassin amazonien et a pour objectif l'étude des bilans des flux liquides, sédimentaires et géochimiques et de l'influence anthropique et climatique sur ces flux (changement climatique et phénomène ENSO). En Equateur, celui-ci est mené via une convention de coopération entre l'IRD et l'INAMHI (Institut National de Météorologie et d'Hydrologie d'Equateur) et depuis quelques années, le programme s'intéresse aussi aux mêmes thématiques sur le versant Pacifique de la Cordillère des Andes.

L'objectif de ce travail est de trouver les corrélations qui existent entre les différents indices définissant l'ENSO et les indices de pluies et les indices de débits sur la totalité du bassin versant de l'Esmeraldas (Nord de la côte Pacifique équatorienne) et sur ses deux principaux sous-bassins (le Blanco et le Guayllabamba). Les données utilisées se répartissent sur une période de 45 années à partir du début des années 1960.

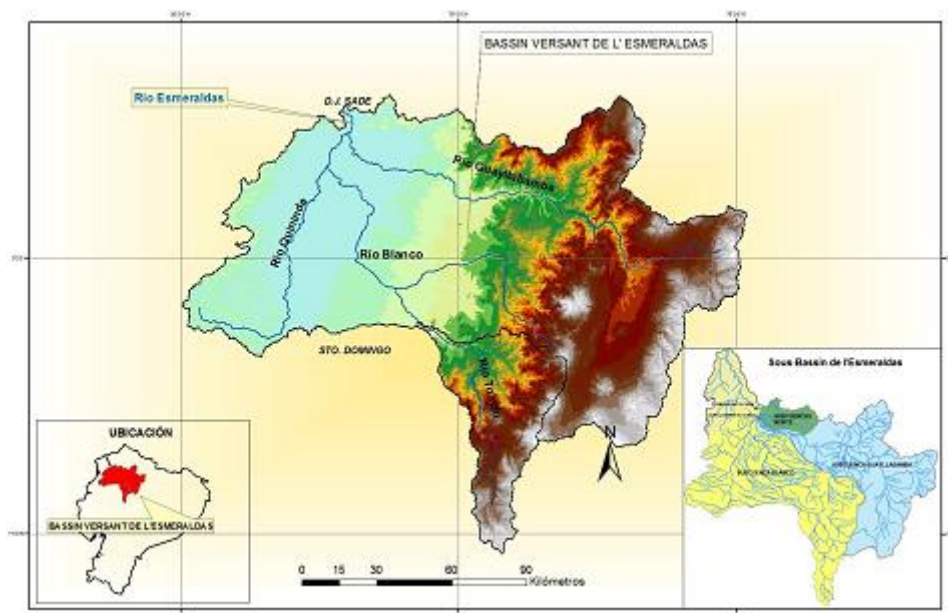
Nous avons tout d'abord utilisé une série de méthodes telles que l'analyse spectrale, l'analyse en ondelettes pour étudier la périodicité des séries chronologiques (divers indices ENSO, indices de pluies et indices de débits) et l'ACP pour rechercher les indices ENSO qui expliquent le mieux les indices de pluies et de débits.

Enfin, nous avons étudié au cas par cas les divers évènements Niño et Niña de manière à chercher les meilleures corrélations entre les divers indices caractérisant les phénomènes ENSO et les indices de pluies et de débits qu'ils ont généré.

## 2. Description de la zone d'étude

Le bassin versant de l'Esmeraldas est localisé au nord-ouest de l'Equateur, entre les latitudes  $0^{\circ} 35' 24''$  N -  $01^{\circ} 04' 12''$  S et les longitudes  $79^{\circ} 54' 24''$  W -  $77^{\circ} 59' 24''$  W. Ce bassin fait partie du littoral Pacifique équatorien, et présente une superficie de  $19680 \text{ Km}^2$  au droit de la station D.J. Sade, qui constitue 12,6% du total de la superficie du territoire équatorien. Le climat caractéristique de cette zone est un climat tropical sec à semi-humide (Pourrut, 1994). Sur l'ensemble du bassin versant réparti entre le versant occidental de la Cordillère des Andes et le littoral, le cumul total pluviométrique annuel sur l'année hydrologique (septembre - août) peut varier entre 200 mm et 4000 mm (Galeas et Melo, 2007) et présente un module moyen global de 2055 mm, recueillis en majorité pendant la saison des pluies de décembre à mai, la saison sèche est bien marquée aussi et les températures moyennes sont supérieures à  $24^{\circ}\text{C}$ .

L'axe fluvial de ce bassin est le fleuve Esmeraldas (cf figure 1), qui a une longueur de 271 Km, depuis sa source dans la Cordillère des Andes jusqu'à son embouchure dans l'Océan Pacifique (au droit de la station D.J. Sade le module moyen annuel est de  $770 \text{ m}^3/\text{s}$ ), ses affluents principaux sont les fleuves Guayllabamba, Blanco, Toachi et Quinindé. L'affluent le plus important est le fleuve Guayllabamba, formé par les eaux des vallées Nord du bassin.



**Fig. 1.** Localisation du Bassin Versant de l'Esmeraldas, les fleuves principaux et ses sous-bassins.

### 3. Le phénomène ENSO:

#### 3.1. Conceptualisation du phénomène ENSO:

La description du phénomène ENSO a été développée par divers auteurs.

Nous pourrions noter celle de Wyrтки (1975) basée sur l'état de surface de l'Océan Pacifique (vents et température). De forts vents du Sud-Est (alizés) soufflent pendant plus de huit à dix mois, provoquant un stockage d'eau chaude dans le Pacifique Ouest. Lorsque ces vents s'affaiblissent, l'eau stockée tend à retourner vers le Pacifique Est, où se trouve le littoral Sud Américain. L'arrivée de ces eaux chaudes provoque l'augmentation du niveau de l'Océan, tandis que la thermocline descend: processus qui remplace l'effet de upwelling et marque le commencement d'un Niño

Bjerknes (1969) propose une autre thèse utilisant l'interaction thermodynamique entre l'Océan et l'Atmosphère, qui correspond au réchauffement anormal de l'Océan associé à l'Oscillation Australe, c'est-à-dire la fluctuation de la circulation atmosphérique entre le système de haute pression du Pacifique Sud-Est (Tahiti) et de basse pression du Pacifique Ouest (Darwin, Australie).

L'indicateur de cette variation de pression est le SOI (South Oscillation Index). Le phénomène ENSO se décompose en deux phases: la phase négative dite El Niño est un événement chaud tandis que la phase positive dite La Niña est un événement froid (Ropelewski et Halpert, 1996).

Les autres indices qui caractérisent l'ENSO sont ceux qui mesurent les anomalies de température de la surface de l'Océan (connus comme SST) : ces indices sont mesurés dans différents régions de l'Océan Pacifique équatorial (Niño 1+2 (0-10°S) (90°W-80°W), Niño 3 (5°N-5°S) (150°W-90°W), Niño 4 (5°N-5°S) (160°E-150W), Niño 3,4 (5°N-5°S) (170°W-120°W)). Enfin il existe un autre indice qui est le MEI (Multivariate ENSO Index), calculé à partir des valeurs des six variables (la pression de surface, la composante zonale et méridienne du vent de surface, la température de surface de la mer, la température de l'air en surface et la couverture nuageuse).

#### 3.2. Antécédents du phénomène ENSO dans la zone d'étude.

Il faut mentionner que le climat de l'Equateur est très complexe : il est composé d'une véritable mosaïque de climats liés à l'existence de nombreux systèmes régionaux et micro régionaux (littoral, vallées inter andines, effet orographique...). Il existe aussi une variabilité annuelle (une saison des pluies et une saison sèche très marquées) et interannuelle très importante du régime pluviométrique: cette dernière étant liée aux événements exceptionnels de type ENSO (El Niño-La Niña). Les pluies catastrophiques associées à la phase El Niño ont une incidence négative sur l'équilibre fragile des certaines régions du littoral équatorien.

Les plus forts événements El Niño qui se sont produits autour des années 80 et 90 sont ceux de 1982-1983 et de 1997-1998. Pour El Niño 1982-1983 (Pourrut, 1992): «Wyrтки avait d'ailleurs

*pronostiqué que le phénomène n'aurait pas lieu en 1982, 1983 et probablement 1984, parce qu'il n'y avait pas de changements significatifs des variations du niveau de l'océan et de la thermocline. Seule une analyse postérieure a permis de détecter en particulier un inhabituel réchauffement des températures océaniques superficielles à la longitude 180° dès janvier, ainsi qu'une anomalie de différence de pression atmosphérique entre Darwin et Tahiti... ».* Sur le littoral équatorien ces événements ont été perçus dès octobre 1982, en observant de pluies précoces dès la seconde quinzaine du mois, avec une intensité un peu inégale l'influence d'El Niño s'est étalée sur une année entière d'octobre 1982 à septembre 1983, avec un fort impact particulièrement sur la frange littoral, jusqu'à la latitude 0°30'N. Les anomalies de pluies provoquées par cet événement d'octobre 1982 à septembre 1983 dans le bassin versant de l'Esmeraldas correspondent à un excédent de 89% par rapport au cumul interannuel (période de 1963 – 2005) de pluie calculé sur la même période. De même, les anomalies de débit montrent un excédent d'écoulement de 94% pour le même événement sur la même période (Coutaud, 2008). Pour El Niño 1997-1998, qui présente des caractéristiques similaires (durée, intensité du SOI) au El Niño 1982-1983, ont été calculées des anomalies de pluie de 125 % et pour le débit des anomalies de 106% entre juin 1997 et janvier 1998 (Coutaud, 2008).

Il est aussi à noter qu'une étude récente (Rodbell et al., 1999) de données sédimentaires du Lac Pallacocha situé dans le sud-ouest de l'Equateur a permis de tracer les fluctuations des fortes précipitations sur les versants montagneux du lac (à priori associés à l'ENSO) sur près de 15000 ans. Selon cette étude, la périodicité dominante de l'époque antérieure à 6000 ans est supérieure à 15 ans. Au cours des 6000 dernières années, une périodicité plus courte comprise entre 3 et 8,5 ans serait apparue menant les auteurs à conclure que la périodicité actuellement observée du phénomène ENSO est une périodicité récente.

#### **4. Données et Méthodologie**

Les données des différents indices caractérisant les phénomènes ENSO sont issus des bases de données de la NOAA (Climate Prediction Center).

Les données mensuelles de pluie et de débits proviennent de la base de données du projet HYBAM (issue des réseaux hydrologique et météorologique de l'INAMHI et du projet HYBAM).

Les données de pluie couvrent une période de 45 ans (1960 à 2005) et celles de débit une période de 40 ans (1965 à 2005) avec quatre années de lacunes (1988-1989 et 1994-1995).

##### **4.1. Méthodologie.**

###### **a. L'analyse en composantes principales (ACP):**

Pour rechercher lesquels des indices caractérisant le phénomène ENSO expliquent le mieux les indices de pluie et de débits, nous avons utilisé l'analyse en composantes principales (ACP), une méthode factorielle d'analyse de données, qui permet d'explorer les liaisons entre les variables à



étudier dans leur ensemble, avec le but de connaître quelles sont celles qui sont très corrélées entre elles (Lagarde, 1983).

b. L'Analyse de la périodicité des séries:

Nous avons ensuite utilisé une série de méthodes telles que l'analyse spectrale et l'analyse en ondelettes pour étudier la périodicité des séries chronologiques (divers indices ENSO, indices de pluies et indices de débits). Nous noterons que nous avons traité en premier les données de débits car ceux-ci sont plus intégrateurs des réponses du bassin versant au phénomène ENSO (les pluies étant moins explicatives du fait de leur variabilité spatio-temporelle). Nous avons toutefois ensuite du traiter aussi les données de pluies pour compléter l'information manquante au niveau des débits : les pluies présentent en effet une série complète et continue de 45 ans alors que les débits, présentant quatre années de lacunes (1987-1988 et 1994-1995), nous avons été obligés de subdiviser la série de 40 ans en deux séries de 21 ans (1965-1986) et de 10 ans (1996-2005).

- L'Analyse spectrale:

L'analyse spectrale appliquée à des séries des données chronologiques (considérées alors comme des signaux) n'est pas autre que la transformée de Fourier, qui utilise la fonction sinusoïdale pour déplacer l'analyse des données du domaine temporel au domaine fréquentiel, en mettant en évidence des pics qui donnent des informations sur la régularité globale du signal.

Dans ce contexte, l'intérêt de cette analyse est tout d'abord de mettre en évidence la périodicité d'éventuels phénomènes ENSO (El Niño) et sa relation avec la périodicité des événements forts de pluie et de débit.

- L'Analyse en ondelettes :

L'analyse spectrale ne permet pas d'obtenir *une information localisée dans le temps*, c'est pourquoi nous avons utilisé l'analyse en ondelettes pour *replacer dans le temps* les phénomènes ENSO (El Niño) mis en évidence par l'analyse spectrale.

Les ondelettes sont une extension de l'analyse de Fourier qui permettent de mettre en évidence une évolution du spectre au cours du temps (Grossmann et Torresani, 2001), c'est à dire que c'est une représentation des signaux qui permet de faire apparaître simultanément des informations temporelles (localisation dans le temps, durée) et fréquentielles (amplitude, fréquence et la position temporelle d'un point spécifique) facilitant l'identification des caractéristiques physiques de la source du signal.

c. L'Analyse des corrélations:

Enfin, nous avons étudié au cas par cas les divers événements El Niño et La Niña de manière à chercher les meilleures corrélations entre les divers indices caractérisant les phénomènes ENSO et les épisodes de pluies et de débits qu'ils ont généré.

L'analyse des corrélations, dans notre cas, correspond donc, dans une première étape, au travail d'identification d'évènements El Niño et La Niña, en utilisant la distribution des valeurs positives ou négatives de chacun des indices utilisés pour caractériser les phénomènes ENSO. Les différentes recherches montrent qu'il y a une relation étroite entre le développement d'un Niño et la chute (valeurs négatives) du SOI (Pourrut, 1993) et une augmentation (valeurs positives) pour les indices des SST et du MEI. L'évolution de ces indices est dans le sens contraire pour un événement Niña. Les anomalies mesurées pour ces indices suivent une courbe Gaussienne en forme de cloche, c'est-à-dire que la majorité d'évènements Niño ou Niña se concentrent autour de la moyenne, 0 en ce cas, et que plus ils s'éloignent de cette moyenne et plus ils représentent des anomalies fortes.

L'étape suivante de cette analyse consiste, pour les événements ENSO identifiés dans la phase précédente, en la détermination du coefficient de corrélation entre les indices du phénomène ENSO et les indices de pluie et de débit calculés, pour le bassin versant total de l'Esmeraldas ainsi que pour ses deux principaux sous-bassins. Pour la recherche des corrélations, nous avons aussi calculé la corrélation entre les indices ENSO et les indices de pluie et de débit pour des décalages de deux à six mois.

Les indices de pluie et de débit ont été calculés, en suivant la formule:

$\frac{x_i - \bar{X}}{\sigma}$ ;  $X_i$ , valeur mensuelle;  $\bar{X}$ , Valeur moyenne;  $\sigma$ , écart type. (expression qui est connue comme la valeur standardisée, qui permet de savoir à combien d'écart type une observation se situe de la moyenne) de manière à avoir des données homogénéisées (indices ENSO, indices de pluie et de débits) pour pouvoir calculer les coefficients de corrélation.

## 5. Résultats

### 5.1. Analyse en Composants Principales (ACP):

L'ACP montre que les indices ENSO sont principalement expliqués par la composante F1 (79,95%), tandis que l'autre composante F2 représente 10,15 % correspondant respectivement aux indices SST 3, SST 3-4, MEI et aux indices SOI, SST 1+2, SST 4 (cf figure 2 a).

En ajoutant les indices de pluie (cf figure 3) et de débit (cf figure 2b) aux indices ENSO, on voit que le pourcentage de F1 diminue (par exemple de 79,95 % à 71,53% pour les débits) et le pourcentage de F2 augmente (de 10,15 % à 14,02%), une variation faible qui nous permet de montrer que les anomalies de pluies (les résultats obtenus pour les pluies sont similaires à ceux obtenus sur les débits) et de débits sont mieux corrélées avec les indices SST 1+2, SST 4 et de forme opposée avec le SOI.

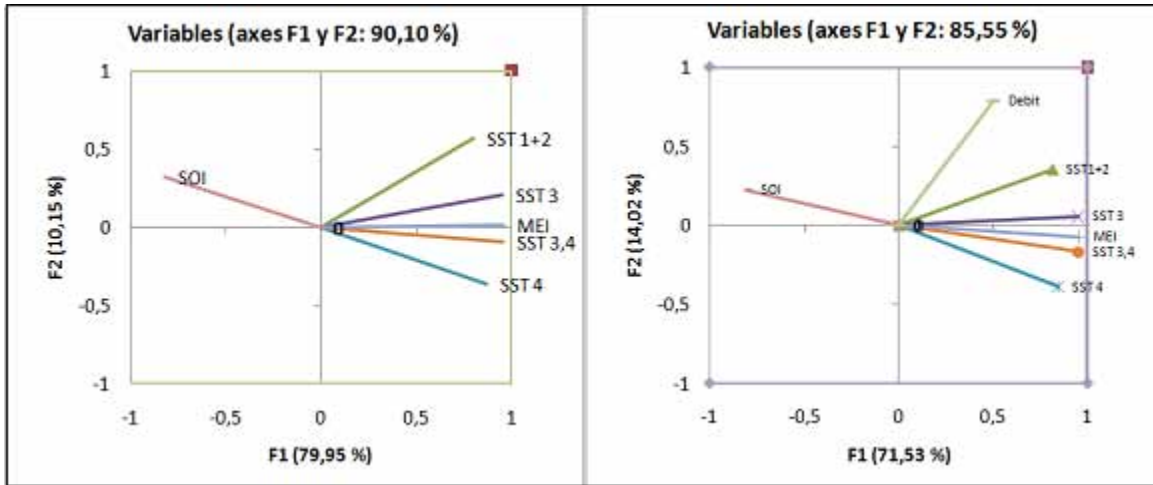


Fig. 2. Projection sur le plan des composantes principales des variables indices climatiques du phénomène ENSO et indices des débits pour la période 1965-1986.

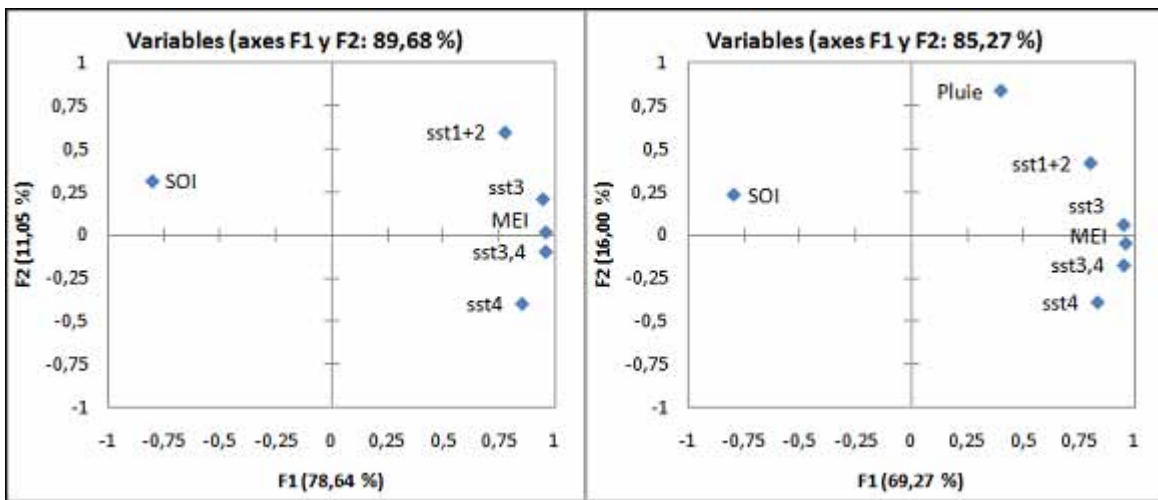


Fig. 3. Projection sur le plan des composantes principales des variables indices climatiques du phénomène ENSO et indices des pluies sur la période 1960-2005.

Dans les figures 4 à 6, nous avons représenté la variation temporelle des axes F1, F2 avec les indices des débits et des pluies, ce qui nous a permis de calculer un coefficient de corrélation entre le débit (période 1965-1986) et la composante F1 d'une valeur de 0,42 et avec la composante F2 de 0,34 avec un pourcentage de variance respectivement de 64,8% et 58,3%. Pour le débit de la période 1996-2005, le coefficient de corrélation avec F1 est de 0,36 et avec F2 est de 0,25 avec un pourcentage de variance de 60% et 50% respectivement. Et pour la pluie (période 1960-2005), le coefficient de corrélation est de 0,33 avec F1 et de 0,42 pour F2 avec un pourcentage de variance de 57% et 64% respectivement.

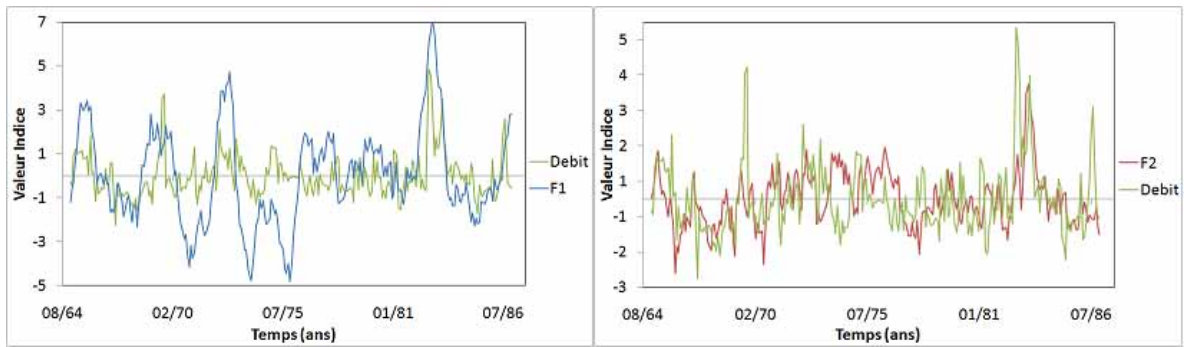


Fig. 4. Variation temporelle de F1, F2 et du débit (période 1965-1986).

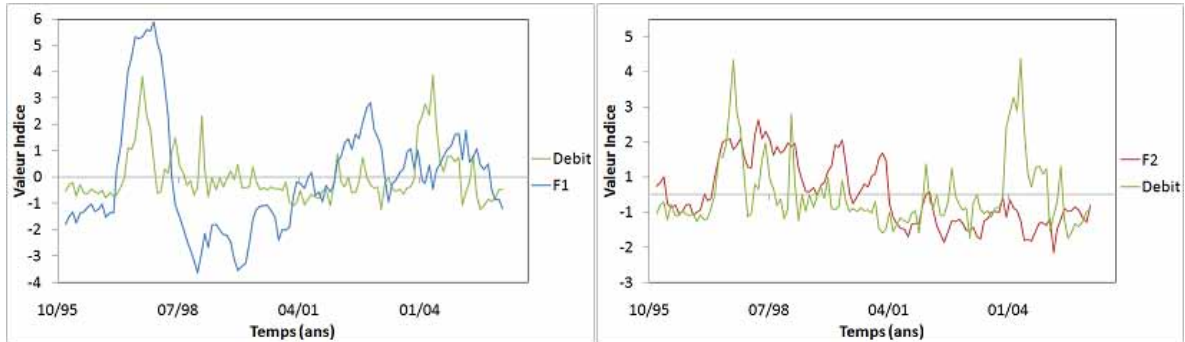


Fig. 5. Variation temporelle de F1 et F2 et du débit (période 1996-2005).

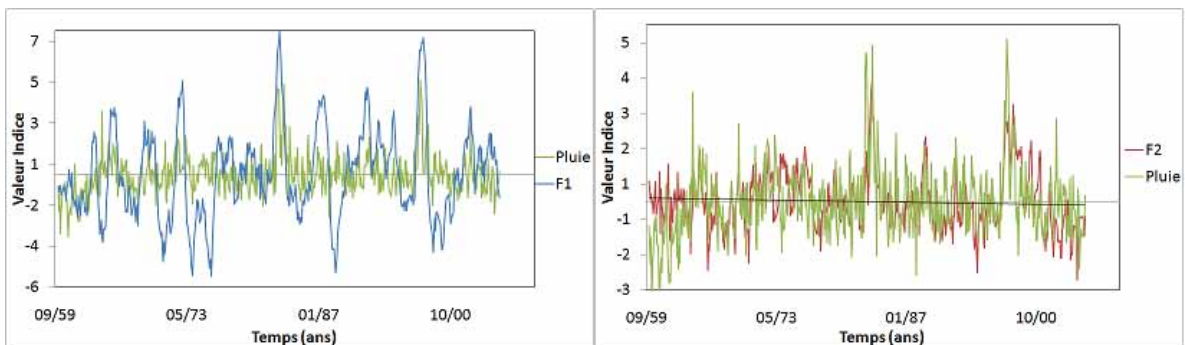
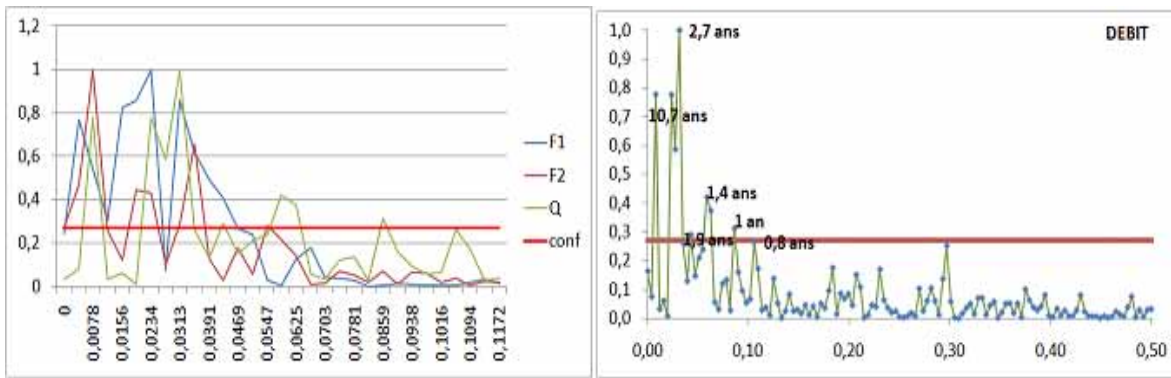


Fig. 6. Variation temporelle de F1, F2 et de la pluie (période 1960-2005).

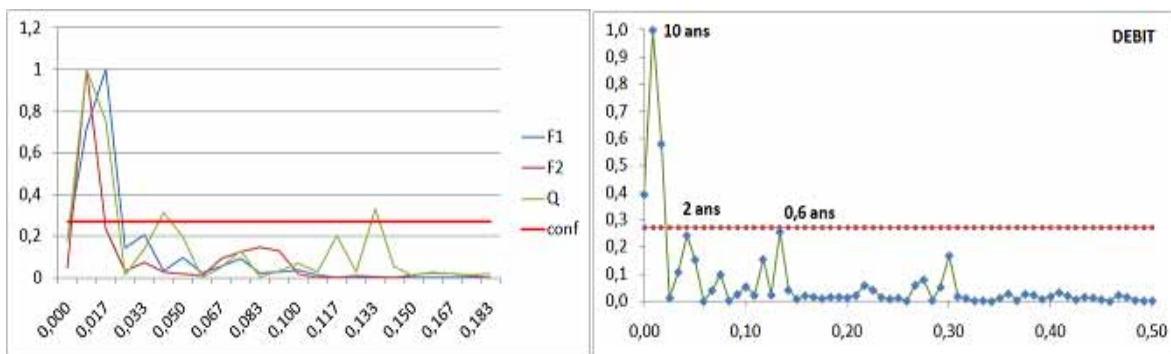
A la vue de ces résultats qui montrent des coefficients de corrélation relativement faibles entre les divers indices ENSO et les indices de pluie et de débit, nous concluons que pour l'étude d'un phénomène aussi complexe que l'ENSO, il est nécessaire d'analyser chaque indice de manière séparée pour mieux identifier, épisode par épisode, lequel des indices ENSO influence le plus les pluies et les débits.

## 5.2. Analyse Spectrale

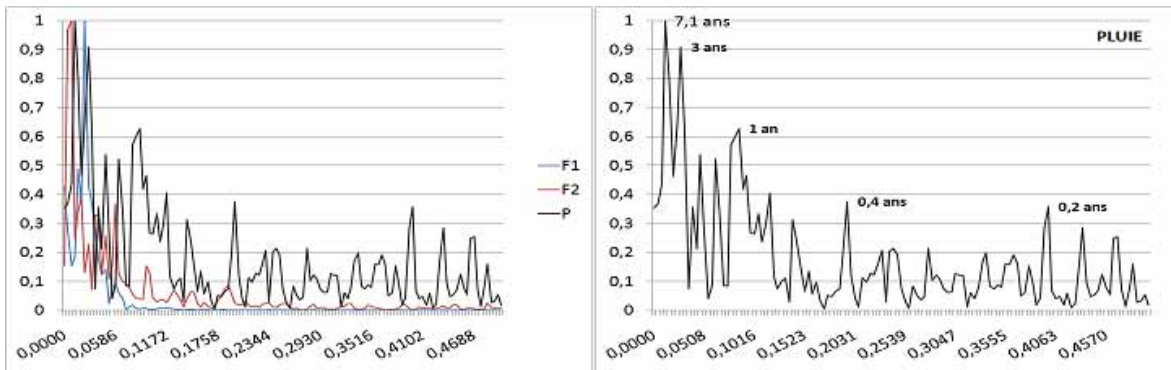
Les périodogrammes (cf figure 7 à 9) pour les signaux (pluie et débit), montrent à l'aide d'une valeur de confiance entre 80% et 90% (seuil 0,27) que les pics significatifs correspondent à une variation fréquentielle quasi biannuelle (2-3 années) et quasi décennale (10-12 années).



**Fig. 7.** Analyse de Fourier (Densité spectrale de puissance) des signaux F1, F2 et débits et périodogramme des débits pour la période 1965-1986.



**Fig. 8.** Analyse de Fourier (Densité spectrale de puissance) des signaux F1, F2 et des débits et périodogramme des débits pour la période 1996-2005.

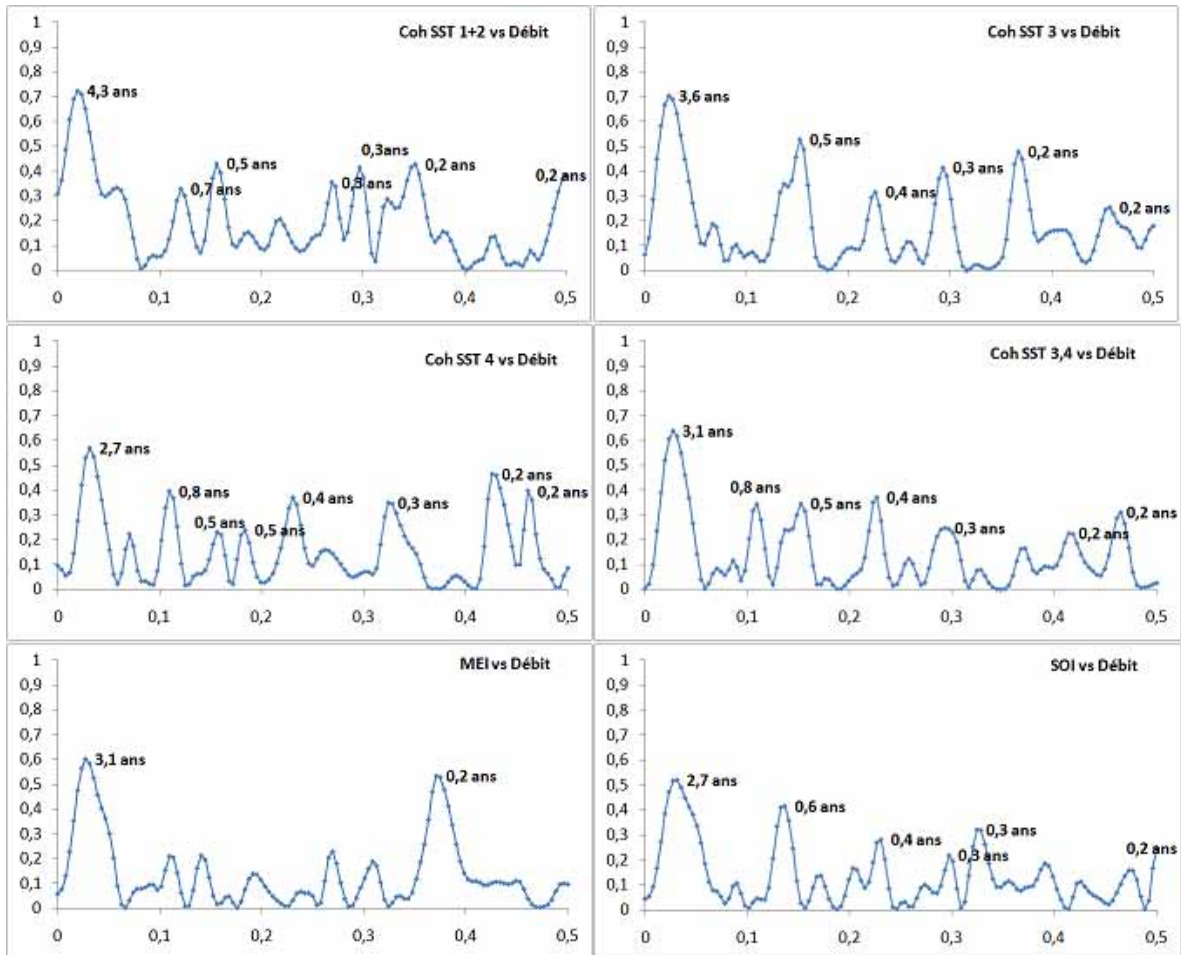


**Fig. 9.** Analyse de Fourier (Densité spectrale de puissance) des signaux F1, F2 et des pluies et périodogramme des pluies pour la période 1960-2005.

L'analyse de cohérence fréquentielle entre chacun des indices ENSO et les indices de pluies et des débits (figures 10 et 11), montre qu'en général, il existe une fréquence dominante : quasi-quadrennale (4-5 années) et quasi-biannuelle.

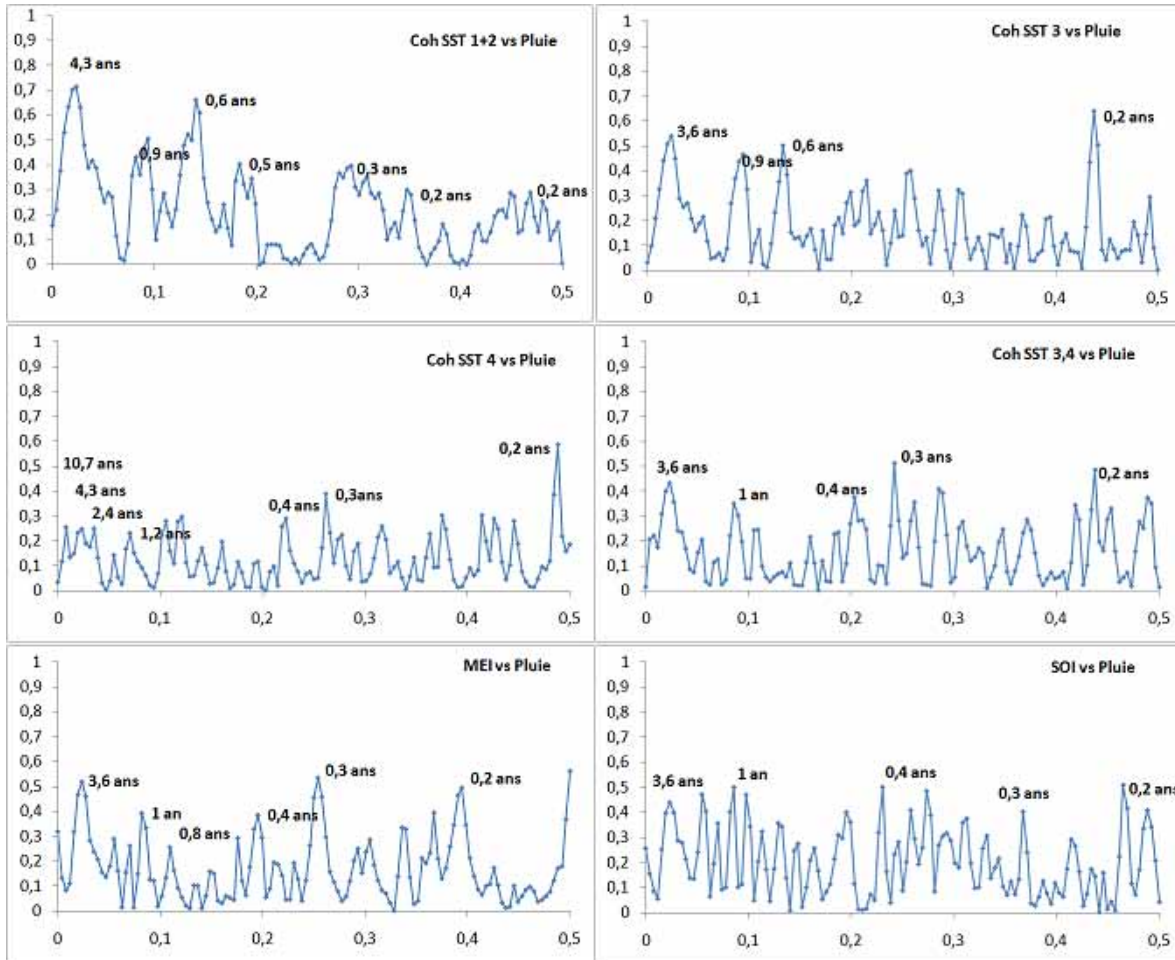
Cette même analyse montre aussi, sur une échelle comprise entre 0 et 1 que les indices SST 1+2 et SST 3, présentent la meilleure similitude fréquentielle (0,7) avec les indices de débits pour la première période 1965-1986 (cf figure 10), et nous notons aussi que la similitude fréquentielle

avec les autres indices ENSO reste supérieure à la valeur moyenne (0,5). Pour les débits de la deuxième période de 1996 à 2005, il n'y a pas une bonne similitude fréquentielle puisque toutes les valeurs sont inférieures à 0,4, mais cette faiblesse de cohérence fréquentielle peut être seulement attribuée au fait qu'une période de débits de 10 ans est trop courte par rapport à l'échelle du phénomène ENSO.



**Fig. 10.** Niveau de cohérence dans le plan spectral des indices ENSO et des indices de débits pour la période 1965-1986.





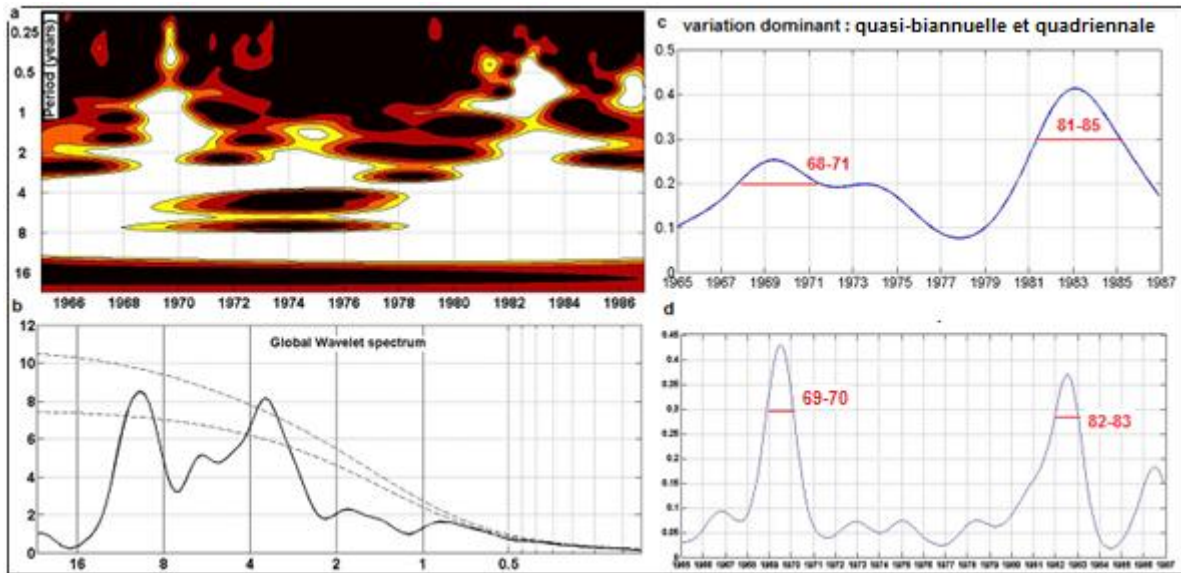
**Fig. 11.** Niveau de cohérence dans le plan spectral des indices ENSO et des indices de pluies pour la période 1960-2005.

Dans le cas de la pluie pour la période 1960-2005 (cf figure 11), celle-ci montre une similitude fréquentielle importante avec l'indice SST 1+2 (0,7) mais pas avec les autres indices ENSO qui présentent des valeurs de cohérence fréquentielle inférieures à 0,5.

### 5.3. Analyse en Ondelettes

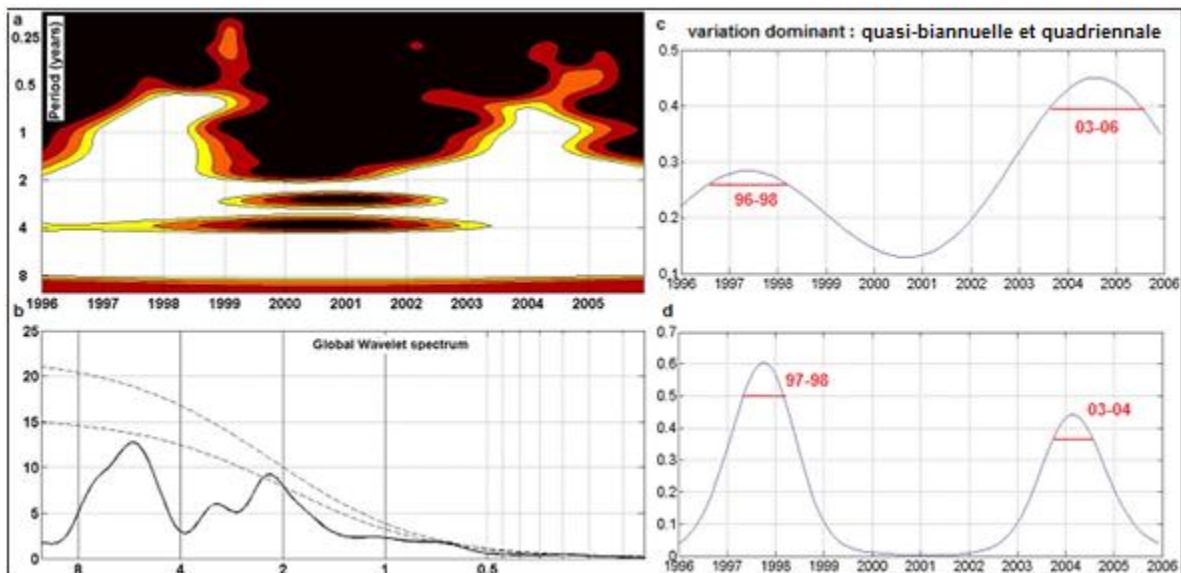
#### 5.3.1. Analyse en Ondelettes des débits

L'analyse en ondelettes au travers d'une bande comprise entre 2,5 - 4 ans et 1 an, nous a permis d'identifier que les années où se produisent les événements les plus forts sur le débit pour la période 1965-1986, sont les années 1969-1970 et 1982-1983 (cf figure 12a et 12d). Nous constatons aussi la présence d'événements forts pour cette période (intervalles de confiance à 80 et 90% : lignes en pointillés, fig.12(b)) situés dans les bandes de 2-4 ans et 8-16 ans, et nous permet de montrer que la variation fréquentielle des événements forts pour cette période est quasi quadriennale et quasi décennale.



**Fig. 12.** a) Ondelettes de débit (blanche présence d'événements; noir absence), b) spectre global des ondelettes, c) variation quasi quadrenniale et quasi décadal, d) localisation temporelle d'événements El Niño dans une bande d'un an pour la période 1965-1986.

Pour la deuxième période de débit (1996-2005), l'analyse en ondelettes au travers d'une bande comprise entre 2,5 - 4 ans et 1 ans, nous a permis d'identifier que les années où se produisent les événements les plus forts sur le débit pour cette période, sont les années 1997-1998 et 2003-2004 (cf figure 13c et 13d). Nous constatons aussi la présence d'événements forts pour cette période (légèrement hors de l'intervalle de confiance, lignes pointillées, fig.13b) situés dans les bandes de 2-4 ans et 4-8 ans, et nous permet de montrer que la variation fréquentielle des évènements forts pour cette période est quasi biannuelle et quasi quadrenniale.



**Fig. 13.** a) Ondelettes du débit, b) spectre global des ondelettes, c) variation quasi-biannuelle et quadrenniale, d) localisation temporelle d'événements El Niño dans une bande d'un an pour la période 1996-2005.



### 5.3.2. Analyse en Ondelettes des pluies

Pour la période 1960-2005, la distribution des pluies au niveau mensuel (cf figure 14) et le spectre global des ondelettes (pic annuel, cf figure 15b) nous montrent le régime annuel des précipitations sur le bassin versant de l'Esmeraldas (comme nous l'avons noté dans le & 2, une saison des pluies de décembre à mai et une saison sèche de juin à novembre).

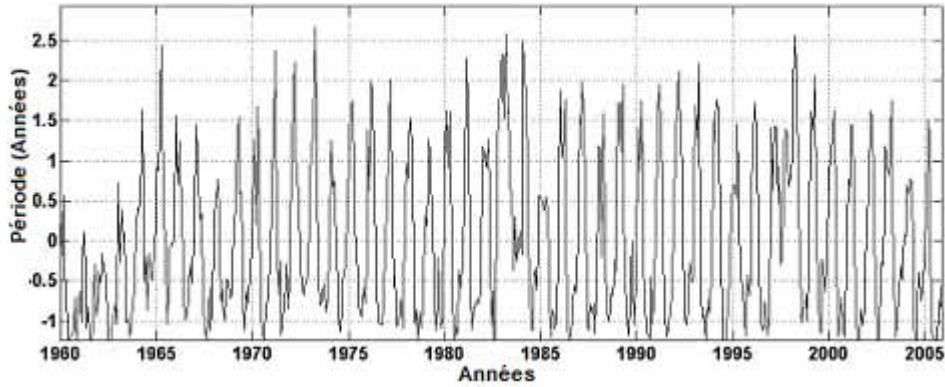


Fig. 14. Périodicité annuelle de la pluie dans le spectre d'ondelettes à échelle mensuelle pour la période 1960 - 2005.

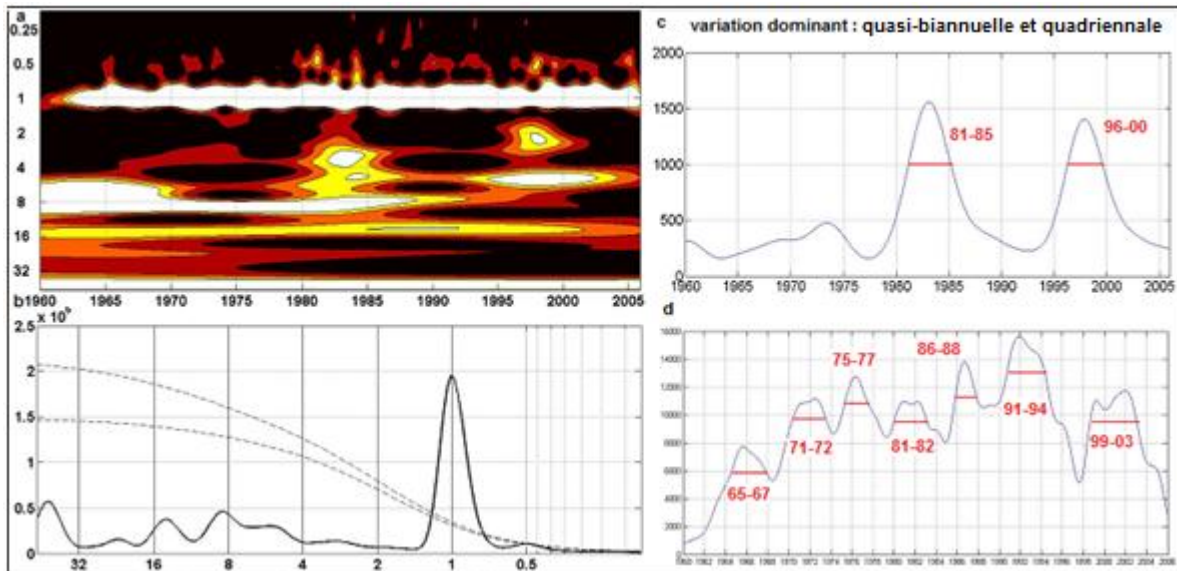
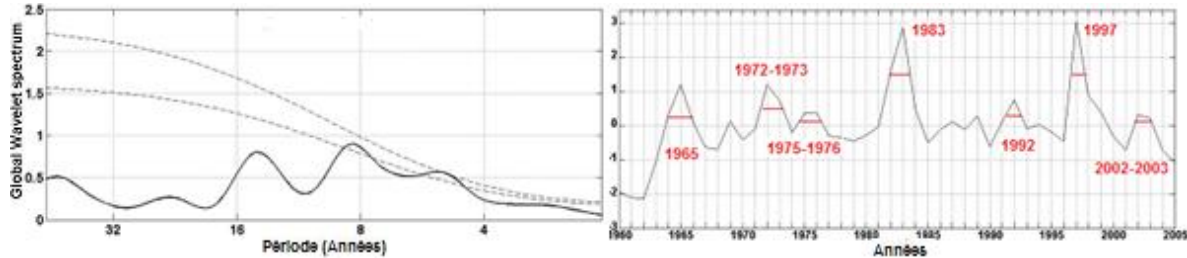


Fig. 15. a) Ondelettes de la pluie, b) spectre global des ondelettes, c) variation quasi-biennale et quadriennale, d) localisation temporelle dans une bande d'un an d'événements El Niño pour la période 1960-2005.

La périodicité dominante d'événements forts de pluie étant annuelle (fig.15 (b)), nous avons donc du, pour discerner des événements de magnitudes plus fortes que celles du régime normal annuel, utiliser les mêmes bandes temporelles que pour les débits (soit 2,5-4 années et 1 an), et nous avons ainsi pu identifier plusieurs événements dans la bande d'un an qui correspondent aux années 1965-1967, 1971-1972, 1975-1977, 1981-1982, 1986-1988, 1991-1994, 1999-2003.

Afin d'étudier plus précisément ces épisodes forts de pluies liés à l'ENSO, et compte-tenu du fait qu'un seul pic annuel est mis en évidence dans le spectre global des ondelettes des pluies mensuelles (cf figure 15b), nous avons donc changé l'échelle de traitement des données pour l'analyse en ondelettes en passant des données mensuelles aux annuelles (cf fig. 16).



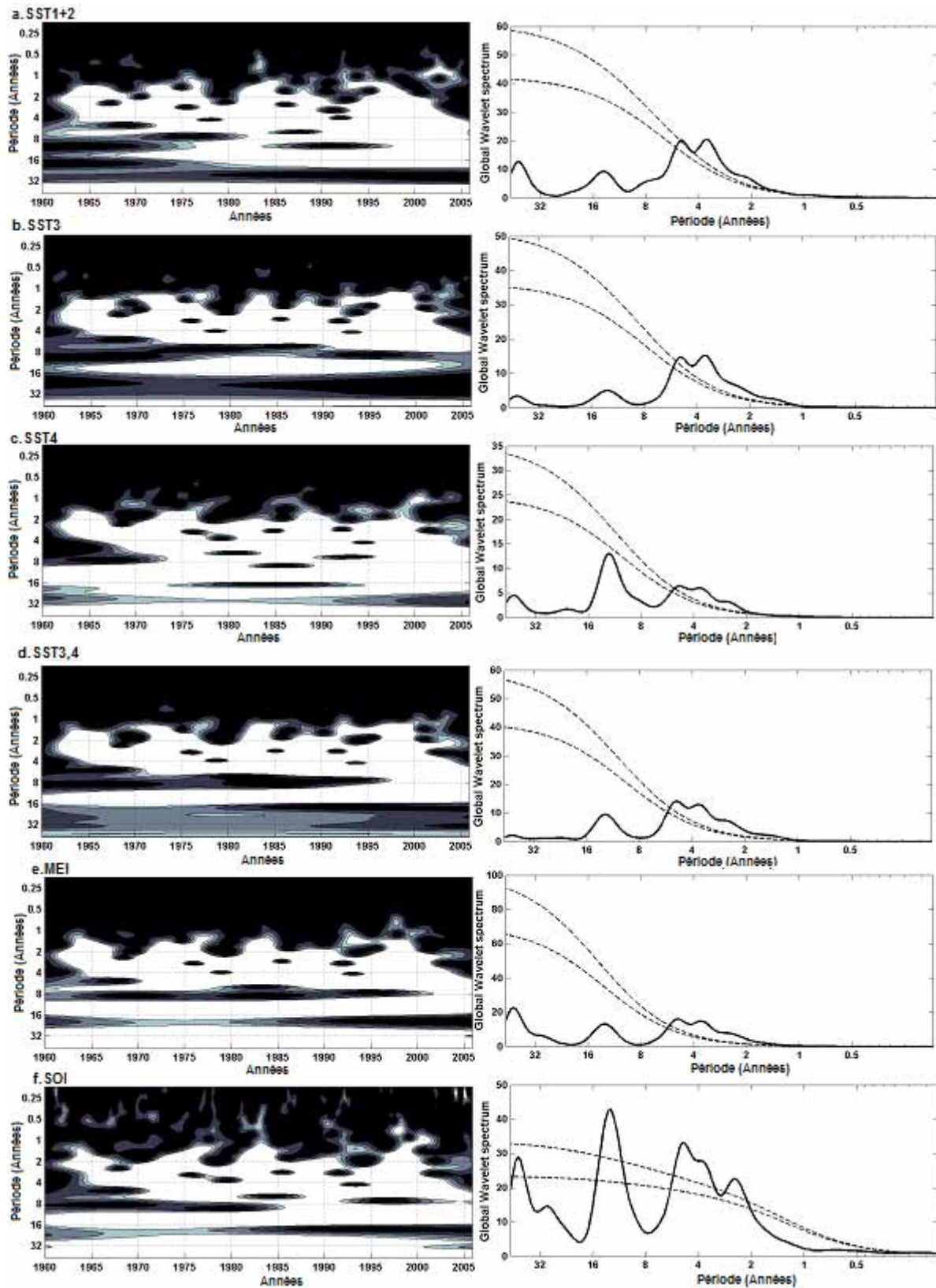
**Fig. 16.** a) spectre global des ondelettes ; b) localisation temporelle dans une bande d'un an d'événements El Niño pour la période 1960-2005 (données annuelles).

Nous avons ainsi pu noter que les variations fréquentielles sont quasi quadriennales ou six annuel et quasi octo annuel (cf fig. 16a), et pu mettre en évidence les deux évènements forts de 1982-1983 et 1997-1998, accompagnés d'autres évènements moins intenses cités ci-dessus dans les années 1965, 1969, 1972-1973, 1975-1976, 1992-1993 et 2002-2003 (cf fig. 16b).

Nous noterons de plus que dans le cas des sous-bassins du Blanco et du Guayllabamba, pour la même période de pluie, la variation fréquentielle est similaire à celle du bassin total (cf Annexe 1).

### 5.3.3. Analyse en Ondelettes des indices ENSO

Pour définir la relation de périodicité des évènements forts de débit et de pluie avec les phénomènes ENSO, nous présentons (cf figure 17) les ondelettes et les spectres globaux des indices ENSO pour la période 1960-2005.



**Fig. 17.** Ondelettes et spectre global des ondelettes des indices ENSO pour la période 1960-2005: a) SST 1+2, b) SST3, c) SST4, d) SST 3-4, e) MEI, f) SOI.

Tous les spectres des ondelettes des indices ENSO que nous avons obtenus montrent que les événements ENSO sont placés dans les bandes temporelles de 2-4, 4-8 et 8-16 années : ces résultats obtenus sur les indices ENSO sont concordants avec ceux d'autres auteurs (Diaz et Markgraf, 2000) qui ont montré que la périodicité du phénomène ENSO présente trois modes dominants de variation fréquentielle: décadal, quasi-quadrinial et quasi-biannuel.

Ils précisent de plus que les deux derniers modes sont dominants dans la ZCI (Zone de Convergence Intertropicale) où est situé notre bassin d'étude et les résultats que nous avons obtenus à partir de tous les spectres des ondelettes des indices de pluies et de débits confirment aussi ces conclusions obtenues sur les indices ENSO. En effet, à partir de l'étude des indices de pluies et de débits, nous avons mis en évidence sur notre bassin versant que les événements ENSO sont placés dans les bandes temporelles de 2-4 et 4-8 années.

#### 5.4. Analyse de Corrélation

Les différents indices ENSO, montrent que plusieurs événements se sont produits au cours du dernier siècle. Entre 1960 et 2005 les événements El Niño les plus importants sont ceux de 1963, 1969, 1972/1973, 1976/1977, 1982/1983, 1986/1987 et 1991/1992 (Diaz et Markgraf, 2000).

Kiem et Franks (2001) mentionnent trois méthodes que quelques auteurs ont utilisé pour identifier les événements ENSO. La première méthode considère les années où la valeur du SOI se situe au dessus ou en dessous de la valeur moyenne standardisée (moins la moyenne divisée par l'écart type) pendant une durée d'un minimum de 5 mois consécutifs. La deuxième méthode considère les années où la moyenne des 12 mois (année hydrologique) du SOI est inférieure à -0,5 ou supérieure à 0,5. La troisième méthode considère les années où les anomalies de SST Niño 3 sont continues à long terme au dessus ou au dessous de la valeur moyenne standardisée. Rossel (1996) utilise aussi une autre méthode pour identifier les années ENSO en Equateur, cette méthode considère les années où les anomalies de la température de surface de l'Océan du bloc Niño 1+2 sont positives ou négatives (supérieures ou inférieures à la valeur moyenne standardisée) pendant quatre mois consécutifs ou plus.

Pour notre étude, pour identifier les phénomènes ENSO, nous avons utilisé la première et la dernière méthode mentionnée par Kiem et Franks et la méthode indiquée par Rossel, en l'appliquant aux six indices ENSO mentionnés précédemment. De manière générale, coïncidant avec les résultats généralement obtenus dans la littérature, nous avons bien constaté que les événements El Niño que nous avons identifiés impliquent bien un excédent des pluies et des débits et que La Niña implique bien un déficit des pluies et des débits (comportements normaux), mais nous avons aussi constaté qu'il existe aussi des cas où quand le SOI est positif (et SST est négatif), cela n'implique pas forcément un excédent des pluies et des débits (comportements inverses), et de même, qu'il existe d'autres cas où il n'y a pas d'anomalie de pluie ou de débit quand le SOI présente des valeurs négatives significatives et que les SST et MEI présentent des valeurs positives significatives (incertitude). Les mêmes cas ont pu aussi être constatés pour La Niña.

Les tableaux 1 (El Niño) et 2 (La Niña) présentent un exemple d'épisodes ENSO correspondants aux diverses relations existantes (comportement normal, comportement inverse, incertitude) et corrélations mises en évidence lors de l'analyse de corrélation (l'ensemble des résultats de corrélation pour tous les épisodes ENSO identifiés sur la période 1960-2005 figurent dans l'Annexe 2).

Nous pouvons par exemple constater que, pour les événements El Niño, au niveau de ces relations entre les indices ENSO et les indices de pluie et de débit, qu'il y a bien concordance (comportement normal) pour 1981-1982 (qui a été l'un des épisodes les plus importants), mais qu'il n'y a pas de concordance pour 1963-1964 (comportement inverse) et qu'il y a une incertitude pour 1990-1992. De même pour les événements La Niña, nous avons pu par exemple constater qu'il y a une bonne concordance pour 1995-1997 (comportement normal) mais pas de concordance pour 1964-1965 (comportement inverse) et une incertitude pour 1970-1972.

**Tableau 1.** Analyse des relations et des corrélations entre les indices ENSO et les indices de pluie et de débit pour quelques événements EL Niño.

Épisode	Indices ENSO	Période El Niño	Nbre mois	Moy.	Max.	Moy.	Max.	% Anom	R <sup>2</sup> I.E vs I.P.	Moy.	Max.	% Anom	R <sup>2</sup> I.E. vs I.D.	Observation
				Indice ENSO (I.E)		Indice de Pluie (I.P)				Indice de Débit (I.D)				
1963-1964	SOI	juin 63-févr64	9	-1,38	-2,70	-0,45	0,32	-21	0,17					Comportement inverse
	SST1+2	juill63-nov63	5	0,36	0,69	-0,40	-0,07	-26	0,52					
	SST3	juill63-janv64	7	0,69	0,97	-0,39	0,32	-14	0,57					
	SST4	juill63-févr64	8	0,38	0,65	-0,39	0,32	-17	0,02					
	SST3,4	juin63-févr64	9	0,79	1,11	-0,45	0,32	-21	0,59					
	MEI	juill63-févr64	8	0,71	0,95	-0,39	0,32	-17	0,01					
1981-1983	SOI	avr82-avr83	13	-3,85	-7,60	1,36	4,22	53	0,18	1,49	4,93	59	0,20	Comportement normal
	SST1+2	juill82-déc83	18	2,27	4,49	1,86	4,44	82	0,40	1,67	4,93	76	0,49	
	SST3	avr82-sépt83	18	1,65	3,31	1,74	4,44	69	0,20	1,66	4,93	65	0,39	
	SST4	oct81-juill83	22	0,53	1,12	1,21	4,44	44	0,05	1,22	4,93	47	0,07	
	SST3,4	déc81-juin83	19	1,25	2,85	1,19	4,22	44	0,42	1,27	4,93	47	0,45	
	MEI	mai82-oct83	18	1,87	3,10	1,77	4,44	76	0,07	1,65	4,93	70	0,18	
1990-1992	SOI	févr91-avr92	15	-2,29	-5,60	0,29	1,22	15	0,02	-0,10	1,08	-1	0,02	4 indices montrent un événement pour la pluie et 2 pour le débit
	SST1+2	mai91-juill92	15	0,69	2,34	0,31	1,81	19	0,02	0,03	1,08	4	0,02	
	SST3	mai91-juin92	14	0,95	1,44	0,34	1,81	19	0,02	0,01	1,08	4	0,02	
	SST4													
	SST3,4	janv90-juill92	31	0,68	1,94	0,06	1,81	6	0,02	-0,26	1,08	-8	0,02	
	MEI													

**Tableau 2.** Analyse des relations et des corrélations entre les indices ENSO et les indices de pluie et de débit pour les événements La Niña.

Épisode	Indices ENSO	Période La Niña	Nbre mois	Moy.	Max.	Moy.	Max.	% Anom	R <sup>2</sup> I.E vs I.P.	Moy.	Max.	% Anom	R <sup>2</sup> I.E. vs I.D.	Observation
			Indice ENSO (I.E)		Indice de Pluie (I.P)					Indice de Débit (I.D)				
1964-1965	SOI	juin64-nov64	6	1,33	2,30	0,91	0,08	50	0,14					Comportement inverse
	SST1+2	déc63-fév65	15	-1,00	-2,38	0,18	-1,11	1	0,00					
	SST3	févr64-mars65	14	-0,83	-1,66	0,27	-1,11	4	0,03					
	SST4	mars64-mai65	15	-0,55	-1,36	0,46	-1,11	13	0,01					
	SST3,4	mai64-févr65	12	-0,75	-1,19	0,32	-1,11	5	0,04					
MEI	mars64-mars65	13	-0,93	-1,54	0,36	-1,11	7	0,14						
1970-1972	SOI	août70-mars72	20	1,61	3,40	0,01	-1,37	3	0,02	-0,02	-1,19	-1	0,13	Incertitude
	SST1+2	fév70-déc71	23	-1,06	-2,15	-0,15	-1,52	-5	0,03	-0,18	-1,19	-7	0,04	
	SST3	mars70-mars72	25	-0,89	-1,71	-0,05	-1,52	0	0,03	-0,11	-1,19	-4	0,01	
	SST4	juin70-janv72	20	-0,73	-1,42	-0,16	-1,37	-6	0,09	-0,09	-1,19	-4	0,04	
	SST3,4	mai70-mars72	22	-0,82	-1,84	-0,01	-1,37	2	0,04	-0,04	-1,19	-1	0,00	
MEI	avr70-avr72	25	-1,04	-1,85	0,00	-1,37	2	0,07	-0,10	-1,19	-4	0,01		
1995-1997	SOI	mars96-fév97	12	0,99	2,60	-0,29	-1,05	-10	0,00	-0,76	-1,02	-29	0,20	Comportement normal
	SST1+2	mars95-fév97	24	-0,85	-1,77	-0,16	-1,09	-7	0,07	-0,54	-1,02	-43	0,14	
	SST3	mars95-mars97	25	-0,55	-0,93	-0,14	-1,09	-6	0,00	-0,55	-1,02	-41	0,00	
	SST4	août95-nov96	16	-0,18	-0,43	-0,20	-1,09	-8	0,11	-0,53	-0,95	-23	0,07	
	SST3,4	mai95-mars97	23	-0,41	-0,93	-0,12	-1,09	-5	0,00	-0,55	-1,02	-31	0,02	
MEI	sept95-mars97	19	-0,36	-0,62	-0,22	-1,09	-7	0,05	-0,66	-1,02	-26	0,02		

A partir de cette méthode d'identification des événements ENSO à partir des divers indices ENSO, nous avons pu constater que les coefficients de corrélations entre indices ENSO et indices de pluie et de débits calculés sur l'ensemble des périodes ENSO identifiées restent inférieurs à 0,6 (voir Annexe 2). Pour affiner ces corrélations, nous avons identifié au sein de ces mêmes périodes (identifiées précédemment à partir des valeurs des indices ENSO) des périodes à partir des valeurs des indices de pluies et de débits (valeurs positives ou négatives consécutives de plus de cinq mois). L'ensemble des périodes identifiées est présenté en Annexe 3. Les tableaux 3 et 4 (El Niño) puis 5 et 6 (La Niña) présentent le récapitulatif, pour l'ensemble des périodes ENSO identifiées, des valeurs des coefficients de corrélation obtenus soit par l'identification à partir des indices ENSO, soit par les indices de pluies et de débits.

**Tableau 3.** Corrélation et pourcentage d'anomalies des événements ENSO (El Niño) entre Indices ENSO et Indices de pluie.

Épisode	1964						1965-1966						1972-1973					
Indices ENSO	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> *							0,17	0,00	0,19	0,02	0,00	0,02	0,11	0,15	0,01	0,15	0,01	0,09
%Anom*							17	40	21	13	18	21	21	22	19	23	19	29
R <sup>2</sup> **	0,14	0,22	0,22	0,01	0,03	0,58	0,06	0,00	0,04	0,04	0,05	0,04	0,00	0,00	0,05	0,03	0,07	0,00
%Anom**	87						40						33					
Épisode	1974-1975						1982-1983						1991-1992					
Indices ENSO	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup>	0,29	0,00	0,06	0,17	0,26	0,27	0,18	0,40	0,20	0,05	0,42	0,07	0,02	0,02	0,02		0,02	
%Anom*	-2	9	10	6	11	8	53	82	69	44	44	76	15	19	19		6	
R <sup>2</sup>	0,04	0,16	0,05	0,76	0,10	0,06	0,05	0,31	0,28	0,27	0,18	0,10	0,19	0,30	0,02	0,15	0,02	0,35
%Anom	20						87						30					

Épisode	1993-1994						1997-1998						2003					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> *	0,08	0,03	0,07	0,01	0,01		0,04	0,47	0,18	0,14	0,15	0,09	0,00	0,07	0,21		0,02	0,02
%Anom*	2	2	6	6	4		56	56	65	46	65	69	12	14	13		12	7
R <sup>2</sup> **	0,00	0,06	0,03	0,02	0,10	0,12	0,01	0,32	0,22	0,01	0,15	0,25	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,17
%Anom**	17						54						20					

(\*) Coefficient de corrélation et pourcentage des anomalies entre les indices ENSO et les indices de pluie dans la période identifiée à partir des Indices ENSO.

(\*\*) Coefficient de corrélation et pourcentage des anomalies entre les indices ENSO et les indices de pluie dans la période identifiée à partir de l'indice de pluie.

**Tableau 4.** Corrélation et pourcentage d'anomalies des événements ENSO (El Niño) entre Indices ENSO et Indices de débits

Épisode	1965-1966						1972-1973						1974-1976					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> *	0,46	0,11	0,17	0,17	0,00	0,07	0,03	0,50	0,32	0,03	0,14	0,00	0,10	0,04	0,00	0,06	0,12	0,10
%Anom*	15	43	27	11	19	27	28	22	22	20	22	31	-8	6	7	4	7	5
R <sup>2</sup> **	0,10	0,39	0,01	0,13	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,08	0,17	0,17	0,11
%Anom**	33						30						15					
Épisode	1982-1983						1992-1993						1997-1998					
Indices ENSO	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> *	0,20	0,49	0,39	0,07	0,45	0,18	0,02	0,02	0,02		0,02		0,05	0,33	0,45	0,35	0,44	0,03
%Anom*	59	76	65	47	47	70	-1	4	4		-8		26	25	29	14	29	32
R <sup>2</sup> **	0,05	0,31	0,28	0,27	0,18	0,10	0,14	0,36	0,40	0,23	0,44	0,29	0,01	0,27	0,15	0,16	0,14	0,16
%Anom**	87						19						40					
Épisode	2004																	
Indices ENSO	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI												
C.corre*	0,01		0,22	0,02	0,02	0,02												
%Anom*	6		12	3	18	16												
C.corre-	0,20	0,05	0,34	0,64	0,71	0,42												
%Anom	75																	

(\*\*) Coefficient de corrélation et pourcentage des anomalies entre les indices ENSO et les indices de débit dans la période identifiée à partir de l'indice de débit.

**Tableau 5.** Corrélation et pourcentage d'anomalies des événements ENSO (La Niña) entre Indices ENSO et Indices de pluie.

Épisode	1961-1963						1967-1968						1973-1974					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> *	0,05	0,07	0,09	0,09	0,05	0,17		0,30	0,25		0,26	0,25	0,29	0,00	0,06	0,17	0,26	0,27
%Anom*	-36	-47	-47	-50	-48	-47		-15	-15		-17	-18	-2	9	10	6	11	8
R <sup>2</sup> **	0,03	0,34	0,14	0,13	0,15	0,35	0,00	0,38	0,23	0,20	0,29	0,18	0,20	0,01	0,11	0,12	0,15	0,16
%Anom**	-44						-29						-18					
Épisode	1978-1979						1980						1996					
Indices ENSO	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> *													0,00	0,07	0,00	0,11	0,00	0,05
%Anom*													-10	-7	-6	-8	-5	-7
R <sup>2</sup> **	0,01	0,07	0,21	0,14	0,17	0,00	0,44	0,05	0,06	0,01	0,00	0,06	0,06	0,01	0,49	0,09	0,27	0,03
%Anom**	-20						-31						-41					

Épisode	2001-2002						2005					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> *		0,08	0,02									
%Anom*		-33	-26									
R <sup>2</sup> **	0,00	0,08	0,16	0,02	0,52	0,09	0,27	0,43	0,49	0,15	0,50	0,62
%Anom**	-33						-60					

**Tableau 6.** Corrélation et pourcentage d'anomalies des évènements ENSO (La Niña) entre Indices ENSO et Indices de débit.

Épisode	1967-1969						1973-1974						1976-1977					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> *		0,18	0,17		0,28	0,11	0,10	0,04	0,00	0,06	0,12	0,10						
%Anom*		-21	-24		-24	-26	-8	6	7	4	7	5						
R <sup>2</sup> **	0,05	0,15	0,20	0,04	0,17	0,23	0,14	0,20	0,11	0,08	0,10	0,00	0,14	0,00	0,06	0,03	0,08	0,02
%Anom**	-33						-23						-15					
Épisode	1980-1981						1985						1989-1991					
Indices ENSO	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> *								0,19	0,01	0,00	0,09	0,00						
%Anom*								-8	-11	-1	-2	-18						
R <sup>2</sup> **	0,05	0,00	0,05	0,16	0,04	0,03	0,26	0,07	0,22	0,39	0,49	0,07	0,22	0,15	0,15	0,12	0,15	0,62
%Anom**	-32						-29						-20					
Épisode	1993-1994						1995-1997						2000-2002					
Indices ENSO	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> *							0,20	0,14	0,00	0,07	0,02	0,02		0,14	0,00			
%Anom*							-29	-43	-41	-23	-31	-26		-47	-39			
R <sup>2</sup> **	0,05	0,09	0,05	0,42	0,05	0,06	0,20	0,22	0,11	0,00	0,01	0,15	0,02	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00
%Anom**	-32						-24						-29					
Épisode	2002-2003						2005											
Indices ENSO	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI						
R <sup>2</sup> *																		
%Anom*																		
R <sup>2</sup> **	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,06	0,01	0,60	0,52	0,63	0,46						
%Anom**	-22						-53											

Nous n'avons pas pu constater de différence significative entre les valeurs des coefficients de corrélation calculées à partir des deux méthodes d'identification des évènements ENSO.

Par contre la seconde méthode nous a permis d'extraire les mêmes évènements El Niño et La Niña, que ceux identifiés avec l'analyse spectrale qui présentent des caractéristiques de variation fréquentielle dans les bandes temporelles 2-4 et 4-8 ans et nous avons ainsi pu préciser leur position dans le temps et la concordance temporelle entre les indices ENSO et les indices de pluies et de débits ; cf figures 18 et 19) et aussi quantifier les anomalies de pluies et de débits (cf tableaux 4 à 6) qu'ils ont induites.



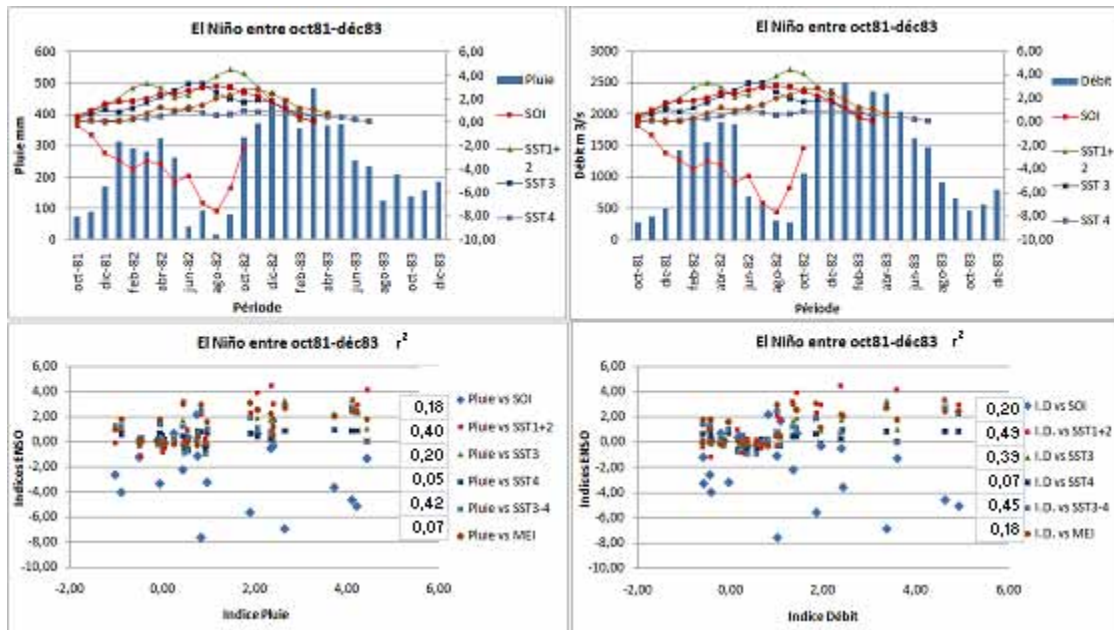


Fig. 18. El Niño 1982-1983 identifié à partir des indices ENSO : Variation temporelle des indices ENSO et des pluies et des débits et coefficients de corrélation entre indices ENSO et indices de pluie et de débits.

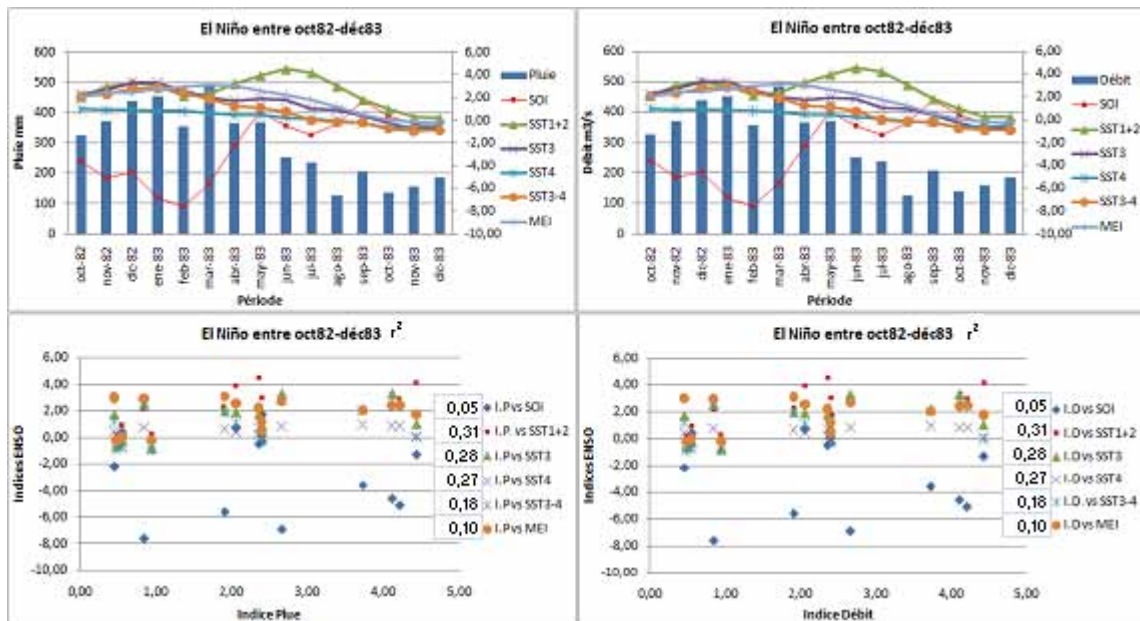


Fig. 19. El Niño 1982-1983 identifié à partir des indices de pluie et de débits : Variation temporelle des indices ENSO et des pluies et des débits et coefficients de corrélation entre indices ENSO et indices de pluie et de débits.

Nous avons ensuite étudié les corrélations (cf tableaux 7 à 10) sur les sous-bassins versants entre les indices ENSO et les indices de pluie (1960-2005) pour faire la comparaison avec le bassin total (cf carte de la figure 1).

**Tableau 7.** Corrélation et pourcentage d'anomalies des événements ENSO (El Niño) entre Indices ENSO et Indices de pluie du sous-bassin versant du Blanco.

Épisode	1965-1966						1972-1973						1974-1975					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> **	0,00	0,00	0,22	0,13	0,20	0,17	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,02	0,12	0,66	0,51	0,39
%Anom**	43						46						22					
Épisode	1976						1982-1983						1991-1992					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> **	0,57	0,15	0,25	0,57	0,36	0,23	0,02	0,22	0,16	0,16	0,08	0,02	0,17	0,38	0,00	0,33	0,06	0,55
%Anom**	30						103						36					
Épisode	1997-1998						2003											
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI						
R <sup>2</sup> **	0,01	0,39	0,24	0,02	0,17	0,25	0,28	0,69	0,83	0,38	0,59	0,12						
%Anom**	90						37											

**Tableau 8.** Corrélation et pourcentage d'anomalies des événements ENSO (La Niña) entre Indices ENSO et Indices de pluie du sous-bassin versant du Blanco.

Épisode	1961-1963						1967-1968						1973-1973					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> **	0,02	0,30	0,13	0,13	0,15	0,34	0,01	0,34	0,18	0,10	0,25	0,17	0,41	0,05	0,21	0,25	0,29	0,37
%Anom**	-48						-36						-24					
Épisode	1977						1978-1979						1980					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> **	0,16	0,08	0,05	0,01	0,03	0,00	0,08	0,02	0,01	0,00	0,00	0,08	0,40	0,05	0,07	0,03	0,00	0,10
%Anom**	-33						-28						-31					
Épisode	1986						1996						2005					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> **	0,58	0,75	0,67	0,76	0,82	0,62	0,09	0,01	0,23	0,07	0,13	0,05	0,51	0,83	0,52	0,30	0,41	0,78
%Anom**	-10						-38						-63					

**Tableau 9.** Corrélation et pourcentage d'anomalies des événements ENSO (El Niño) entre Indices ENSO et Indices de pluie du sous-bassin versant du Guayllabamba.

Épisode	1965						1972-1973						1974-1975					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> **	0,01	0,23	0,00	0,00	0,01	0,01	0,18	0,10	0,25	0,31	0,32	0,31	0,56	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01
%Anom**	49						11						28					
Épisode	1981-1981						1982-1983						1984-1985					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> **	0,00	0,01	0,61	0,51	0,78	0,17	0,09	0,07	0,20	0,21	0,20	0,10	0,02	0,19	0,13	0,34	0,16	0,11
%Anom**	26						61						24					
Épisode	1988						1993-1994						1999-2000					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> **	0,14	0,59	0,44	0,49	0,73	0,54	0,04	0,21	0,30	0,13	0,00	0,01	0,59	0,14	0,02	0,83	0,29	0,47
%Anom**	37						25						20					

**Tableau 10.** Corrélacion et pourcentage d'anomalies des événements ENSO (La Niña) entre Indices ENSO et Indices de pluie du sous-bassin versant du Guayllabamba.

Épisode	1961-1963						1967-1968						1978-1979					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> **	0,04	0,11	0,12	0,05	0,10	0,04	0,08	0,77	0,12	0,51	0,10	0,10	0,06	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
%Anom**	-41						-16						-21					
Épisode	1980						1986						2000-2002					
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI
R <sup>2</sup> **	0,37	0,05	0,04	0,10	0,01	0,02	0,19	0,81	0,64	0,86	0,71	0,64	0,00	0,00	0,03	0,07	0,09	0,04
%Anom**	-31						-17						-36					
Épisode	2003-2004						2005											
	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI	SOI	SST1+2	SST3	SST4	SST3,4	MEI						
R <sup>2</sup> **	0,13	0,49	0,28	0,26	0,60	0,38	0,00	0,28	0,16	0,08	0,07	0,00						
%Anom**	-24						-37											

De manière générale, au niveau spatial, les anomalies (excédents ou déficits de pluies) sont plus importantes sur le sous-bassin du Blanco que sur celui du Guayllabamba et sont similaires à celles du bassin total : ce qui confirme que l'influence du phénomène ENSO est plus marquée sur la zone littorale et sur la partie basse et Sud du bassin total (soit sur le bassin du Blanco) alors que le bassin du Guayllabamba est moins affecté (partie haute et Nord du bassin total, qui est localisé presque dans sa totalité dans le subandin et la Cordillère occidentale où l'effet orographique et l'influence du climat venant de l'Amazonie l'emportent sur l'effet du phénomène ENSO).

De la même manière, au niveau temporel, on retrouve les mêmes périodes ENSO au niveau du sous-bassin du Blanco que du bassin total, le sous-bassin du Guayllabamba présentant des différences sur ces périodes.

## 6. Conclusions et perspectives

Pour étudier les relations qui existent entre le phénomène ENSO et le comportement des pluies et des débits sur la totalité du bassin versant de l'Esmeraldas (Nord de la côte Pacifique équatorienne) et sur ses deux principaux sous-bassins (le Blanco et le Guayllabamba), nous avons mis en œuvre diverses méthodes (ACP, analyse spectrale, analyse en ondelettes, analyse des corrélations) utilisant les indices caractérisant l'ENSO (SOI, SST pour diverses zones et MEI) et les indices des pluies et des débits sur une période de 40 années (1965-2005).

Les résultats de l'analyse en composantes principales (ACP), nous permettent de mettre en évidence que les indices SOI, SST1+2 et SST4 présentent la meilleure corrélation avec les indices de pluie et de débit. L'analyse de cohérence spectrale signale que les indices SST1+2 et SST3 sont les plus cohérents avec les indices de pluie et de débit, et que les périodes de retour des événements ENSO correspondent à une fréquence quasi biannuelle (2-4ans) et quasi quadriennale (4-8). L'analyse en ondelettes nous a permis d'identifier les épisodes ENSO qui correspondent aux pics trouvés lors de l'analyse spectrale et nous avons montré que ces épisodes ENSO ont induit des anomalies de pluie et de débit au moins supérieures à 10%.

Nous avons ensuite utilisé l'analyse des corrélations afin d'obtenir une information plus détaillée de la corrélation entre les indices ENSO et les indices des pluies et des débits.

La première étape a consisté en l'identification des phénomènes ENSO en utilisant trois variables : soit à partir des valeurs des six indices ENSO (nous avons trouvé seize événements El Niño et douze événements La Niña), soit à partir des indices de pluie (nous avons trouvé neuf événements El Niño et huit événements La Niña), soit à partir des indices des débits (nous avons trouvé sept événements El Niño et onze événements La Niña). Il est à noter que, selon que l'on utilise les divers indices ENSO, l'indice de pluie ou l'indice de débit, il peut exister des différences sur les durées des périodes ENSO identifiées.

La seconde étape a consisté à identifier, épisode par épisode, les relations entre les six indices caractérisant l'ENSO et les indices de pluies et de débits (à savoir comportement normal, quand il y a bien excédents -déficits- de pluies et débits lorsque les divers indices de l'ENSO présentent des valeurs qui correspondent à des événements Niño -Niña- ; comportement inverse quand il y a excédents -déficits- de pluies et de débits alors que les divers indices de l'ENSO présentent des valeurs qui correspondent à des événements Niña -Niño- ; incertitude quand il n'y a pas de relation entre les excédents -déficits- de pluies et de débits constatés et les valeurs des indices ENSO) et de calculer les coefficients de corrélation correspondants.

Nous noterons tout d'abord que les coefficients de corrélation calculés restent inférieurs à 0,6.

Il est aussi important de noter que, dans le cas des El Niño, c'est seulement quand les six indices ENSO et les indices de pluies et de débits présentent tous simultanément des valeurs indiquant une phase El Niño, et ce, pour des périodes consécutives au moins supérieures à 10 mois, que l'on constate des anomalies de pluies et de débits supérieures à 30%, comme pour les épisodes majeurs de 1965-1966, 1972-1973, 1982-1983, 1997-1998. De plus, il est à noter que pour ces épisodes majeurs, il n'existe pas de décalage temporel entre les indices ENSO et les indices de pluies et de débits (les débuts des anomalies des indices ENSO sont en phase avec les débuts des anomalies de pluies et débit).

En ce qui concerne les événements La Niña, le schéma général est identique à celui du El Niño, mais dans une moindre mesure, à savoir que quand les six indices ENSO et les indices de pluies et de débits présentent tous simultanément des valeurs indiquant une phase La Niña, on constate alors bien des anomalies de pluies et de débits inférieures à -20% mais pas de coïncidence aussi marquée entre la durée et le début de la période des épisodes, comme pour les quatre épisodes 1967-1968, 1973-1974, 1995-1997 et 2005.

Enfin, nous avons confirmé, par l'étude des corrélations par sous-bassins que l'influence de l'ENSO est plus marquée dans la zone littorale, basse et Sud du bassin (sous-bassin du Blanco) que dans la zone haute et Nord du bassin (sous-bassin du Guayllabamba).

En ce qui concerne les perspectives de cette étude, nous comptons la mener aussi sur des bassins versants situés plus au Sud de la côte Pacifique équatorienne (bassin du Guayas) qui est plus affectée par le phénomène ENSO (tout comme le Nord du Pérou) et qui de plus est plus anthropisée, de manière à comparer avec les résultats obtenus pour le bassin de l'Esmeraldas (Nord de la côte Pacifique équatorienne peu anthropisée et moins influencée par l'ENSO).

## 7. Références Bibliographiques

BJERKNES, J., 1969. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*, **97**:163-172.

COUTAUD, A., 2008. *Influence du phénomène ENSO (El Niño Southern Oscillation) sur la pluviométrie et l'hydrologie d'un bassin versant de la côte pacifique équatorienne*. Rapport de stage: Université Paul Sabatier, Toulouse, 53 p.

DIAZ, H., MARKGRAF V., 2000. El Niño and the Southern Oscillation: Multiscale variability and global and regional impacts. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, Cambridge, 496p.

GALEAS R. & MELO P., 2007: *Estudio comparativo del comportamiento hidrosedimentológico de las cuencas del rio Napo (vertiente Amazónica) y del rio Esmeraldas (vertiente Pacífica): influencia de la morfometría y del fenómeno del Niño*, Tesis de graduación: PUCE, Quito, 228p + mapas.

GROSMANN A., et TORRESANI B., 2001. Les Ondelettes [en ligne]. Disponible sur: <<http://www.cmi.univ-mrs.fr/~torresani/universalis/ondel.html>> (consulté le 19.06.2009).

KIEM, A. & FRANKS, S., 2001. On the identification of ENSO-induced rainfall and runoff variability: a comparison of methods and indices. *Hydrological Sciences*, **46**(5): 715-727.

LAGARDE, J., 1983. *Initiation à l'analyse des données*. BORDAS, Paris, 157p.

NOAA. Sources de données océaniques et atmosphériques [en ligne]. Disponible sur: <<http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/>> (consulté le 17.03.09).

POURRUT, P., 1993. L'effet ENSO sur les précipitations et les écoulements au XXème siècle-exemple de l'équateur. *Institut Français des Études Andines. Bulletin*, **22**(1): 85-98.

POURRUT, P., 1994. *L'eau en Equateur. Principaux acquis en hydroclimatologie*. ORSTOM Editions, Paris, 146p.

RODBELL, D., SELTZER, G., ANDERSON D., ABBOTT, M., ENFIELD, D., NEWMAN, J., 1999. An~15000-Year Record of El Niño-Driven Alluviation in Southwestern Ecuador. *Science*, **283**: 516-520.

ROSSEL F., CADIER E., GOMEZ G., 1996. Las inundaciones en la zona costera ecuatoriana: causas, obras de protección existentes y previstas. *Institut Français des Études Andines. Bulletin*, **25**(3): 399-420.

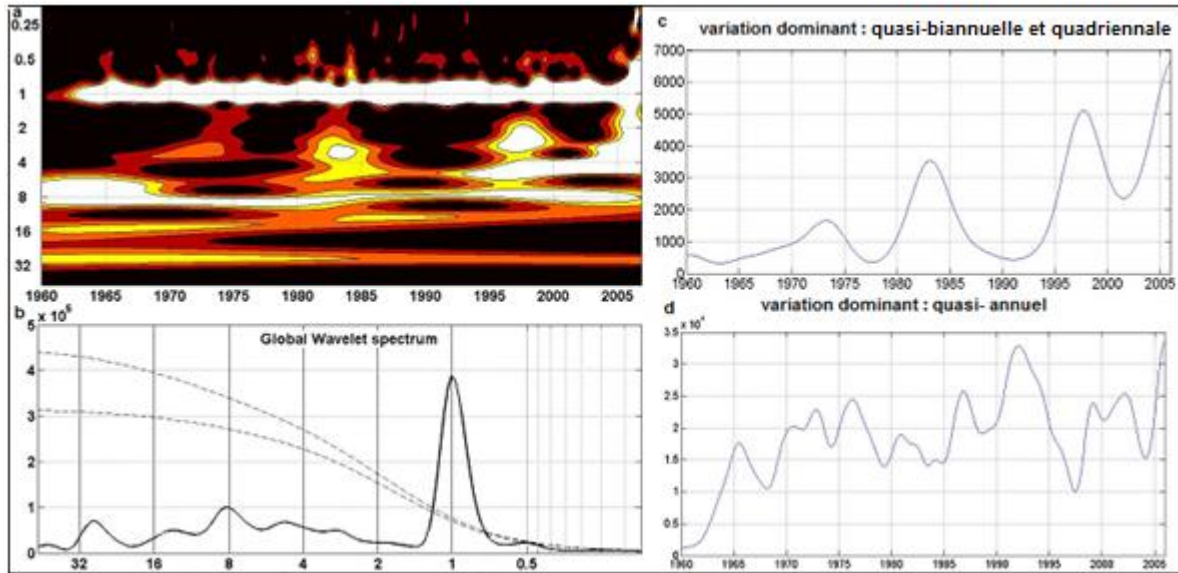
ROPELEWSKI, C. & HALPERT, M., (1996). Quantifying Southern Oscillation-precipitation relationships. *Climate Prediction Center, NCEP/NWS/NOA*. **9**(5):1043-1059.

WYRTKI, K., 1975. El Niño: the dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing. *Journal of Physical Oceanography*, **5**:572-584.

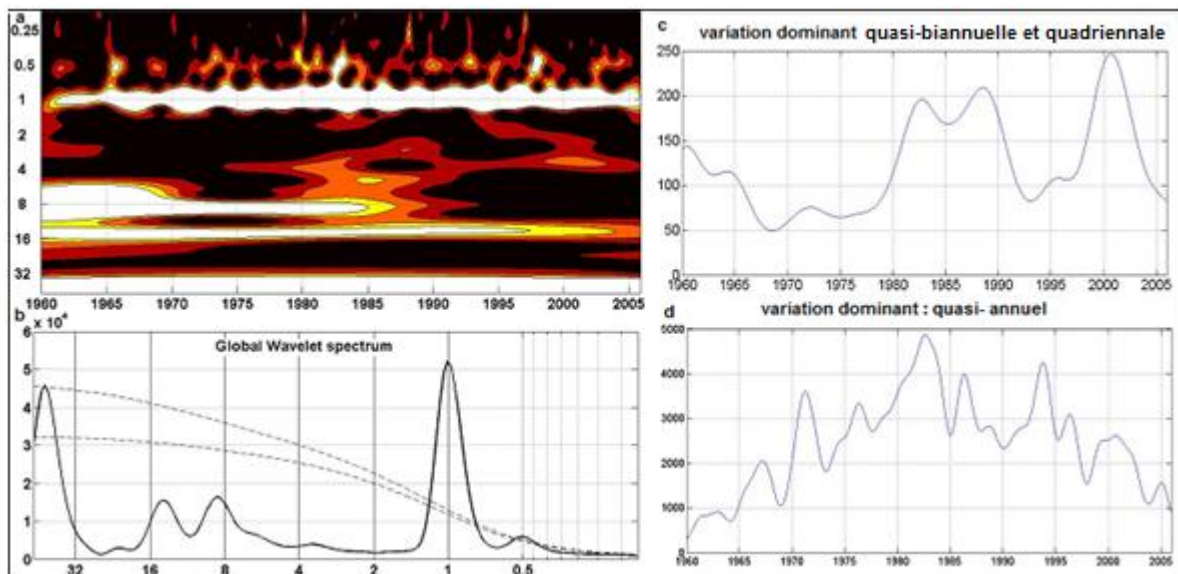
## ANNEXES

### Annexe 1

a) Ondelettes de la pluie du sous bassin du Blanco, b) spectre global des ondelettes, c) variation quasi-biannuelle et quasi quadriennale, d) localisation temporelle dans une bande d'un an d'événements El Niño pour la période 1960-2005.



a) Ondelettes de la pluie du sous bassin du Guayllabamba, b) spectre global des ondelettes, c) variation quasi-biannuelle et quasi quadriennale, d) localisation temporelle dans une bande d'un an d'événements El Niño pour la période 1960-2005.



## Annexe 2

### Corrélations et pourcentages des anomalies de pluie et de débit selon les indices ENSO (El Niño).

Épisode	Indices ENSO	Période El Niño	Nbre mois	Moy.	Max.	Moy.	Max.	% Anom	R <sup>2</sup> I.E vs I.P.	Moy.	Max.	% Anom	R <sup>2</sup> I.E. vs I.D.	Observation
				Indice ENSO		Indice de Pluie (I.P)				Indice de Débit (I.D)				
1963-1964	SOI	juin 63-févr64	9	-1,38	-2,70	-0,45	0,32	-21	0,17					Comportement inverse
	SST1+2	juill63-nov63	5	0,36	0,69	-0,40	-0,07	-26	0,52					
	SST3	juill63-janv64	7	0,69	0,97	-0,39	0,32	-14	0,57					
	SST4	juill63-févr64	8	0,38	0,65	-0,39	0,32	-17	0,02					
	SST3,4	juin63-févr64	9	0,79	1,11	-0,45	0,32	-21	0,59					
	MEI	juill63-févr64	8	0,71	0,95	-0,39	0,32	-17	0,01					
1965-1966	SOI	avr65-déc66	21	-1,28	-3,60	0,41	1,59	17	0,17	0,38	1,91	15	0,46	Comportement normal
	SST1+2	mars65-janv66	11	1,04	1,70	0,92	1,59	40	0,00	1,08	1,91	43	0,11	
	SST3	avr65-avr66	13	0,88	1,55	0,60	1,59	21	0,19	0,79	1,91	27	0,17	
	SST4	juin65-déc66	19	0,53	1,07	0,34	1,50	13	0,02	0,29	1,91	11	0,17	
	SST3,4	mars65-août66	18	0,99	1,84	0,62	1,59	18	0,00	0,81	1,91	19	0,00	
	MEI	avr65-avr66	13	1,04	1,52	0,60	1,59	21	0,02	0,79	1,91	27	0,07	
1968-1970	SOI	janv69-nov69	11	-1,28	-3,20	0,09	2,23	3	0,41	0,76	3,82	18	0,02	Pas ENSO
	SST1+2	mars69-janv70	11	0,69	0,19	0,23	2,23	10	0,31	0,89	3,82	27	0,17	
	SST3	juill68-févr70	20	0,56	1,18	0,03	2,23	1	0,01	0,24	3,82	4	0,01	
	SST4	août68-mai70	22	0,54	1,33	0,02	2,23	0	0,21	0,17	3,82	1	0,04	
	SST3,4	juin68-avr70	23	0,62	1,18	-0,02	2,23	-2	0,08	0,09	3,82	-1	0,00	
	MEI	sept68-mars70	19	0,47	0,83	-0,06	2,23	-4	0,07	0,28	3,82	5	0,08	
1972-1973	SOI	avr72-févr73	11	-2,04	-3,40	0,62	1,75	21	0,11	0,80	2,21	28	0,03	Comportement normal
	SST1+2	janv72-févr73	14	1,39	2,45	0,67	1,75	22	0,15	0,71	2,21	22	0,50	
	SST3	avr72-mars73	12	1,38	2,42	0,60	1,75	19	0,01	0,68	2,21	22	0,32	
	SST4	févr72-mars73	14	0,63	1,06	0,60	1,75	23	0,15	0,68	2,21	20	0,03	
	SST3,4	avr72-mars73	12	1,28	2,14	0,60	1,75	19	0,01	0,68	2,21	22	0,14	
	MEI	mai72-avr73	12	1,38	1,82	0,78	1,90	29	0,09	0,88	2,21	31	0,00	
1976-1978	SOI													2 indices montrent un événement pour la pluie et pas pour le débit
	SST1+2	avr76-janv77	10	0,95	1,61	0,13	1,11	10	0,00	-0,12	0,73	-5	0,14	
	SST3	juin76-mars77	10	0,72	0,95	0,04	1,07	4	0,51	-0,23	0,73	-10	0,10	
	SST4													
	SST3,4	juill76-mars77	9	0,59	0,98	-0,05	1,07	1	0,05	-0,33	0,15	-14	0,12	
	MEI	juin76-avr78	23	0,65	1,03	-0,10	1,07	-3	0,25	-0,12	1,02	-4	0,07	
1979-1980	SOI	févr80-déc80	11	-0,72	-2,00	-0,17	0,98	-4	0,03	-0,14	1,13	-1	0,01	Comportement inverse
	SST1+2	juin79-janv80	8	0,47	0,83	-0,13	1,20	-11	0,03	-0,16	0,94	-12	0,04	
	SST3	août79-févr80	7	0,40	1,00	-0,02	1,20	-3	0,04	-0,10	1,13	-5	0,02	
	SST4	sept79-juill80	11	0,43	0,75	-0,23	1,20	-8	0,03	-0,06	1,13	-1	0,02	
	SST3,4	sept79-juill80	11	0,41	0,86	-0,23	1,20	-8	0,13	-0,06	1,13	-1	0,00	
	MEI	oct78-déc80	27	0,51	1,04	-0,27	1,20	-11	0,00	-0,21	1,13	-8	0,01	
1981-1983	SOI	avr82-avr83	13	-3,85	-7,60	1,36	4,22	53	0,18	1,49	4,93	59	0,20	Comportement normal
	SST1+2	juill82-déc83	18	2,27	4,49	1,86	4,44	82	0,40	1,67	4,93	76	0,49	
	SST3	avr82-sept83	18	1,65	3,31	1,74	4,44	69	0,20	1,66	4,93	65	0,39	
	SST4	oct81-juill83	22	0,53	1,12	1,21	4,44	44	0,05	1,22	4,93	47	0,07	
	SST3,4	déc81-juin83	19	1,25	2,85	1,19	4,22	44	0,42	1,27	4,93	47	0,45	
	MEI	mai82-oct83	18	1,87	3,10	1,77	4,44	76	0,07	1,65	4,93	70	0,18	
1986-1988	SOI	nov86-févr88	16	-2,09	-3,30	0,13	1,32	7	0,04					2 indices montrent un événement pour la pluie
	SST1+2	août86-janv88	18	0,85	1,83	0,04	1,32	4	0,01					
	SST3	juill86-mars88	21	0,91	1,74	-0,09	1,32	-2	0,07					
	SST4	juin86-mars88	22	0,83	1,44	-0,14	1,32	-4	0,14					
	SST3,4	juin86-mars88	22	1,08	1,88	-0,14	1,32	-4	0,15					
	MEI	mai86-mai88	24	1,14	2,13	-0,12	1,32	-3	0,07					
89-90	SOI	nov89-avr90	6	-1,35	-3,90	-0,30	0,64	-8	0,17	-0,60	-0,18	-19,72	0,23	C. Inverse



Épisode	Indices ENSO	Période El Niño	Nbre mois	Moy.	Max.	Moy.	Max.	% Anom	R <sup>2</sup> I.E vs I.P.	Moy.	Max.	% Anom	R <sup>2</sup> I.E. vs I.D.	Observation
				Indice ENSO (I.E)		Indice de Pluie (I.P)				Indice de Débit (I.D)				
1990-1992	SOI	févr91-avr92	15	-2,29	-5,60	0,29	1,22	15	0,02	-0,10	1,08	-1	0,02	4 Indices montrent un événement pour la pluie et 2 pour le débit
	SST1+2	mai91-juill92	15	0,69	2,34	0,31	1,81	19	0,02	0,03	1,08	4	0,02	
	SST3	mai91-juin92	14	0,95	1,44	0,34	1,81	19	0,02	0,01	1,08	4	0,02	
	SST4													
	SST3,4	janv90-juill92	31	0,68	1,94	0,06	1,81	6	0,02	-0,26	1,08	-8	0,02	
MEI														
1992-1994	SOI	juin92-nov93	18	-1,62	-3,20	-0,02	1,28	2	0,08	-0,05	1,03	1	0,00	SST3* montre un événement, le reste montrent un C.inverse
	SST1+2	janv93-oct93	10	0,52	1,10	-0,05	1,28	2	0,03	-0,20	1,03	-2	0,03	
	SST3*	févr93-juill93	6	0,63	1,10	0,12	1,28	6	0,07	-0,04	1,03	1	0,04	
	SST3	sept93-janv94	5	0,20	0,33	0,08	1,31	6	0,01	-0,74	-0,39	-42	0,02	
	SST3,4	déc92-janv94	14	0,43	1,06	0,01	1,31	4	0,01	-0,24	1,03	-6	0,02	
MEI														
1994-1995	SOI	janv94-févr95	14	-1,86	-3,00	-0,02	1,31	4	0,15					4 Indices montrent un événement pour la pluie
	SST1+2	oct94-févr95	5	0,72	0,91	0,04	0,78	1	0,38					
	SST3*	oct94-févr95	5	0,76	0,98	0,04	0,78	1	0,82					
	SST3	déc89-juill95	68	0,64	1,27	0,00	1,81	3	0,02					
	SST3,4	mars94-avr95	14	0,61	1,40	-0,19	0,78	-3	0,02					
MEI	déc89-juill95	68	0,81	2,25	0,00	1,81	3	0,02						
1997-1998	SOI	mars97-avr98	14	-3,10	-5,70	1,81	4,61	56	0,04	0,99	4,44	26	0,05	Comportement normal
	SST1+2	mars97-oct98	20	2,66	4,13	1,53	4,61	56	0,47	0,83	4,44	25	0,33	
	SST3	avr97-mai98	14	2,33	3,68	1,95	4,61	65	0,18	1,06	4,44	29	0,45	
	SST4	déc96-mai98	18	0,65	1,13	1,50	4,61	46	0,14	0,62	4,44	14	0,35	
	SST3,4	avr97-mai98	14	1,79	2,80	1,95	4,61	65	0,15	1,06	4,44	29	0,44	
MEI	avr97-juill98	16	2,04	2,87	1,95	4,61	69	0,09	1,10	4,44	32	0,03		
2002-2003	SOI	mars02-juin03	16	-1,39	-2,60	0,24	2,34	12	0,00	-0,34	0,95	-12	0,06	événement pour la pluie et inverse pour le débit
	SST1+2	févr02-mai02	4	0,65	1,05	0,48	1,00	14	0,07	-0,08	0,95	-3	0,35	
	SST3	mars02-mars03	13	0,61	1,41	0,25	2,34	13	0,21	-0,34	0,95	-13	0,03	
	SST4													
	SST3,4	févr02-avr03	15	0,86	1,75	0,26	2,34	12	0,02	-0,34	0,95	-12	0,00	
MEI	avr02-févr04	23	0,59	1,23	0,12	2,34	7	0,02	-0,22	2,69	-6	0,02		
2003-2004	SOI													événement pour le débit et inverse pour la pluie
	SST1+2	oct03-janv04	4	0,15	0,27	-0,02	0,46	-2	0,02	0,22	2,20	18	0,02	
	SST3	juill03-mars04	9	0,25	0,47	-0,17	0,48	-10	0,02	0,50	3,18	32	0,02	
	SST4	juill03-févr04	8	0,35	0,60	-0,07	0,48	-5	0,02	0,16	2,69	21	0,02	
	SST3,4	juill03-févr04	8	0,35	0,60	-0,07	0,48	-5	0,02	0,16	2,69	21	0,02	
MEI														
2004-2005	SOI	juin04-mai05	12	-1,59	-6,70	-0,52	0,76	-20	0,01	0,28	2,08	6	0,01	événement pour le débit et inverse pour la pluie
	SST1+2													
	SST3	août04-janv05	6	0,39	0,68	-0,42	0,76	-21	0,06	0,31	0,86	12	0,22	
	SST4	janv02-déc05	48	0,74	1,47	-0,20	2,34	-6	0,02	0,00	4,50	3	0,02	
	SST3,4	avr04-août05	17	0,51	0,84	-0,55	0,76	-21	0,01	0,38	4,50	18	0,02	
MEI	avr04-sept05	18	0,52	0,93	-0,58	0,76	-22	0,09	0,30	4,50	16	0,02		



## Corrélations et pourcentages des anomalies de pluie et de débit selon les Indices ENSO (La Niña).

Épisode	Indices ENSO	Période La Niña	Nbre mois	Moy.	Max.	Moy.	Max.	% Anom	R <sup>2</sup> I.E vs I.P.	Moy.	Max.	% Anom	R <sup>2</sup> I.E. vs I.D.	Observation
				Indice ENSO (I.E)		Indice de Pluie (I.P)				Indice de Débit (I.D)				
1961-1963	SOI	août 62-mai63	10	0,80	1,80	-0,98	-1,91	-36	0,05					Comportement normal
	SST1+2	mars61-juin63	28	-0,79	-1,89	-1,16	-2,31	-47	0,07					
	SST3	juill61-mars63	21	-0,58	-1,22	-1,12	-2,31	-47	0,09					
	SST4	janv61-juin63	30	-0,27	-0,75	-1,26	-3,03	-50	0,09					
	SST3,4	juil61-févr63	20	-0,37	-0,72	-1,11	-2,31	-48	0,05					
MEI	mai61-juin63	26	-0,61	-1,09	-1,11	-2,31	-47	0,17						
1964-1965	SOI	juin64-nov64	6	1,33	2,30	0,91	0,08	50	0,14					Comportement inverse
	SST1+2	déc63-févr65	15	-1,00	-2,38	0,18	-1,11	1	0,00					
	SST3	févr64-mars65	14	-0,83	-1,66	0,27	-1,11	4	0,03					
	SST4	mars64-mai65	15	-0,55	-1,36	0,46	-1,11	13	0,01					
	SST3,4	mai64-févr65	12	-0,75	-1,19	0,32	-1,11	5	0,04					
MEI	mars64-mars65	13	-0,93	-1,54	0,36	-1,11	7	0,14						
1966-1968	SOI													Comportement normal
	SST1+2	févr66-août68	31	-0,94	-1,80	-0,32	-1,52	-15	0,30	-0,59	-2,13	-21	0,18	
	SST3	mai66-juin68	26	-0,66	-1,45	-0,34	-1,52	-15	0,25	-0,62	-2,13	-24	0,17	
	SST4													
	SST3,4	sept66-mai68	21	-0,39	-0,92	-0,42	-1,52	-17	0,26	-0,64	-2,13	-24	0,28	
MEI	déc66-août68	21	-0,63	-1,07	-0,44	-1,52	-18	0,25	-0,74	-2,13	-26	0,11		
1970-1972	SOI	août70-mars72	20	1,61	3,40	0,01	-1,37	3	0,02	-0,02	-1,19	-1	0,13	Comportement normal
	SST1+2	févr70-déc71	23	-1,06	-2,15	-0,15	-1,52	-5	0,03	-0,18	-1,19	-7	0,04	
	SST3	mars70-mars72	25	-0,89	-1,71	-0,05	-1,52	0	0,03	-0,11	-1,19	-4	0,01	
	SST4	juin70-janv72	20	-0,73	-1,42	-0,16	-1,37	-6	0,09	-0,09	-1,19	-4	0,04	
	SST3,4	mai70-mars72	22	-0,82	-1,84	-0,01	-1,37	2	0,04	-0,04	-1,19	-1	0,00	
	MEI	avr70-avr72	25	-1,04	-1,85	0,00	-1,37	2	0,07	-0,10	-1,19	-4	0,01	
1973-1974	SOI	mai73-oct74	18	1,97	4,70	0,01	-1,43	-2	0,29	-0,17	-1,19	-8	0,10	Comportement inverse moins pour le SOI
	SST1+2	mars73-mars76	37	-0,90	-2,07	0,21	-1,43	9	0,00	0,16	-1,19	6	0,04	
	SST3	avr73-mai76	38	-0,89	-1,78	0,25	-1,43	10	0,06	0,17	-1,19	7	0,00	
	SST4	juin73-sept76	40	-0,86	-1,66	0,15	-1,43	6	0,17	0,10	-1,19	4	0,06	
	SST3,4	avr73-juin76	39	-0,94	-1,93	0,26	-1,43	11	0,26	0,19	-1,19	7	0,12	
	MEI	mai73-mai76	37	-1,23	-1,94	0,20	-1,43	8	0,27	0,13	-1,19	5	0,10	
75-76	SOI	févr75-mai76	16	2,12	3,90	0,36	-0,54	14	0,24	0,36	-0,25	12	0,01	C. Inverse
1983-1986	SOI													2 Indices montrent un événement inverse pour la pluie
	SST1+2	janv84-déc85	24	-0,77	-1,95	-0,01	-1,53	0	0,05	-0,23	-1,60	-8	0,19	
	SST3	avr84-juin86	27	-0,70	-1,38	-0,05	-1,27	-2	0,00	-0,29	-1,60	-11	0,01	
	SST4	août83-oct85	27	-0,44	-0,89	0,22	-1,53	7	0,00	-0,02	-1,60	-1	0,00	
	SST3,4	juill83-mai86	35	-0,56	-1,47	0,37	-1,53	11	0,11	0,01	-1,60	-2	0,09	
MEI	nov84-févr86	16	-0,39	-0,74	-0,03	-1,27	-2	0,01	-0,47	-1,60	-18	0,00		
1995-1997	SOI	mars96-févr97	12	0,99	2,60	-0,29	-1,05	-10	0,00	-0,76	-1,02	-29	0,20	Comportement normal
	SST1+2	mars95-févr97	24	-0,85	-1,77	-0,16	-1,09	-7	0,07	-0,54	-1,02	-43	0,14	
	SST3	mars95-mars97	25	-0,55	-0,93	-0,14	-1,09	-6	0,00	-0,55	-1,02	-41	0,00	
	SST4	août95-nov96	16	-0,18	-0,43	-0,20	-1,09	-8	0,11	-0,53	-0,95	-23	0,07	
	SST3,4	mai95-mars97	23	-0,41	-0,93	-0,12	-1,09	-5	0,00	-0,55	-1,02	-31	0,02	
MEI	sept95-mars97	19	-0,36	-0,62	-0,22	-1,09	-7	0,05	-0,66	-1,02	-26	0,02		
98-99	SOI	mai98-mai99	13	1,58	3,20	0,42	-1,51	17	0,16	0,22	-0,99	7,37	0,08	C. Inverse
1998-2001	SOI	oct99-mai00	8	1,66	2,60	0,20	-0,46	7	0,00	-0,15	-0,59	-6	0,09	C. inverse pour la pluie
	SST1+2	nov98-mars00	17	-0,71	-1,36	0,06	-1,51	4	0,05	-0,16	-0,99	-5	0,03	
	SST3	juin98-mars00	22	-0,88	-1,73	0,19	-1,51	7	0,15	0,00	-0,99	-1	0,12	
	SST4	juin98-mai01	36	-0,73	-1,55	0,05	-1,51	2	0,00	-0,26	-1,40	-10	0,03	
	SST3,4	juin98-mai01	36	-0,92	-1,86	0,05	-1,51	2	0,00	-0,26	-1,40	-10	0,09	
MEI	août98-avr01	33	-0,68	-1,21	-0,05	-1,51	0	0,00	-0,34	-1,40	-13	0,06		
2000-2001	SOI	août00-mars01	8	1,66	3,30	-0,35	-1,10	-13	0,37	-0,77	-1,40	-33	0,03	C. Normal
	SST1+2	mai00-févr01	10	-0,64	-1,23	-0,28	-1,10	-11	0,18	-0,63	-1,22	-28	0,08	
2001-2002	SST1+2	mai01-janv02	9	-1,01	-1,39	-0,70	-1,26	-33	0,08	-0,98	-1,39	-47	0,14	C. Normal
	SST3	mai01-févr02	10	-0,34	-0,61	-0,63	-1,26	-26	0,02	-0,92	-1,39	-39	0,00	

Annexe 3

Identification des épisodes ENSO selon les indices des pluies et des débits.

Période El Niño	Nbre mois	Période El Niño	Nbre mois	Période El Niño	Nbre mois	Période El Niño	Nbre mois
<b>I. PLUIE B.V.T</b>		<b>I. PLUIE BLANCO</b>		<b>I. PLUIE GUAY</b>		<b>I. DEBIT B.V.T</b>	
juin 64-nov64	6						
mars65-janv66	11	mars65-janv66	11	avril65-dic65	9	mars65-mars66	13
mai72-sept73	17	mai72-sept73	17	janv72-sept73	21	mai72-oct73	18
sept74-avr75	8	oct74-avr75	7	sept74-mars75	7	oct74-juill76	22
		mars76-août76	6				
				nov81-mai82	7		
oct82-déc83	15	oct82-nov83	14	sept82-déc83	16	oct82-déc83	15
				juin84-janv85	8		
				avril88-sept88	6		
nov91-juin92	8	nov91-juin92	8				
dec93-mai94	6	janv94-mai94	5	dec93-mai94	6	avril92-avril93	13
janv97-juill98	19	mars97-juill98	17			juin97-sept98	16
				dec99-juin00	7		
août03-déc03	5	août03-déc03	5			janv04-déc04	12
<b>Période La Niña</b>	<b>Nbre mois</b>	<b>Période La Niña</b>	<b>Nbre mois</b>	<b>Période La Niña</b>	<b>Nbre mois</b>	<b>Période La Niña</b>	<b>Nbre mois</b>
<b>I. PLUIE B.V.T</b>		<b>I. PLUIE BLANCO</b>		<b>I. PLUIE GUAY</b>		<b>I. DEBIT B.V.T</b>	
nov61-nov63	25	nov61-nov63	25	nov61-avril63	18		
juin67-juill68	14	juin67-juill68	14	nov67-mai68	7	mars67-fevr69	24
oct73-août74	11	oct73-sept74	12			nov73-sept74	11
		avril77-nov77	8			août76-déc77	17
août78-mai79	10	août78-mai79	10	juin78-fevr79	9		
mai80-sep80	5	mai80-sep80	5	mai80-sep80	5	juill80-janv81	7
				juin86-déc86	7	fevr85-déc85	11
		mai90-oct91	18			sept89-fevr91	18
						mai93-mai94	13
juin96-déc96	7	avr96-déc96	9			nov95-mai97	19
mai01-janv02	9			oct00-janv02	14	mai00-mars02	23
						nov02-déc03	14
				oct03-avril04	7		
mai05-nov05	7	mai05-nov05	7	mars05-nov05	9	mai05-déc05	8